

# RECHERCHES SUR LES SEDIMENTS DE LA MER DU NORD ET DE LA MER D'IRLANDE

par Léopold BERTHOIS

## SOMMAIRE

### INTRODUCTION.

- a) Remarques générales.
- b) Récolte des échantillons.
- c) Prélèvement sur les échantillons dragués.
- d) Sédiments carottés.

## PREMIERE PARTIE

### MER DU NORD

#### REGION DU LARGE DE MÖRE-ROMSDAL.

##### 1° Recherches antérieures.

##### 2° Position des stations.

##### 3° Granulométrie des sédiments.

- A. — Préparation des échantillons pour l'analyse granulométrique.
- B. — Préparation des échantillons pour l'analyse microgranulométrique.
- C. — Construction des courbes granulométriques.
- D. — Examen et discussion des résultats des analyses granulométriques.
  - a) *Sédiments grossiers.*
  - b) *Sédiments sableux dépourvus de fraction grossière.*
  - c) *Sédiments complexes.*
  - d) *Étude de la fraction fine des sédiments complexes.*

##### 4° Teneur en azote total.

##### 5° Morphométrie des galets.

##### 6° Lithologie des galets.

- A. — Recherche antérieure.
- B. — Nouvelle étude morphométrique.

C. — Remarques générales sur l'étude lithologique.

**7° Résumé et conclusions.**

**REGION DES TANNERS HILL GROUND.**

**1° Position des stations.**

**2° Granulométrie des sédiments.**

A. — Sédiments grossiers.

B. — Sédiments sableux dépourvus de fraction grossière.

C. — Comparaison des sédiments grossiers avec ceux qui sont dépourvus de fraction grossière.

D. — Étude granulométrique des sédiments des stations n<sup>os</sup> 344, 345 et 347.

**3° Résumé et conclusions.**

**REGION DES DEVIL'S HOLE.**

**1° Recherches antérieures.**

**2° Nouvelles recherches.**

**3° Position des stations.**

**4° Étude granulométrique.**

A. — Sédiments dragués hors des abords des Devil's Hole.

B. — Sédiments dragués dans la région des Devil's Hole.

**5° Analyse thermique différentielle.**

a) *Préparation des échantillons.*

b) *Analyse thermique différentielle (généralités).*

c) *Analyse thermique différentielle des sédiments des Devil's Hole.*

**6° Résumé et conclusions.**

a) *Interprétation de L. Beaugé.*

b) *Interprétation de J. Furnestin.*

**REGION DES OUTER SILVER PIT.**

**1° Morphologie.**

**2° Position des stations.**

**3° Granulométrie.**

A. — Sédiments grossiers.

B. — Sédiments sableux dépourvus de fraction grossière.

C. — Sédiments complexes.

D. — Résumé et conclusions de l'étude granulométrique.

**4° Sédiments carottés.**

A. — Mesure des couleurs.

B. — Mesure du pH.

C. — Mesure du potentiel d'oxydo-réduction (Eh).

D. — Dosage de l'eau interstitielle des sédiments.

E. — Dosage de la salinité de l'eau interstitielle des sédiments.

F. — Dosage de l'azote total.

G. — Structure des sédiments carottés.

H. — Analyses thermiques différentielles de la fraction argileuse

**5° Etude des galets.**

A. — Remarques sur la granulométrie des galets dragués.

B. — Granulométrie des galets.

C. — Morphométrie.

D. — Lithologie.

**6° Résumé et conclusions.**

DEUXIEME PARTIE

MER D'IRLANDE

**1° Position des stations.**

**2° Granulométrie.**

A. — Sédiments grossiers.

B. — Sables dépourvus de fraction grossière.

C. — Sédiments complexes.

D. — Aires de répartition des sédiments.

**3° Dosages d'azote total.**

**4° Analyses thermiques différentielles.**

**5° Etude des galets.**

a) *Granulométrie.*

b) *Morphométrie.*

c) *Lithologie des galets.*

TROISIEME PARTIE

RESUME ET CONCLUSIONS GENERALES

**1° Mer du Nord.**

**2° Mer d'Irlande.**

**Bibliographie.**

## INTRODUCTION

### a) *Remarques générales.*

Les sédiments qui vont être décrits dans ce travail sont très inégalement répartis en Mer du Nord et en Mer d'Irlande. En Mer du Nord, les aires étudiées intéressent plus particulièrement quatre régions qui seront examinées successivement; ce sont : la région au large de Møre Romsdal, la région de Tanners Hill Ground, la région du Devil's Hole et la région des Outer Silver Pit (fig. 1).

Pour chacune de ces zones, des cartes détaillées ont été établies, les emplacements des points de prélèvement y sont indiqués. Cependant, certains prélèvements n'ont pas été portés sur ces cartes. Leur éloignement de l'aire représentée aurait conduit à donner aux cartes locales des dimensions trop importantes ou à réduire considérablement l'échelle de représentation. Dans ce dernier cas les zones intéressantes n'auraient pas été représentées avec le détail nécessaire.

La position exacte de tous les prélèvements, en longitude et latitude, ainsi que la profondeur, ont été indiquées dans un tableau au début de l'étude de chaque région.

En Mer d'Irlande, les points de prélèvement sont plus régulièrement répartis. Ils intéressent toute la zone située au sud et à l'est de l'Ile de Man.

### b) *Récolte des échantillons.*

Tous les échantillons ont été récoltés au cours des campagnes du « *Président-Théodore-Tissier* » en 1949, 1954, 1955 et 1956.

Les dragages ont été faits à l'aide de 2 types de dragues, employées à tour de rôle, suivant la profondeur et la nature du fond : Une drague Rallier du Baty couramment employée à bord du « *Président-Théodore-Tissier* ». Pour éviter le lavage des sédiments lors de la remontée de la drague, le filet a été garni intérieurement d'une forte toile à voile. La drague Rallier du Baty a principalement été utilisée sur les fonds pierreux, desquels elle rapporte une quantité importante de matériaux (30 à 40 kg).

La drague à éléments multiples de L. BERTHOIS (1950) a été employée sur les fonds sableux. Mais pour le travail à la mer cet engin doit être assez fortement lesté par des gueuses fixées à chaque extrémité. Elle présente sur la drague Rallier l'avantage de ne provoquer aucun lavage du sédiment bien tassé au fond des cônes métalliques.

Quelques carottages ont été faits en 1955 dans la région des Outer Silver Pit (Mer du Nord). Ils ont été exécutés à l'aide d'un carottier « *Mécabolier* » à tube de 1 mètre obligeamment prêté par le Service Maritime des Ponts et Chaussées de Loire-Atlantique. Ce carottier, ainsi que tous les engins du même type n'agissant que par leur poids, ne permet que des prélèvements de longueur restreinte ne dépassant guère la moitié du tube dans les cas favorables.

En 1956, pour la campagne en Mer d'Irlande, le navire océanographique « *Président-Théodore-Tissier* » était pourvu d'un carottier « *Kullenberg* » à tube de 10 mètres, mais au début de la campagne les fonds étaient beaucoup trop pierreux pour être carottés et lorsque les fonds sont devenus sableux ou vaseux l'état de la mer n'a pas permis la mise à l'eau du carottier.

### c) Prélèvement sur les échantillons dragués.

Lorsque la drague est remontée à bord, son contenu est versé dans une « baille » bien propre. Quand on se propose d'étudier la granulométrie des sédiments récoltés, il est indispensable de faire un prélèvement qui conserve les caractéristiques granulométriques de l'ensemble. Certaines précautions sont donc nécessaires, mais elles varient suivant la nature du sédiment recueilli.

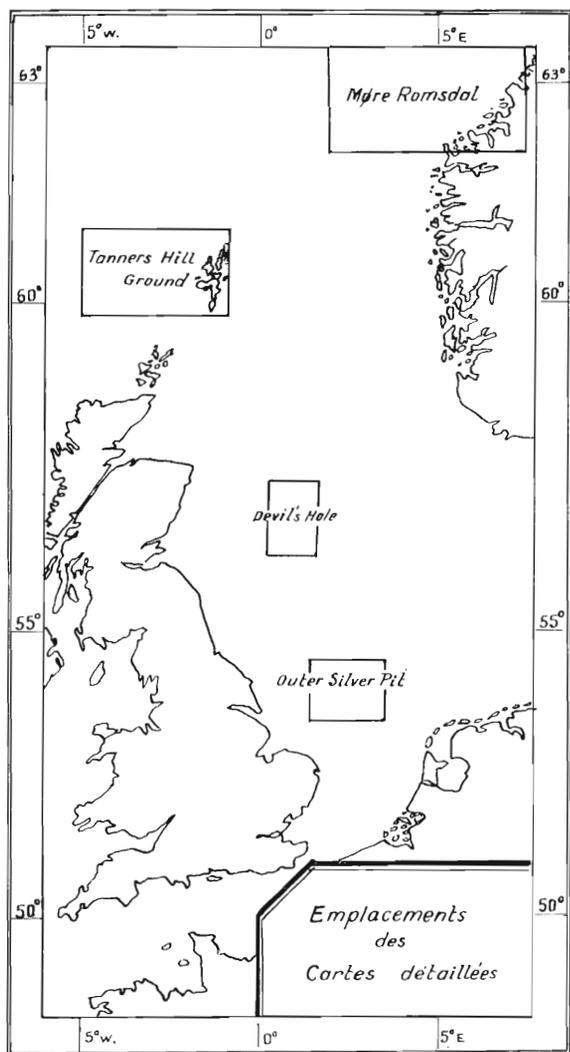


FIG. 1

mailles 12 à 16 mm d'ouverture. Il est préférable de faire ce tamisage dans l'eau; sans cette précaution les éléments sableux humides adhèrent aux graviers et gênent considérablement le tamisage.

Les graviers ainsi recueillis sont examinés à la loupe pour une détermination pétrographique sommaire. Les types lithologiques intéressants ou non déterminables immédiatement sont sélectionnés pour une étude au microscope sur lames minces.

Il est avantageux de faire immédiatement les mesures morphométriques; ceci permet de conserver les échantillons présentant un intérêt lithologique et d'éliminer les exemplaires devenant trop encombrants, surtout si la campagne océanographique est de longue durée.

Il est hors de mon propos d'examiner tous les cas qui peuvent se présenter au cours d'une campagne océanographique. Je me bornerai à donner quelques indications générales qui pourront être interprétées ensuite dans les circonstances particulières non examinées ici.

*Sédiments sableux ou sableux et graveleux.*  
— Quelle que soit la façon dont la drague a été vidée dans la « baille », les sédiments qu'elle contient ne sont jamais uniformément distribués, même s'il s'agit de sables fins et d'apparence homogène. Il suffit de comparer la granulométrie du fond et de la surface de la baille pour en être convaincu.

Pour obvier à cet inconvénient, je fais une série d'au moins quatre prélèvements à l'aide d'un tube métallique d'environ 50 mm de diamètre qui est enfoncé verticalement dans le sédiment jusqu'au fond du récipient. Lorsque le tube atteint le fond une palette en tôle munie d'un manche métallique est glissée dessous et il peut alors être extrait plein en maintenant la palette bien appliquée sur la partie inférieure du tube. Le nombre de prélèvements à exécuter doit être d'autant plus important que le sédiment est granulométriquement plus hétérogène. Mais en général, six ou sept prélèvements au plus, sont suffisants.

Les prélèvements sableux sont ensuite mis en sac et séchés à l'air. Il est très important d'utiliser des sacs en toile dont le tissu soit très serré pour éviter la perte de la fraction fine lorsque le sédiment séché est devenu bien pulvérulent. Après l'achèvement des prélèvements destinés à l'analyse granulométrique, si le sédiment contient des graviers, il est nécessaire de les examiner spécialement. Le plus simple est de procéder à un tamisage rapide exécuté à l'aide d'un tamis en tôle perforée à grandes

*Sédiments vaseux.* — Si les sédiments dragués sont constitués par des vases fines ou des sables fins avec un pourcentage plus ou moins important de vase, la méthode de prélèvement précédente reste applicable.

Mais il arrive fréquemment qu'en Mer du Nord et en Mer d'Irlande, la drague recueille un mélange de vase, de graviers et de galets.

L'étude de ces gros éléments, recouverts par le sédiment fin, est souvent fort intéressante et ne doit jamais être négligée. Après avoir fait un prélèvement de la vase, suivant les indications données précédemment, il est nécessaire de recueillir la fraction grossière en la débarrassant de sa gangue vaseuse.

Pour cette opération il est à conseiller d'employer un grand tamis en bois de 30 à 40 cm d'ouverture portant une toile métallique à mailles de 4 à 5 mm.

Les mottes de vase sont déposées sur ce tamis placé au-dessus d'une baille, la vase est lavée par un jet d'eau dont l'action est accélérée par une trituration à la main. La fraction grossière restant sur le tamis est recueillie et placée dans un sac, aussi souvent qu'il est nécessaire au cours du lavage.

#### **d) *Sédiments carottés.***

Lorsque le carottier est remonté à bord, la carotte est extraite du tube carotteur. Dans le carottier du type « Mécaboliér » cette opération est fort simple, puisque le tube est intérieurement garni de deux demi-cylindres en laiton qu'il suffit de disjoindre pour libérer la carotte de sédiment.

Un certain nombre de mesures et de prélèvements doivent être exécutés immédiatement; ce sont : prélèvements de sédiment pour le dosage de l'eau interstitielle et de la salinité de cette eau, mesure de couleur, mesures de pH et éventuellement de Eh.

Ces opérations seront décrites en détail dans la partie de ce travail consacrée aux Outer Silver Pit. Je ne m'occuperai donc actuellement que de l'emballage et de la conservation de la carotte de sédiment, qui sont les opérations faisant suite aux mesures exécutées immédiatement après la prise.

La carotte est placée sur une feuille de briophane, puis à chacune de ses extrémités on applique un petit disque en matière plastique. Ensuite la feuille de briophane est enroulée autour de la carotte et collée, ainsi que ses extrémités, à l'aide d'une préparation à base d'acétone dans laquelle on a, préalablement, fait dissoudre environ 10 %, en poids de briophane.

Une deuxième feuille de briophane est enroulée par-dessus la première et collée comme elle.

Puis, la carotte est introduite dans un tube d'aluminium et calée par un tampon d'ouate humide placé à chaque extrémité du tube. On évite ainsi les chocs pendant le transport et une dessiccation rapide du sédiment. Le tube d'aluminium est obturé par des bouchons de liège préalablement paraffinés. Enfin le bouchage est rendu étanche par un dernier enduit de paraffine.

Les sédiments ainsi préparés peuvent être conservés pendant plusieurs années sans altération notable.

PREMIERE PARTIE

**MER DU NORD**

**REGION AU LARGE DE MÖRE-ROMSDAL**

**1° Recherches antérieures.**

Un travail très important de H. HOLTEDAHL a été récemment consacré à cette région (1955). Une analyse très complète de ce travail a été donnée par A. GUILCHER (1957) dans sa chronique océanographique annuelle. Je me contenterai donc de rappeler ici les conclusions générales de HOLTEDAHL ayant directement trait à la présente étude, tout en réservant pour les pages suivantes les comparaisons de détail qui seront utiles.

De nombreux dragages et carottages ont été exécutés sur la plateforme continentale et sur la pente du talus devant le Möre et le Romsdal.

Sur la pente, l'auteur a rencontré un mélange d'argile, de sablons, de sables et de cailloux, tandis qu'à des profondeurs inférieures à 600 m les deux types les plus fins sont rares, mais dans le détail la répartition granulométrique est très complexe.

HOLTEDAHL attribue à ces dépôts une origine glaciaire ou plutôt glacio-marine (les glaces flottantes ayant joué un rôle important). Cette opinion est basée sur le degré d'éroulé des échantillons, sur l'existence de stries sur certains cailloux et le mauvais classement granulométrique. Ces dépôts présenteraient, d'après l'auteur, une grande analogie avec ceux recueillis devant la barrière de Ross et devant le Groënland occidental.

L'origine des matériaux est principalement locale. La présence de silex parmi ceux-ci est expliquée par des apports des icebergs en provenance du Danemark.

L'auteur pense que la plateforme continentale doit être formée de roches anciennes de type Scandinavie voilées par un dépôt mince de sédiments. Le talus continental serait également formé de roches anciennes et ses caractères morphologiques résulteraient d'un système de fractures marginales dans lequel les tracés longitudinaux ou transversaux se combineraient pour constituer une série de voussoirs plus ou moins déplacés par les mouvements tectoniques.

La plateforme continentale est considérée comme un élément de la surface paléique, formée principalement pendant le tertiaire et constituant une zone « neutre » entre les plateaux de Scandinavie qui ont subi un soulèvement et la pente continentale où la même surface a été abaissée et très disloquée par le jeu des voussoirs.

Toutefois, l'auteur pense que le niveau de 250 à 280 m qui occupe une aire étendue témoignerait vraisemblablement d'une abrasion marine d'importance limitée, en relation avec un bas niveau marin présumé quaternaire.

Un autre stationnement marin à — 400 m est considéré comme possible, mais il est plus conjectural.

Ces actions marines à de bas niveaux auraient donc retouché la surface paléique sur la plateforme, mais les ondulations générales de celle-ci devant l'ensemble de la Norvège occidentale seraient plutôt dues à la tectonique tertiaire.

## 2° Position des stations.

1° MER DU NORD. — a) RÉGION DE MÖRE-ROMSDAL.

Station N°	Année 1955	Latitude Nord	Longitude Est Gr.	Profond. en m	Observation
258	4 nov.	62°15'	3°50'	165	
259	4 —	62°08'	2°30'	416	fond dur
260	5 —	62°08'	3°44'	204	
261	5 —	62°23'	5°00'	180	
262	5 —	62°23'	3°40'	225	
263	6 —	62°25'30"	3°20'24"	355	
264	6 —	62°26'12"	3°01'	384	
265	6 —	62°27'	2°41'	432	
266	6 —	62°19'	3°01'30"	414	
269	7 —	62°37'30"	4°15'	185	fond dur
270	7 —	62°31'	5°02'	152	
271	7 —	62°31'18"	4°45'	200	
272	7 —	62°34'	4°18'30"	196	
273	7 —	62°35'30"	3°59'	184	
274	8 —	62°37'	3°39'	420	
275	8 —	62°38'48"	3°10'	516	
276	8 —	62°44'	2°41'	623	
278	8 —	62°50'	3°45'	770	
279	9 —	62°57'	4°33'	635	
280	9 —	62°50'	4°49'	275	
281	9 —	62°39'	4°52'30"	122	
282	9 —	62°26'	5°06'	206	
283	9 —	62°36'30"	5°09'	240	
284	10 —	62°35'48"	4°42'30"	187	
286	10 —	62°30'	4°48'	215	
287	10 —	62°37'	4°34'	194	
288	10 —	62°25'	4°38'	184	
290	11 —	62°37'	4°30'	200	
291	11 —	62°41'	5°38'	90	
292	11 —	62°41'	5°10'	107	
293	11 —	62°41'	4°44'	212	
294	11 —	62°45'	4°30'	190	
295	12 —	62°45'	5°02'	115	
296	12 —	62°45'	5°34'	105	
297	12 —	62°49'	5°37'	128	
298	12 —	62°46'	5°18'	96	
300	12 —	62°54'	5°36'	146	
301	12 —	62°54'	6°02'	144	
302	13 —	62°44'	4°18'	340	
303	13 —	62°48'	4°16'	470	
305	13 —	62°53'	5°02'	170	
306	14 —	63°03'	4°46'	520	
307	14 —	63°01'	5°13'	142	
308	14 —	62°58'	5°45'	104	

## 3° Granulométrie des sédiments.

### A. — PREPARATION DES ECHANTILLONS POUR L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE.

Les échantillons récoltés présentent en général une très forte hétérométrie qui oblige à scinder le tamisage en 2 opérations :

Un premier tamisage de l'ensemble sur un tamis à mailles de 3 mm a pour but de séparer la fraction sableuse de la fraction graveleuse. Chaque fraction est alors pesée.

En général la fraction sableuse est trop importante pour être soumise au tamisage mécanique.

Il est donc nécessaire de faire, sur cette fraction, un prélèvement d'environ 150 g qui reste représentatif de la répartition granulométrique du sédiment. Ce prélèvement est réalisé mécaniquement sur une petite machine à diviser (BERTHOIS L. et C., 1951-1952). Pour des sédiments dragués dont la granulométrie originelle a été plus ou moins perturbée par le parcours de la drague sur le fond, une séparation sur du papier divisé (*loc. cit.*, 1951-52) peut être suffisante.

En général, la fraction graveleuse toute entière n'excédait pas 2 kg et pouvait être soumise au tamisage en une seule fois sur des tamis en tôle perforée de trous circulaires.

Les calculs des pourcentages des résidus sur chaque tamis sont faits ensuite en tenant compte des quantités préalablement déterminées de sable et de graviers.

Lorsqu'il existe une fraction fine, il est nécessaire de l'isoler dès le début des opérations. Cette extraction ne peut se faire que par lavage et trituration du sédiment sur un tamis à mailles de 60  $\mu$ . Ce lavage à l'eau distillée est une opération longue et fastidieuse mais elle est indispensable. L'eau de lavage contenant les fines particules en suspension est recueillie dans de grands cristallisoirs, puis elle est versée dans des capsules de 2 l. en terre à feu.

L'évaporation est faite dans des étuves électriques de grande capacité et le sédiment fin qui s'est aggloméré en plaquettes est détaché et pesé.

La fraction sableuse, et la fraction graveleuse si elle existe, sont traitées comme il a été indiqué précédemment.

#### B. — PREPARATION DES ECHANTILLONS POUR L'ANALYSE MICROGRANULOMETRIQUE.

La fraction du sédiment franchissant le tamis de 60  $\mu$  doit subir une préparation spéciale avant d'être soumise à l'analyse microgranulométrique.

Dans les sédiments marins de la mer du Nord ou de la mer d'Irlande étudiés dans ce travail, la fraction argileuse, au sens minéralogique de ce terme, est en général très peu importante et par conséquent la dispersion des éléments fins présente beaucoup moins de difficultés que dans le cas d'argiles pures ou presque pures.

La méthode employée est inspirée de celle décrite par MUNIER et RIVIÈRE (1948), mais les considérations précédentes m'ont conduit à la simplifier.

Le sédiment séché est soigneusement détaché des capsules utilisées pour l'évaporation des eaux de lavage. Il est ensuite pulvérisé dans un petit broyeur à ailettes. Sur la poudre ainsi obtenue on fait un prélèvement de 20 g. Ce prélèvement est placé dans un bécher pour être traité par l'eau oxygénée à 40 vol. d'abord à froid, puis à chaud (sur un bain-marie à niveau constant) jusqu'à ce que l'on obtienne l'élimination des matières organiques. Cette disparition de la matière organique se signale par une décoloration importante du sédiment. Cette opération exige fréquemment 2 à 4 jours de traitement.

Après refroidissement, l'échantillon est amené à un pH voisin de la neutralité, puis on y ajoute 20 cm<sup>3</sup> d'une solution de pyrophosphate de soude à 5 %. On soumet alors l'échantillon à l'agitation mécanique pendant au moins 16 heures pour obtenir une dispersion satisfaisante des particules.

L'échantillon est alors prêt pour l'analyse microgranulométrique.

J'ai signalé précédemment que la fraction très fine des sédiments étudiés était en général peu importante. Ainsi, les particules de diamètre inférieur à 5  $\mu$  représentent, dans la plupart des cas moins de 10 % de l'ensemble du sédiment. C'est tout à fait exceptionnellement que cette fraction fine atteint ou dépasse 25 %.

Ces considérations m'ont conduit à adopter la méthode densimétrique, beaucoup plus rapide et plus simple que la méthode à la pipette, et donnant cependant d'excellents résultats lorsque les sédiments ne contiennent pas une trop grande proportion d'éléments très fins. Les opérations ont été conduites en tenant compte des indications données par S. MÉRIAUX (1954) dans son important mémoire.

C. — CONSTRUCTION DES COURBES GRANULOMETRIQUES.

Les mailles des tamis utilisés varient très sensiblement suivant une progression géométrique décroissante de raison  $\sqrt{2}$ . Il en résulte que dans une représentation des diamètres des mailles en abscisses, suivant une échelle logarithmique, les mailles des cribles adoptés se placent à égale distance les unes des autres.

Les ordonnées qui représentent les poids cumulés des résidus sur chaque tamis sont exprimées suivant une échelle de probabilité. La construction de cette échelle est grandement facilitée par l'usage du graphique dessiné à l'aide des valeurs calculées par R. GIBRAT (*in* L. BERTHOIS, 1949).

L'intérêt de ce mode de représentation est le suivant: lorsque les sédiments présentent une répartition suivant une loi probabiliste, la courbe granulométrique est une droite.

Cette remarque, faite par MUNIER et RIVIÈRE (*loc. cit.*, 1948), permet d'identifier rapidement les différents stocks granulométriques d'un sédiment complexe. Elle permet, en outre, une correction, facile et efficace des petites erreurs inhérentes à toutes les courbes expérimentales. Enfin ce mode de représentation graphique permet de multiples combinaisons et des variations de construction qui ont été exposées en détail par DOGLAS et B. SMITHUISEN (1941) dans leur mémoire.

D. — EXAMEN ET DISCUSSION DES RESULTATS DES ANALYSES GRANULOMETRIQUES.

a) *Sédiments grossiers.*

Les courbes granulométriques représentant ces sédiments offrent une très grande variété d'ensemble et de détail due à une forte hétérométrie des échantillons recueillis (fig. 2).

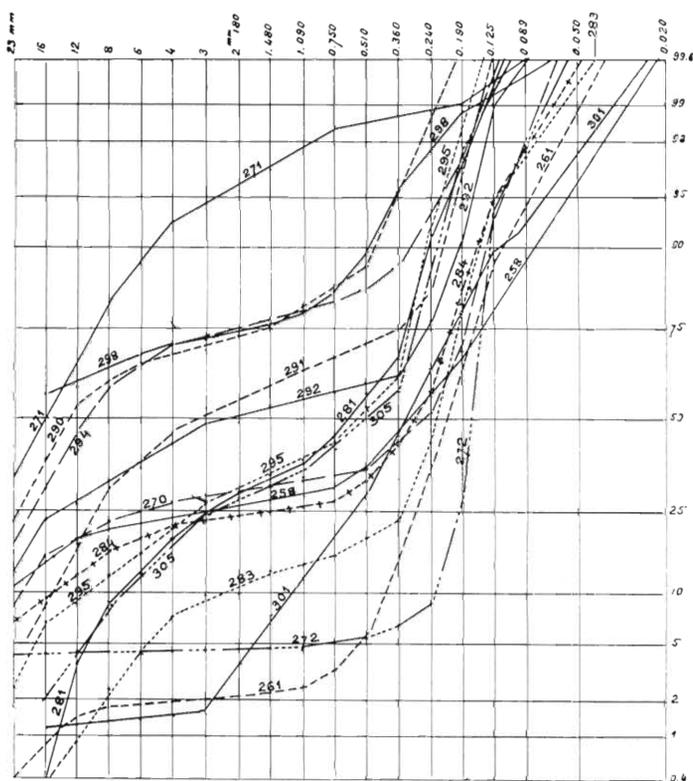


FIG. 2.

sière (> 2,18 mm) ont été recalculées et reconstruites. Elles sont, sous cette nouvelle forme, représentées figure 3.

Les courbes granulométriques représentant ces sédiments offrent une très grande variété d'ensemble et de détail due à une forte hétérométrie des échantillons recueillis (fig. 2).

Ces courbes présentent de si importantes disparités qu'il est pratiquement impossible de les classer ou de les grouper, à moins bien entendu, de limiter les groupes à deux ou trois individus. Une telle tentative, sur seulement 16 courbes, est vouée à un échec ou présentera très peu de garantie par suite de l'indécision entachant chaque tracé.

Cependant, toutes ces courbes montrent au moins une inflexion, parfois prononcée en un point quelconque de leur tracé. Cette inflexion indique que le sédiment est composé de deux stocks granulométriques bien distincts. Malheureusement les inflexions des courbes ne se produisent pas toutes dans le même intervalle granulométrique et par conséquent il faut choisir arbitrairement la coupure à effectuer.

Dans ces conditions j'ai choisi arbitrairement la limite de 2,18 mm qui est voisine de la dimension supérieure du domaine granulométrique des sables. Les courbes cumulatives précédentes (fig. 2) débarrassées de la fraction gross-

Cette transformation a groupé toutes les courbes (sauf le n° 271) en un faisceau bien homogène et malgré quelques disparités de détail elles répondent toutes à un même type de sélectivité, et par conséquent à un même type de dépôt.

La courbe du sédiment n° 271 présente une anomalie de forme qui paraît attribuable à des conditions locales de dépôt.

En ordonnant les autres courbes suivant les diamètres décroissants des grains moyens, on obtient le classement suivant :

Diamètre du grain moyen .....	0,600	0,550	0,400	0,370	0,360
N° de station .....	298	290	281	294	305
					295
					291
Diamètre du grain moyen ....	0,300	0,250	0,230	0,220	0,210
N° de station .....	301	292	284	258	270
					272
					283

Ce classement des points de prélèvement montre que les sédiments sont un peu plus grossiers dans la partie Nord-Ouest de la zone étudiée que dans la partie Sud-Est de cette zone. Cette répartition granulométrique est confirmée par l'étude des courbes cumulatives des échantillons provenant des stations n°s 296, 300, 307 et 308 (fig. 3).

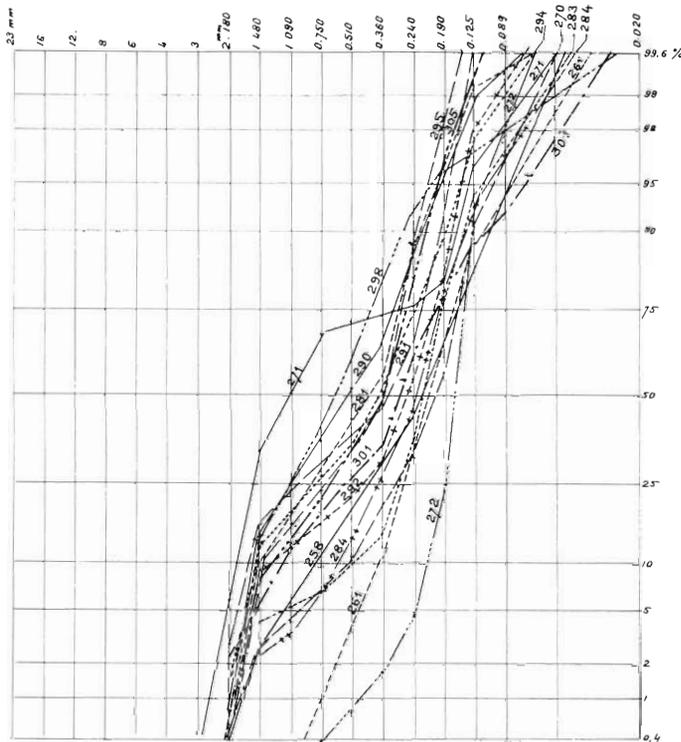


FIG. 3.

situés sur une ligne sensiblement Nord-Sud et la sélectivité est décroissante du Sud vers le Nord.

Les sédiments de ce type de dépôt ne sont pas assez nombreux pour permettre d'en tirer des conclusions particulières sur une évolution de la sédimentation dans cette région du plateau continental.

**b) Sédiments sableux dépourvus de fraction grossière.**

Parmi les échantillons dragués, quatre seulement sont dépourvus de fraction grossière. Le sédiment de la station n° 307 qui a été prélevé à l'ouest des trois autres stations près de l'isobathe de 100 brasses, montre un triage beaucoup moins sélectif que celui des n°s 296, 300 et 308 (fig. 4).

Ces trois derniers sédiments présentent un excellent classement puisque les pourcentages en poids des grains de 0,360 à 0,190 mm sont compris entre 48 % (n° 308) et 91 % (n° 296). l'échantillon n° 300 étant intermédiaire avec 83 %.

Ces trois prélèvements sont

Cependant, il ne paraît pas interdit de procéder par analogie pour caractériser ce type particulier de sédiments. J'ai représenté (fig. 5) quelques sédiments de plages de la Côte belge.

— Les n<sup>os</sup> 523, 527 et 528 proviennent de la plage de Nieuwpoort.

— Les n<sup>os</sup> 533, 534, 537 et 538 proviennent de la plage de Koksijde.

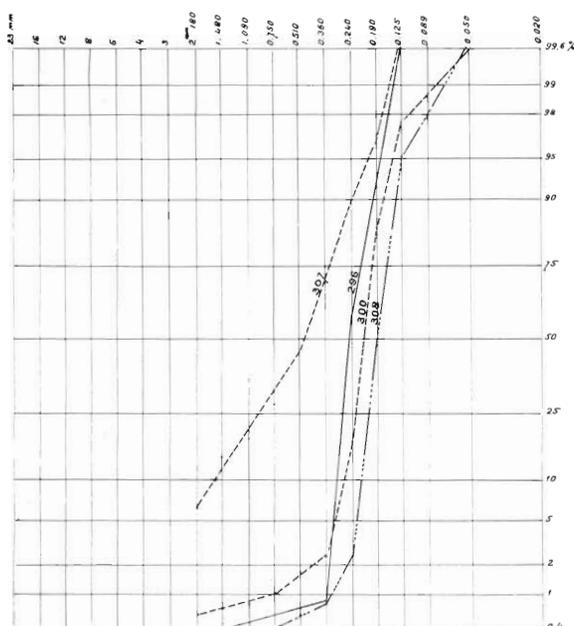


FIG. 4.

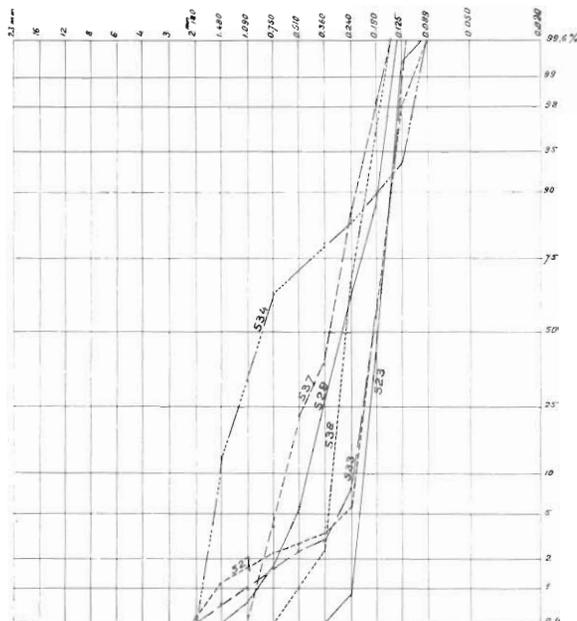


FIG. 5.

Toutes les plages du littoral belge sont formées de sables extrêmement fins et remarquablement classés. Cette sélection granulométrique remarquable est due à des échanges fréquents entre la plage et la dune. En effet, à la faveur des grandes marées la mer sape le pied de la dune et emporte du sable qui se trouve incorporé à la plage.

Mais, pendant les basses mers, lorsque la plage est largement découverte et que le vent souffle du large, le sable de la plage est transporté vers la dune par l'érosion éolienne. Le phénomène inverse se produit lorsque souffle le vent de terre.

J'ai montré antérieurement (BERTHOIS L. et C., 1954) que, sur les côtes de Norvège méridionale, le classement granulométrique très sélectif était dû à cette alternative d'action marine et éolienne. Les courbes cumulatives des sédiments côtiers sont du même type que celles de la figure 5.

En recherchant, parmi les courbes corrigées de la figure 3, celles dont la sélectivité se rapproche le plus de celles des sédiments n<sup>os</sup> 296, 300 et 308 (fig. 4) il est aisé de constater que 3 courbes présentent des caractères satisfaisants. Ce sont, dans l'ordre décroissant de sélectivité, les courbes des stations : 272, 281 et 283.

On doit observer que les stations n<sup>os</sup> 308, 300, 296, 283, 261, 272 forment un arc de cercle dont la concavité ouverte au Nord-Ouest est tournée vers le large. Faut-il y voir le tracé approximatif d'une ancienne ligne de rivage ? Il serait sans doute prématuré de l'affirmer et des recherches complémentaires me paraissent nécessaires avant d'en acquiescer la certitude. Toutefois, la ligne précédemment définie correspond très sensiblement à un changement de faciès qui sera examiné à nouveau dans l'étude de la répartition des sédiments.

c) *Sédiments complexes.*

J'ai désigné sous ce vocable des dépôts qui comprennent à la fois de gros graviers (éventuellement des galets), des sables et une fraction fine d'importance très variable.

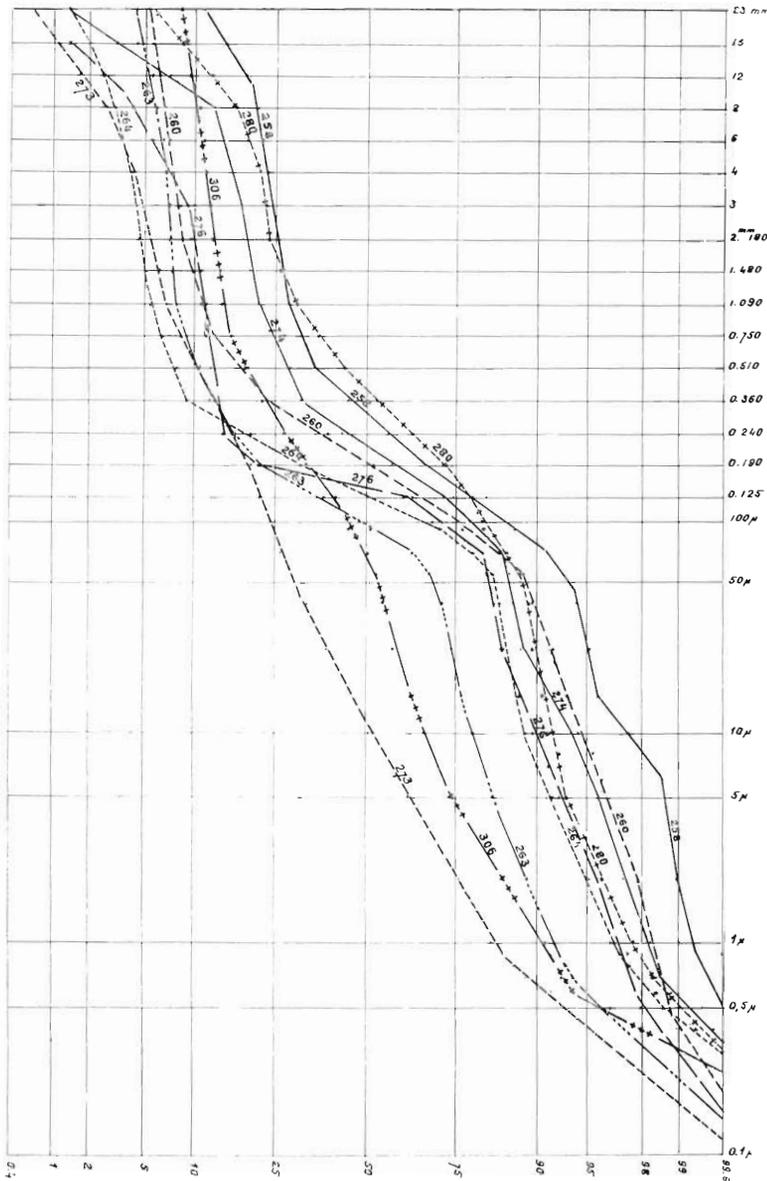


FIG. 6.

Ces dépôts sont localisés sur la pente du plateau continental et dans la partie Sud-Ouest de la région étudiée. Tous ces sédiments proviennent de stations situées au-delà de la courbe bathymétrique de 100 brasses. Il n'existe qu'une seule exception à cette règle, elle est fournie par l'échantillon de la station 258 (165 m). Cette station est située à la limite des sédiments grossiers et des sédiments complexes, puisque chacun des deux dragages exécutés à cette station a fourni l'un de ces deux types de dépôt (voir fig. 3 et fig. 6).

Il est à noter que le sédiment complexe de la station 258 est celui qui produit la plus faible fraction fine : moins de 2 % d'éléments de diamètres inférieurs à 5  $\mu$  (voir fig. 6).

J'ai représenté sur la figure 6 les courbes cumulatives de ces sédiments complexes. Les teneurs en éléments grossiers (graviers  $> 3$  mm) sont très variables, la valeur la plus faible est de 5 % (station 264) tandis que la valeur la plus forte atteint 25 % (stations 258 et 280).

Il est bien évident que des sédiments possédant une aussi forte hétérométrie que ceux représentés par les courbes cumulatives de la figure 6 ne peuvent se déposer en même temps. Il tombe sous le sens qu'un courant d'eau suffisamment puissant pour déplacer des graviers de plus de 10 mm de diamètre ne déposera pas au même moment les éléments de 1  $\mu$  de diamètre qu'il porte en suspension.

Même en restreignant l'étendue du domaine granulométrique, un courant d'eau ne dépose pas en même temps et au même endroit un sable de 0,75 mm et une fraction fine de 1  $\mu$  de diamètre.

Cette remarque n'est pas seulement basée sur un raisonnement hydrodynamique, c'est aussi un fait d'observation dont je possède des centaines d'exemples.

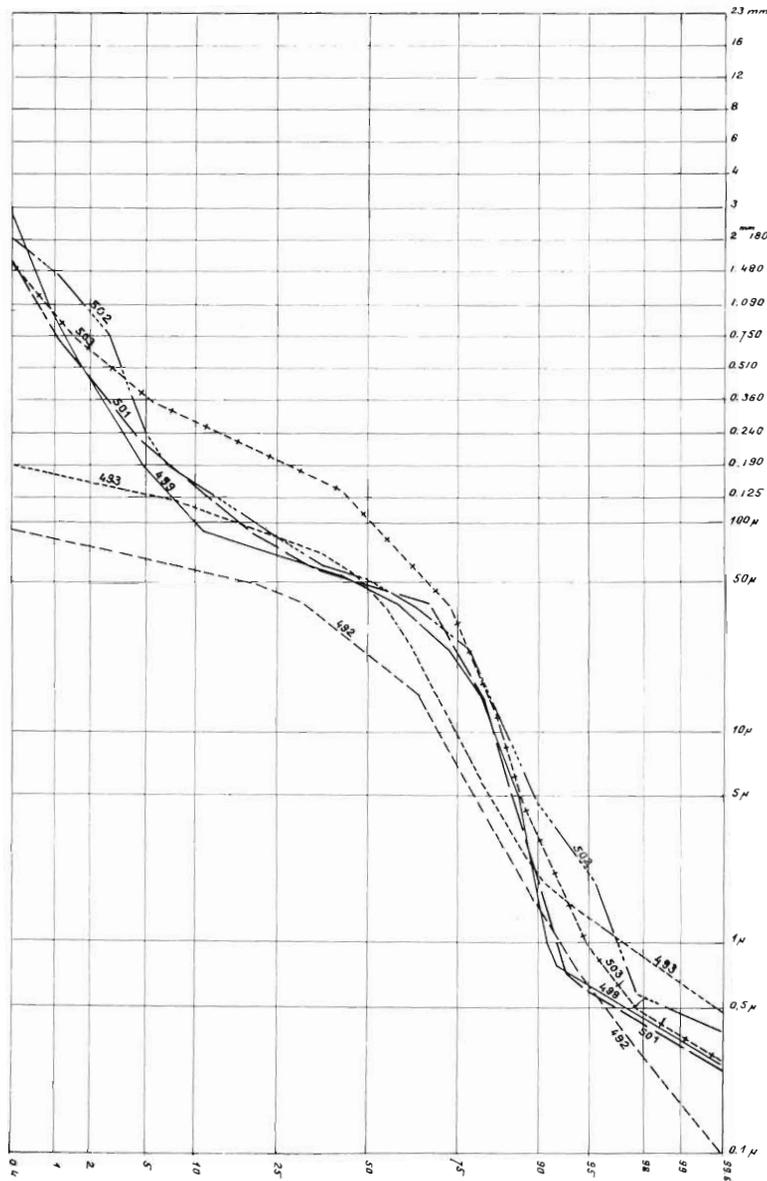


FIG. 7. — Dépôts quaternaires et actuels de la Vallée de la Rance.

Les Vallées : 503 limon de la falaise,  
501 vase du haut du shore;  
502 vase de la slikke.

Sud de Langrolay : 499 shore des chenaux.

Moulin de Mordreuc : 493 fraction fine du limon de la falaise,  
492 vase du shore

Ainsi, dans un estuaire à marées où la sédimentation présente certainement le maximum de complication du fait des inversions de sens du courant et des périodes d'étale qui séparent ces inversions, les dépôts restent granulométriquement sélectifs.

J'ai fait, dans l'estuaire de la Loire, plus de 30 carottages de sédiments (dimensions des carottes 0,80 m à 4 m). Les dépôts y présentent parfois des variations considérables mais sont toujours différenciés granulométriquement en couches bien délimitées. Je n'ai jamais observé un mélange de graviers et de vase ou un mélange de sable grossier et d'éléments de 1  $\mu$ .

Cependant on pourrait objecter qu'au cours d'un dragage l'engin de prélèvement s'enfonce dans le sol sous-marin et est traîné sur une distance qui n'est pas négligeable. Cette objection serait certainement valable si elle s'appliquait à un très petit nombre de prélèvements. Mais ce n'est pas le cas, puisque non seulement tous les sédiments profonds récoltés par le « *Président-Théodore-Tissier* » présentent ce mélange hétérométrique, mais aussi les sédiments dragués par H. HOLTEDAHN (*loc. cit.*, p. 69). Il paraît donc impossible d'admettre qu'un mélange accidentel ait pu se répéter d'aussi nombreuses fois et sur une aire de répartition aussi considérable.

Pour expliquer cette énorme hétérométrie des sédiments récoltés il faut envisager les conditions très particulières de dépôt que je vais examiner :

J'ai étudié, il y a quelques années (BERTHOIS L. et C., 1954-1955) l'origine de la fraction minérale des vases de la Vallée de la Rance et montré que cette fraction minérale dérivait des limons des falaises riveraines par un lessivage effectué par la mer.

Cette démonstration a été basée sur trois sortes d'observations : constatations géologiques sur le terrain, analyses thermiques différentielles montrant l'identité spécifique des fractions argileuses des limons et des vases, analyses microgranulométriques montrant la quasi-identité granulométrique des vases et de la fraction fine des limons.

Au cours des basses mers, dans la Vallée de la Rance, la succession suivante des dépôts peut être observée; du pied des falaises vers la rivière :

a) blocs du head; ils sont plus ou moins nombreux et volumineux, suivant la nature de la roche et l'importance de la matrice de limons qui les enrobe;

b) graviers anguleux provenant du limon : ils passent progressivement à des sables plus ou moins grossiers;

c) vase du shorre et de la slikke.

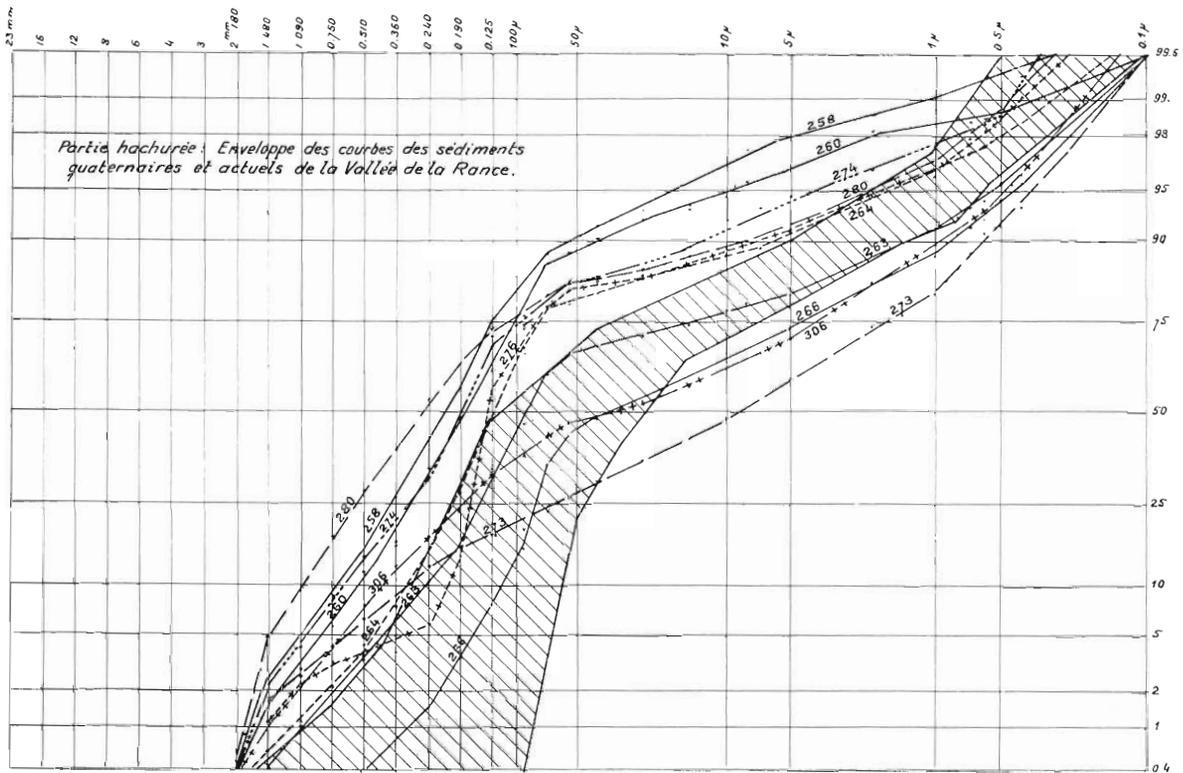


FIG. 8.

Ainsi, tout au long des rives de ce grand estuaire à marées existent ces dépôts très hétérométriques, ayant schématiquement la disposition indiquée ci-dessus mais présentant très souvent des imbrications très complexes des variétés granulométriques. J'ai représenté sur la figure 7 quelques-uns de ces sédiments.

L'examen de ces courbes montre l'identité quasi complète des limons et des vases. Il n'a pas été possible de représenter la granulométrie des dépôts de « head » qui s'étendent dans une gamme dimensionnelle considérable depuis 600 mm de diamètre jusqu'à des graviers de 3 à 4 mm.

Pour faciliter la comparaison des formations quaternaires et actuelles de la Rance avec les sédiments dragués au large de la côte de Norvège, j'ai supposé les éléments > 2,18 mm extraits de ces sédiments.

Je n'ai donc laissé subsister dans cette nouvelle représentation que les grains de la dimension des sables et la fraction fine les accompagnant. En fait, j'ai réalisé, par un artifice de calcul sur les sédiments de Norvège, un choix comparable à celui fait sur le terrain, lorsque j'ai choisi, pour y faire mes prélèvements, les lits les moins graveleux des limons de la Rance.

Les nouvelles courbes granulométriques ainsi modifiées sont représentées figure 8. On observe nettement que, sous cette nouvelle forme, les courbes des sédiments de Norvège ont une allure générale très voisine de celles de la Rance.

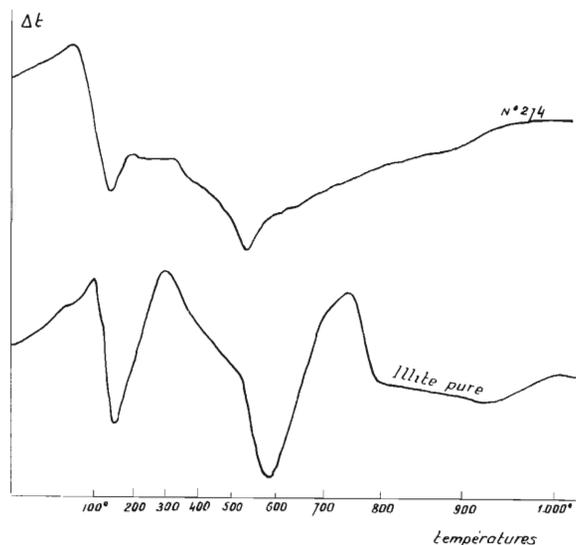


FIG. 9.

Pour faciliter la comparaison, j'ai reporté sur le graphique des courbes des sédiments de Norvège les courbes des dépôts quaternaires et actuels de la Vallée de la Rance. Pour plus de facilité encore dans la lecture du dessin j'ai représenté par une aire hachurée la courbe enveloppe des courbes cumulatives des sédiments de la Vallée de la Rance.

Ainsi, les dépôts quaternaires d'origine périglaciaire de la Vallée de la Rance peuvent donner, après lessivage et remaniement par les eaux océaniques, des dépôts dont la granulométrie offre une évidente parenté avec ceux dragués au large des Côtes de Norvège.

Les sédiments dragués dans la région de Møre-Romsdal ne procèdent sans doute pas de formations périglaciaires mais de dépôts glaciaires morainiques, remaniés par la mer. Étant donné la similitude des rapports granulométriques existant entre les deux formations quaternaires le problème garde le même aspect.

L'étude granulométrique seule, conduit à une conclusion analogue à celle de H. HOLTEDAHL, qui attribue aux sédiments qu'il a étudiés une origine glacio-marine.

#### d) Etude de la fraction fine des sédiments complexes.

H. HOLTEDAHL a montré (*loc. cit.* p. 69) que la teneur en éléments fins  $< 65 \mu$  augmentait considérablement avec la profondeur des prélèvements. Je noterai en passant que cette répartition spatiale des éléments fins s'accorde parfaitement avec l'hypothèse d'un lessivage marin des formations continentales glaciaires. Les sédiments fins ayant tendance à s'accumuler au bas de la pente par un phénomène de glissement analogue à celui qui s'est produit dans toutes les rias de la côte bretonne.

La fraction sédimentaire qui représente les minéraux argileux seuls ( $< 10 \mu$ ) dépasse rarement 10 % dans les sédiments étudiés par H. HOLTEDAHL aussi bien que dans ceux que j'ai examinés (stations n<sup>os</sup> 258, 260, 264, 274, 276, 280).

Cette fraction fine atteint rarement 25 % dans tous les sédiments étudiés. La teneur de 50 % que j'ai observée une seule fois à la station 273 ne semble avoir été atteinte par aucun des sédiments étudiés par HOLTEDAHL.

Une analyse thermique différentielle de la fraction fine du sédiment de la station 274 montre qu'il existe une fraction colloïdale assez importante qui se manifeste par un crochet exothermique au début de la courbe différentielle. Après le départ d'eau s'achevant vers 200° s'amorce un palier, puis un crochet endothermique illitique très largement ouvert (voir fig. 9).

Au-dessous de la courbe thermique du sédiment, j'ai représenté à titre de comparaison, la courbe d'une Illite pure provenant de la collection du laboratoire de Minéralogie du Muséum. Il apparaît nettement que le sédiment de la station 274 est constitué par une argile de type illitique accompagnée d'un pourcentage important de matière mal cristallisée.

#### 4° Teneur en azote total.

La teneur en azote total a été déterminée suivant la méthode dite de micro-Kjeldahl décrite dans tous les ouvrages classiques. La minéralisation des vases est relativement facile, elle est souvent complète en moins de deux heures.

Dans le tableau suivant, où sont consignés les résultats des dosages, j'ai également indiqué : la profondeur du prélèvement et la dimension du grain moyen du sédiment déterminée à l'aide de la courbe granulométrique cumulative.

Station N°	Profondeur en m	Diamètre moyen en mm	N. %
258	165	0,350	0,028
260	204	0,190	0,040
263	355	0,100	0,045
264	384	0,125	0,040
266	414	0,080	0,100
273	184	0,011	0,040
274	420	0,210	0,050
276	623	0,140	0,050
280	275	0,400	0,030
306	520	0,070	0,050

Ces résultats montrent que les sédiments les plus riches en azote total ont tous été récoltés à des profondeurs supérieures à 200 m (stations n°s 263, 266, 274, 276, 306).

On trouve les sédiments les moins riches en azote par des fonds inférieurs à 200 m (ou voisins de ce chiffre) (stations n°s 258, 260, 273). Cependant, le sédiment de la station n° 264 récolté à 384 m n'a pas une teneur en azote total plus élevée que certains sédiments du plateau continental.

Malgré l'insuffisance du nombre des dosages, il semble que les sédiments les moins riches en azote total soient ceux de la zone du plateau continental limitée par la courbe bathymétrique de 200 m. Mais cette teneur en azote est sans doute aussi influencée par la granulométrie des sédiments. Cette question sera examinée plus loin, pour l'ensemble des dosages.

#### 5° Morphométrie des galets.

##### a) Recherche antérieure.

H. HOLTEDAHN a étudié la morphométrie des galets dragués et établi un grand nombre de types qu'il a ensuite groupés en 4 classes :

*Classe 1* : Well rounded, well rounded-rounded, rounded rounded-subrounded.

*Classe 2* : Subrounded-well rounded, sub-angular-well rounded, angular-well rounded, subangular-rounded, angular-rounded.

*Classe 3* : Subrounded, subrounded-subangular, subangular subangular-angular, angular-subrounded.

*Classe 4* : Angular.

Dans une représentation encore plus simplifiée, l'auteur a totalisé les classes 1 et 2 pour le calcul des pourcentages groupés dans un tableau où les stations sont classées par ordre de profondeur décroissante.

Les galets des classes 1 et 2 ne dépassent 16 % de l'ensemble que dans les profondeurs inférieures à 100 m.

Les galets de la classe 3 sont toujours les plus abondants, leur pourcentage atteint parfois 98.8 mais sa valeur est plus habituellement autour de 80 %.

Les galets de la classe 4 n'atteignent qu'une fois 18 %. Entre les profondeurs de 370 m et 160 m leur pourcentage est souvent voisin de 10 %.

Ces résultats ont conduit l'auteur à attribuer à ce matériel une origine fluvio-glaciaire.

**b) Nouvelle étude morphométrique.**

J'ai étudié les galets dragués, suivant la méthode de A. CAILLEUX (1945) en utilisant les indices d'aplatissement et les indices d'émoussé. Cette méthode est très répandue actuellement, je ne la décrirai pas à nouveau. Je l'ai précédemment commentée dans un travail auquel le lecteur voudra bien se reporter, le cas échéant (L. BERTHOIS, 1950).

MORPHOMÉTRIE DES GALETS

Station N°	Profondeur en m	Indice d'aplatissement	Indice de dissymétrie	Nombre de galets mesurés
291	90	1,32	600	4
298	96	1,90	615	14
281	122	1,75	622	4
297	128	2,00	670	10
301	144	1,55	670	10
258	165	2,13	687	29
273	184	2,37	640	5
288	184	1,75	640	10
284	187	1,75	630	16
294	190	2,10	670	20
287	194	1,65	675	24
271	200	1,80	670	39
290	200	1,80	670	10
293	212	2,15	605	11
286	215	2,00	645	29
262	225	2,27	720	10
283	240	1,45	685	6
280	275	1,93	675	24
302	340	2,10	575	10
263	355	1,61	657	10
264	384	2,25	700	11
274	420	1,90	600	4
265	432	2,15	675	23
303	470	1,80	640	4
275	516	1,65	665	11
279	635	2,00	707	20
278	770	2,71	682	30

Dans le tableau ci-dessus j'ai classé les stations par profondeurs croissantes. J'ai indiqué pour l'indice d'aplatissement  $\frac{L + l}{2 E}$  la valeur de la médiane telle qu'elle a été définie par J. TRICART et R. SCHAEFFER (1950). Pour l'indice de dissymétrie  $\frac{A C}{L} \times 1000$  j'ai également indiqué la valeur de la médiane.

Dans les formules ci-dessus :

L = longueur du galet,

l = largeur,

E = épaisseur maximum,

A C = distance d'une extrémité du galet au point du plus fort renflement de son épaisseur.

Dans une étude morphométrique qui a un caractère essentiellement statistique la valeur à accorder aux résultats obtenus est fonction du nombre des mesures.

Lorsque les mesures sont faites sur des galets d'un cordon littoral il est toujours possible de mesurer un grand nombre d'échantillons et d'obtenir des moyennes à forte probabilité d'exactitude.

Lorsque les échantillons sont dragués, il faut se contenter du lot rapporté par la drague. Mais il est bien évident que les moyennes obtenues sont d'autant plus sujettes à caution que le lot de galets mesuré est moins important.

Dans la présente étude morphométrique le nombre des galets dont je disposais a varié de 39 à 4. Par conséquent les indices mentionnés au tableau suivant présentent des marges d'incertitude très différentes. C'est pour permettre d'en apprécier la valeur que j'ai indiqué, pour chaque station, le nombre des galets mesurés.

Dans un récent travail sur les cordons littoraux de la rade de Brest, A. GUILCHER et ses collaborateurs ont fait plus de six mille mesures de dissymétrie sur les galets des formations littorales de la rade (A. GUILCHER, P. VALLANTIN, J.-P. AUGRAND et P. GALLOY, 1957).

Les matériaux étudiés par ces auteurs sont fraîchement issus des coulées périglaciaires littorales et gardent encore une très grande partie de leurs caractères originels dérivant de la fragmentation par gélivation. Les auteurs concluent que « le matériau des cordons littoraux de la rade n'a donc pas acquis un façonnement vraiment marin ».

Les indices de dissymétrie mesurés en rade de Brest ont les valeurs médianes suivantes : 594, 620, 625, 635, 640, 646, 648, 650, 663, 666, 690.

Les indices de dissymétrie déterminés d'après les mesures sur les galets de la Mer du Nord n'ont pas une aussi grande probabilité d'exactitude que celles exécutées par A. GUILCHER et ses collaborateurs. Cependant, il est frappant de constater que les valeurs obtenues pour les dépôts de Møre-Romsdal sont toujours du même ordre de grandeur que ceux de la rade de Brest.

Or, dans les deux cas, le matériau est constitué de roches anciennes à direction de cassure préférentielle et par conséquent les modalités du façonnement sont identiques.

Pour l'interprétation des indices d'aplatissement je rappellerai d'abord que l'indice d'aplatissement d'un galet rigoureusement sphérique est égal à 1 et que la valeur de l'indice augmente avec l'aplatissement du galet. Les médianes des indices d'aplatissement des galets étudiés ont toujours des valeurs élevées car les roches dominantes possèdent une direction de cassure préférentielle. Ces valeurs élevées des indices d'aplatissement confirment le faible façonnement des roches.

En définitive, l'étude morphométrique des galets dragués en Mer du Nord montre que leur façonnement par le milieu marin est extrêmement réduit et qu'ils ont conservé d'une manière quasi complète le caractère, qui leur a été conféré par les formations glaciaires dont ils sont issus.

## 6° Lithologie des galets.

### a) *Recherches de Holtedahl.*

L'étude lithologique des galets dragués par HÖLTEDAHL (*loc. cit.* p. 85 et suiv.) lui a permis de reconnaître les variétés suivantes :

ROCHES ÉRUPTIVES MASSIVES ET FILONIENNES : Reddish graniite, Gabbro, Diorite et quartz-diorite. Syénite, Anorthosite, Larvikite, Dunite, Eclogite, Péridotite, Tönsbergite, Diabase, Romb. porphyry, Porphyry, Quartz porphyry, Aplite.

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : Grey gneiss, basic gneiss, biotite gneiss, granitic gneiss, augen gneiss, reddish gneiss, micaceous gneiss, mica-schist, hornblende schist, green schist, micaceous flagstone, hornfels, amphibolite, pyroxenite, hornfels.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : Quartzite, sandstone, feldspatic sandstone, silts stone, soft claystone, claystone, shale, conglomerate, flint.

**Minéraux :**

Quartz, feldspath.

**b) Nouvelles recherches.**

Les résultats de l'étude lithologique des galets dragués seront donnés par station.

Les déterminations ont été faites à la loupe pour les types courants, mais j'ai eu recours à l'étude microscopique sur lames minces chaque fois que l'examen macroscopique s'est révélé insuffisant.

Dans l'exposé des résultats, la description lithologique détaillée sera résumée toutes les fois qu'elle apportera quelques éléments intéressants. Les roches faisant l'objet d'une description détaillée porteront l'indication (D) dans la nomenclature.

**STATION 258.**

Les roches suivantes ont été reconnues :

ROCHES ÉRUPTIVES : granite calcoalcalin, pegmatite tourmalinifère, microgranite à structure pegmatitique (D), diorite quartzique (D).

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss à biotite, gneiss à deux micas, gneiss calcoalcalin, amphibolite feldspathique, schiste amphibolique, pyroxène à grenat, micaschiste feldspathique, micaschiste à grenat, chloritoschiste.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : grès feldspathique (D), calcaires à girvanella (D), calcaire organogène (D).

Etude microscopique :

*Microgranite à structure pegmatitique* : Au 1<sup>er</sup> temps de cristallisation : phénocristaux d'orthose et de feldspath calcosodique à 17 % d'anorthite, biotite en amas, zircons isolés ou en amas, quartz contemporain du feldspath et formant avec celui-ci des groupements micropegmatitiques.

Au 2<sup>e</sup> temps : quartz en grains idiomorphes isométriques, feldspath rare en petits grains mâclés : microcline et albite-oligoclase à 10 % d'An., biotite aciculaire.

*Diorite quartzique* : gros cristaux d'augite parfois moulés suivant h<sup>1</sup> (100), Quartz très abondant, en grains irréguliers, pouvant constituer, avec des cristaux de feldspath assez volumineux, des bourgeons de myrmekite ou une structure pegmatitique; biotite très abondante; feldspath rare en petits grains d'oligoclase andésine à 30-32 % d'An.-Zircon abondant dans certaines plages de la préparation.

*Grès feldspathique* : Quartz en grains isométriques, les grains anguleux sont dominants mais il existe des grains émoussés et des grains à contour arrondi. Microcline en grains peu roulés, albite-oligoclase à 15-20 % d'An., biotite assez rare en lamelle très polychroïque, petites paillettes de séricite plus abondantes que la biotite. Pyroxène (diopside). Zircon rare.

Le ciment se présente sous deux aspects, il peut être constitué d'une fine boue calcaréo-argileuse ou formé de plages de calcite cristallisée finement maclée. Dans certaines parties de la préparation le ciment calcaire est epigenisé par de la silice formant une fine mosaïque quartzeuse.

*Calcaire à girvanella* : la roche est essentiellement constituée par un feutrage de girvanella dont la structure initiale est parfois détruite par recristallisation du carbonate de chaux. On reconnaît en outre quelques débris organogènes : ostracodes, sections de piquants d'échinodermes, bryozoaires.

*Calcaire organogène* : le ciment, constitué par une fine boue calcaréo-argileuse, renferme de nombreux débris organogènes : spicules de spongiaires calcifiés, sections de piquants d'oursin, bryozoaires.

**STATION 262.**

ROCHES ÉRUPTIVES : granite, granite calco-alcalin, Dolérite.

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss œillé, gneiss calcosodique, chloritoschiste.

ROCHE SÉDIMENTAIRE : grès feldspathique à ciment calcaire (D).

Etude microscopique :

*Grès feldspathique à ciment calcaire* : quartz très abondant en grains anguleux, souvent même esquilleux; il existe aussi de petites plages quartzitiques dans lesquelles aucun ciment n'est interposé entre les grains. Le feldspath est beaucoup moins abondant que le quartz, il est de la série albite-oligoclase. La biotite est rare, la séricite est beaucoup plus abondante. La zoïzite est peu abondante.

Le ciment est constitué par de grandes plages, irrégulières de calcite moulant tous les autres minéraux.

**STATION 263.**

ROCHE ÉRUPTIVE : granite calcoalcalin.

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss calcoalcalin, gneiss à grenat.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : quartzite, grès à ciment siliceux, schiste, grès à ciment calcaire (D), calcaire à grain fin (D).

Etude microscopique :

*Grès à ciment calcaire* : Quartz très abondant en grains isométriques, quelques grains sont roulés mais, en général, ils apparaissent seulement émoussés ou anguleux. Le feldspath est rare (20 % d'An.). Séricite rare, en cristaux aciculaires. Minéraux accessoires : zircon et apatite.

Le ciment tient dans cette roche une place très importante, c'est une fine boue calcaire qui renferme des traces organogènes indéterminables. On observe également des filonnets de calcite claire bien cristallisée.

*Calcaire à grain fin* : la roche est un calcaire très finement cristallisé renfermant de nombreux débris organogènes rarement déterminables; j'ai seulement identifié : des sections transversales de tiges de crinoïdes et quelques sections longitudinales largement cristallisées, quelques sections d'ostéocodes, quelques calcisphères, enfin une section quasi tangentielle que je rapporte, avec doute, à un radiolaire calcifié.

**STATION 264.**

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss œillé, gneiss à grenat, micaschiste, leptynite très feldspathique.

MINÉRAUX : quartz et chlorite.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : quartzite, grès feldspathique, grès à ciment ferrugineux, calcaire noir.

**STATION 265.**

ROCHES ÉRUPTIVES : granite à deux micas, pegmatite à tourmaline, rhyolite.

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss œillé, micaschiste, micaschiste à grenat (D), chloritoschiste.

MINÉRAUX : quartz filonien avec mica.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : grès feldspathique, calcaire sublithographique, calcaire gris foncé à grain fin.

Etude microscopique :

*Micaschiste* : structure lépidoblastique à porphyroclastique.

La biotite est très abondante, elle est parfois chloritisée, elle renferme de nombreuses inclusions d'ilménite en cristaux aciculaires.

Le quartz revêt trois aspects différents : grands cristaux à extinctions onduleuses, étirés, écrasés, disloqués; petits cristaux isométriques; bourgeons de myrmékite.

Le feldspath est peu abondant; c'est de l'albite-oligoclase à 10-15 % d'An., les lamelles hémitropes sont tordues ou disloquées.

*Minéraux accessoires* : apatite abondante. sphène et staurotide plus rares.

**STATION 271.**

ROCHES ÉRUPTIVES : gabbro à olivine (D), éclogite, pegmatite, microgranite.

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss œillé, micaschiste, micaschiste à grenat, micaschiste à amphibole (D), choritoschiste, amphibolite.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : grès ferrugineux, grès à ciment calcaire, calcaire gris, spongolite (D).

Etude microscopique :

*Gabbro à olivine* : structure ophitique; olivine altérée parfois complètement serpentinisée, augite fréquemment associée à l'olivine; labrador à 70-72 % d'anorthite assez abondant, biotite très rare, actinote d'origine secondaire, apatite peu abondante.

*Micaschiste à amphibole sodique* : quartz très abondant soit en grandes plages soit en petits grains isométriques.

Biotite et muscovite très abondantes, arfedsonite plus rare que les micas, feldspath rare à 25-30 % d'anorthite.

Minéraux accessoires : sphène, apatite, zircon, disthène.

*Spongolite* : la pâte de la roche est exclusivement siliceuse et est formée d'opale et de calcédonite. Il existe par place de petits filonnets de calcédonite.

Les spicules de spongiaires, très abondants, sont toujours calcifiés. Les foraminifères sont rares (*Textularidæ*).

**STATION 273.**

ROCHE ÉRUPTIVE : Tönsbergite.

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss à muscovite, micaschiste.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : poudingue à pâte arkosique (D), schiste gréseux (D).

Etude microscopique :

*Poudingue à pâte arkosique* : les petits galets de la roche ont une structure quartzitique. Le ciment est ordinairement grenu mais il peut devenir microgrenu. On y observe : quartz, oligoclase, anorthose, muscovite, pyroxène ouralitisé, amphibole, zircon et sphène. L'ensemble est recoupé de filonnets de calcite.

Le quartz présente toujours des extinctions onduleuses.

*Schiste gréseux* : en lumière naturelle, la roche est formée de zones alternativement claires (quartzeuses) et foncées (micacées). En lumière polarisée les zones claires apparaissent formées de très petits grains de quartz avec quelques grains de feldspath plus volumineux et des cristaux aciculaires de séricite. Les zones foncées contiennent de petits lits argileux isotropes. Sous un fort grossissement apparaissent de petits cristaux de biotite et de petits rhomboèdres de calcite souvent très bien formés. Ce schiste gréseux est donc assez voisin d'un calcschiste.

**STATION 274.**

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss, amphibolite.

ROCHE SÉDIMENTAIRE : grès arkosique.

**STATION 275.**

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss œillé, gneiss à muscovite, amphibolite à grenat.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : grès à ciment siliceux, grès à ciment ferrugineux, schiste noir, grau-wacke, calcaire, silex.

STATION 276.

ROCHE CRISTALLOPHYLLIENNE : gneiss.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : calcaire gréseux, calcaire à ciment ferrugineux (D), calcaire à foraminifères (D), silex.

Etude microscopique :

*Calcaire à ciment ferrugineux* : en lumière naturelle sous un grossissement normal on aperçoit de petits cristaux de quartz et de calcite dans un fond rougeâtre. En lumière polarisée et sous un fort grossissement apparaissent : de la calcite en petits grains ou en rhomboédres, des grains de quartz anguleux ne dépassant pas 100  $\mu$  de diamètre, dans une pâte isotrope fortement teintée par de l'hydroxyde de fer.

*Calcaire à foraminifères* : le fond de la préparation est constitué par une fine boue calcaire très riche en éléments organogènes et principalement en foraminifères. J'y ai reconnu : globigerinidæ, rotalidæ, verneuillidæ, bulliminidæ. J'ai également observé quelques calcisphères et des sections de valve d'ostracode.

STATION 278.

MINÉRAL : quartz.

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss, micaschiste avec ou sans grenat.

ROCHE SÉDIMENTAIRE : à cette station la drague a également rapporté de nombreux fragments d'une croûte argileuse grise, zonée de lits un peu rubéfiés, de couleur jaune rougeâtre.

Cette croûte a l'aspect et la couleur d'une formation continentale et semble issue d'une formation morainique dont elle a dû être arrachée en blocs volumineux. Une analyse thermique différentielle de cette formation a donné la courbe (fig. 10).

Les minéraux suivants peuvent être identifiés : goëthite, illite, kaolinite, oligiste, montmorillonite (?). Une analyse chimique a permis d'en préciser la composition :

	H <sub>2</sub> O à 105°	.....	—	4,99
	H <sub>2</sub> O à 800°	.....	—	2,68
Soluble dans H Cl.	}	Si O <sub>2</sub>	1,05	} 20,43
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,20	
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,18	
		CaO	1,06	
		CO <sub>2</sub>	0,83	
		MgO	1,11	
Insoluble dans H Cl.	}	Si O <sub>2</sub>	33,80	} 71,90
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,64	
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,16	
		CaO	1,61	
		MgO	0,32	
		K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	6,37	
				100,00

Cette analyse chimique montre que la fraction soluble dans l'HCl est riche en hydroxyde de fer et que, par contre, la fraction insoluble est surtout constituée par de la silice avec une quantité presque aussi importante d'alumine. Les alcalins de la fraction insoluble sont aussi en proportion notable.

La couleur de cette croûte et sa richesse en hydroxyde de fer militent en faveur d'une origine continentale, mais il me paraît impossible d'expliquer par quel phénomène elle est parvenue à la profondeur de 770 mètres où elle a été draguée.

**STATION 279.**

ROCHES ÉRUPTIVES : pegmatite à muscovite, éclogite.

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss, leptymite, amphibolite, séricitoschiste, serpentine.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : quartzite, grès rouge, grès blanc, calcaire dolomitique, silex.

**STATION 280.**

ROCHES ÉRUPTIVES : dolérite, perlite (D).

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss à grain fin, gneiss œillé, gneiss amphibolique, mica-schiste avec et sans grenat, amphibolite schiste à actinote.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : quartzite, grès à ciment siliceux, macignos (D).

Etude microscopique :

*Perlite* : la roche est essentiellement formée d'une pâte vitreuse sombre à cassure microperlitique.

Dans cette pâte on observe quelques très rares cristaux de quartz et de muscovite. Des grains de calcite secondaire remplissent les vacuoles de la roche.

*Macignos* : le quartz est très abondant, les grains de 80 à 100  $\mu$  de diamètre sont légèrement roulés, les grains de 20 à 50  $\mu$  sont ordinairement anguleux.

La séricite existe en paillettes minces et allongées alors que la chlorite est en amas à contour diffus; elle cimente aussi les grains de quartz.

Le ciment est principalement constitué de matière argileuse gris foncé constituant des plages irrégulières ou enrobant les grains de quartz.

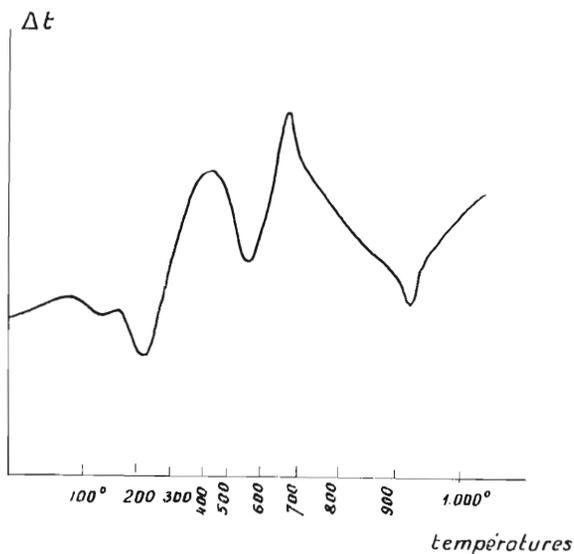


FIG. 10. — Courbes d'analyse thermique différentielle de la croûte argileuse.

**STATION 281.**

ROCHE ÉRUPTIVE : basalte.

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss œillé ou franc, calcoalcalin, leptynite.

**STATION 283.**

ROCHE ÉRUPTIVE : éclogite.

ROCHE CRISTALLOPHYLLIENNE : gneiss calcoalcalin.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : quartzite, calcaire à spicules (D).

Etude microscopique :

*Calcaire à spicules* : la roche est formée de petits grains de quartz toujours anguleux de 20 à 60  $\mu$  de diamètre, disséminés dans une matrice calcaire dont la structure est microcristalline.

Dans certaines parties de la préparation la masse calcaire est fortement assombrie par des lits brun foncé riches en matière organique. On observe dans ce ciment quelques rares spicules de monoactinillidæ entièrement calcifiés.

**STATION 284.**

ROCHES ÉRUPTIVES : Diorite quartzique à amphibole, oligoclasite.

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss œillé, gneiss calcoalcalin, micaschiste feldspathique, micaschiste à grenat, amphibolite grenatifère.

**STATION 286.**

ROCHES ÉRUPTIVES : granite à microcline, pegmatite.

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss œillé, gneiss à deux micas, micaschiste, micaschiste feldspathique, micaschiste à grenat, schiste métamorphique, pyroxénite, amphibolite.

**STATION 287.**

ROCHES ÉRUPTIVES : gabbro, pegmatite à tourmaline, rhyolite (D).

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss œillé, gneiss calcosodique, micaschiste à grenat.

MINÉRAL : quartz.

Etude microscopique :

*Rhyolite* : quartz bipyramidé rarement corrodé, mais lorsqu'il présente des traces de corrosion les échancrures sont très profondes; orthose maclée Carlsbad ou en cristaux non maclés aplatis suivant  $g^1$ .

La biotite est extrêmement altérée et très fortement corrodée par de la magnétite qui forme un pigment opaque s'étendant sur la plus grande partie des cristaux.

La pâte, originellement vitreuse a été silicifiée secondairement, mais la structure fluidale a été rigoureusement conservée.

**STATION 288.**

ROCHE ÉRUPTIVE : diorite.

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss œillé, gneiss à feldspath potassique, micaschiste.

**STATION 290.**

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss calcoalcalin, micaschiste, micaschiste à grenat.

ROCHE SÉDIMENTAIRE : grès feldspathique.

**STATION 291.**

ROCHE ÉRUPTIVE : diorite.

ROCHE CRISTALLOPHYLLIENNE : gneiss calcoalcalin, gneiss à grenat.

**STATION 293.**

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : micaschiste amphibolique, micaschiste feldspathique, micaschiste à grenat, gneiss calcosodique, schiste métamorphique.

**STATION 294.**

ROCHES ÉRUPTIVES : Rhyolite, trachyte.

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : micaschiste feldspathique, micaschiste à grenat, gneiss œillé, gneiss calcosodique.

ROCHE SÉDIMENTAIRE : grès feldspathique.

**STATION 297.**

ROCHE ÉRUPTIVE : andésite.

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss à grenat, pyroxénite, schiste métamorphique.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : grès à ciment calcaire, grès feldspathique, jaspe.

**STATION 298.**

ROCHES ÉRUPTIVES : Micropegmatite, Dolérite, Diorite.

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss œillé, gneiss calcosodique, micaschiste avec et sans grenat, amphibolite.

**STATION 301.**

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss œillé, gneiss à feldspath potassique, micaschiste noduleux, pyroxénite.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : quartzite, grès à ciment calcaire, calcaire dolomitique (D).

Etude microscopique :

*Calcaire dolomitique* : la roche est formée de grains de calcite étroitement juxtaposés et toujours anguleux; parmi les éléments de carbonate de chaux on peut identifier quelques grains de dolomie.

**STATION 302.**

MINÉRAUX : Quartz et chlorite.

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : chloritoschiste, gneiss, micaschiste feldspathique, leptynite.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : Calcaire, grès glauconieux (D).

Etude microscopique :

*Grès glauconieux* : la roche est formée de grains de quartz isométriques de 20 à 40  $\mu$  de diamètre dans un ciment argileux dont la couleur brunâtre est probablement due à la présence de matière organique.

La roche contient de très gros débris organogènes à structure fasciculée : débris de lamellibranches, de gastéropodes et des sections de piquants d'oursins.

Le glauconie est très abondante en grains à section circulaire ou ellipsoïdale. De nombreux grains portent des fissures périphériques ou des craquelures sur toute leur surface. Quelques grains, beaucoup plus rares que les précédents, ont des formes rappelant celle des logettes de foraminifères.

**STATION 303.**

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss, micaschiste.

**c) Remarques générales sur l'étude lithologique.**

Je n'ai pas cru opportun de calculer des pourcentages de fréquence des variétés lithologiques rencontrées à chaque station. Les quantités trop peu importantes de roches draguées à certaines stations auraient considérablement amoindri la valeur des quantités calculées.

Malgré ces imperfections il est possible de dégager de cette étude une notion de fréquence.

Les roches cristallophylliennes sont de beaucoup les plus abondantes, principalement les gneiss et les micaschistes qui représentent toujours au moins 50 % en nombre des roches draguées.

Les roches éruptives viennent ensuite dans l'ordre de fréquence mais ce 2<sup>e</sup> rang ne leur est pas toujours attribuable, il est parfois occupé par les roches sédimentaires.

Les roches sédimentaires sont en général les moins abondantes. Cependant, elles peuvent être à égalité de nombre avec les roches éruptives ou même être plus abondantes qu'elles, comme dans les sédiments dragués à la station 275 par 516 m de profondeur.

Ces roches sédimentaires sont des grès, des calcaires fossilifères ou azoïques et des silex. C'est

leur présence dans un grand nombre des prélèvements étudiés par HOLTEDAHL qui a conduit cet auteur à supposer qu'elles auraient été apportées des côtes du Danemark par des glaces dérivantes.

Il est bien évident que la présence de cette série sédimentaire allochtone parmi la série éruptive et cristallophyllienne, à laquelle on peut attribuer une origine scandinave, pose un problème très complexe.

Je noterai seulement pour l'instant que les stations dans lesquelles les roches sédimentaires sont les plus abondantes portent les numéros 258, 262, 263, 264, 265, 273, 274, 275 et 276. Elles sont toutes situées dans la partie Sud-Ouest de la zone étudiée.

## 7° Résumé et conclusions.

J'ai réuni toutes les observations précédentes en une carte de répartition des sédiments du plateau continental dans la région de Møre-Romsdal.

Pour établir cette carte j'ai utilisé les renseignements recueillis par H. HOLTEDAHL, qui a principalement travaillé dans les régions Nord et Nord-Est représentées (voir planche 2 l'emplacement des stations étudiées par H. HOLTEDAHL). Mais dans les zones centrale, sud et sud-ouest j'ai principalement utilisé mes propres observations (fig. 11).

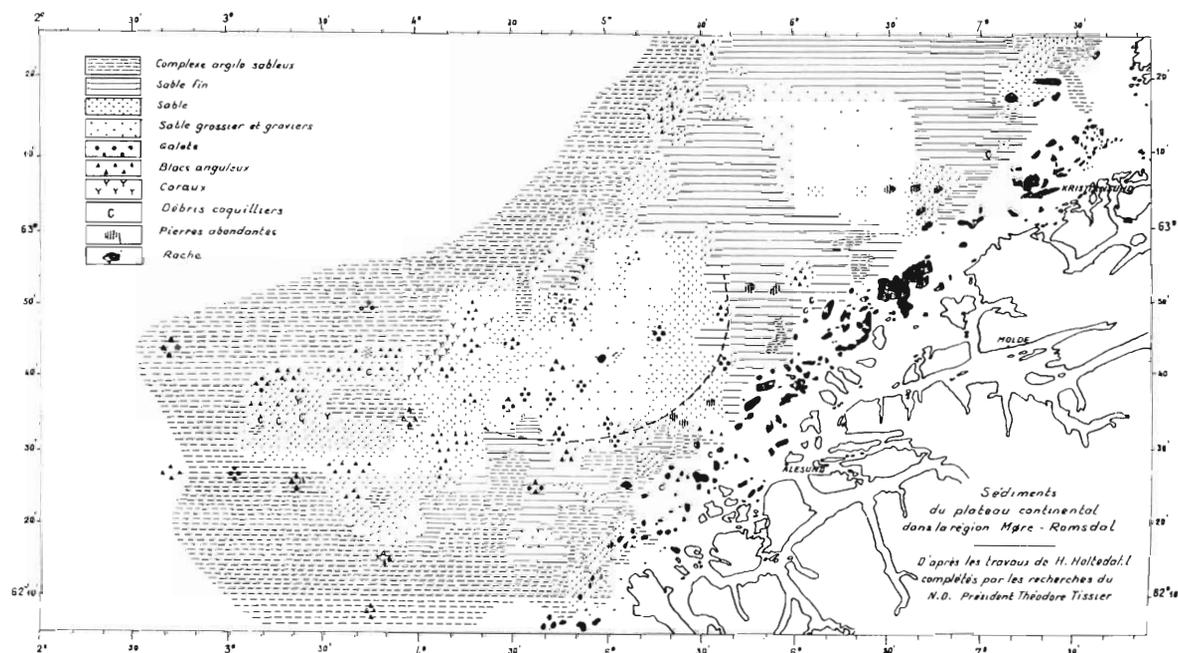


FIG. 11.

Ainsi que je l'ai indiqué précédemment, l'étude granulométrique des sédiments m'a conduit à grouper provisoirement sous le nom de complexe argilo-sableux des sédiments assez hétérométriques, de types différents, mais dont les aires de répartition ne peuvent être actuellement déterminées.

Dans l'étude des sédiments dépourvus de fraction grossière, des considérations strictement granulométriques m'ont conduit à faire passer par les stations 308, 300, 296, 283, 261 et 272 une ligne hypothétique de variation de faciès. Il est intéressant de remarquer que cette courbe dont la concavité est tournée vers le large délimite très sensiblement, sur la carte générale des fonds (fig. 11) la zone à faciès sableux et graveleux de la zone à sable fin. Elle correspond très vraisemblablement à une concavité du rivage ancien.

La comparaison granulométrique des sédiments de type complexe dragués en Mer du Nord avec les limons quaternaires et leurs produits de lessivage recueillis dans la Vallée de la Rance m'a permis d'établir une corrélation entre ces types de formations.

Les similitudes de répartition granulométrique dans l'un et l'autre cas permettent en effet de penser que les formations sous-marines draguées au large de Møre-Romsdal sont issues du lessivage de dépôts glaciaires quaternaires.

Cette hypothèse a été singulièrement étayée par l'étude morphométrique des galets dragués. La comparaison de leurs indices de dissymétrie, avec ceux mesurés sur le littoral de la rade de Brest, où les galets dérivent directement du head des falaises riveraines, a mis en évidence une coïncidence frappante des valeurs de ces indices.

Mais, ainsi que l'a noté HOLTEDAHL, le façonnement, pour faible qu'il soit, n'est pas actuel, car presque tous les galets qu'il a observé sont encroûtés d'organismes calcaires. Les galets que j'ai étudiés portent également des organismes et la même remarque leur est applicable.

HOLTEDAHL a observé et étudié des stries d'origine glaciaire sur les galets qu'il a recueillis (*loc. cit.*). Celles que j'ai observées sur les galets que j'ai examinés ne m'ont pas paru suffisamment nettes pour être prises en considération.

L'étude pétrographique des galets a mis en évidence la prédominance des matériaux d'origine scandinave déjà signalée par HOLTEDAHL.

Ces matériaux issus des moraines des grands glaciers scandinaves quaternaires ou déposés par les torrents sous-glaciaires ont été très faiblement remaniés par la mer. Bien que parfois dragués par 500 ou 700 m de profondeur, ils ne possèdent pas un faciès morphologique de type marin.

L'étude lithologique a en outre confirmé l'existence de roches calcaires sédimentaires : grès, calcaire, silex dont l'origine et le transport pose un problème complexe qui sera à nouveau examiné dans les conclusions générales.

### REGION DES TANNERS HILL GROUND

La région des Tanners Hill Ground s'étend à l'Ouest des Iles Shetland jusqu'à la limite du plateau Continental.

MER DU NORD. — ATLANTIQUE. — Région des îles Shetland.

Station N°	Année 1954	Lat. N	Long. O. Gr.	Profond. en m	Observation
323	6 août	60°00'	2°26'	95	
324 bis	8 —	60°22'	3°24'	160	
326	7 —	60°29'	3°06'	210	
327	7 —	60°27'	2°20'	118	
328	7 —	60°47'	2°40'	220	
331	8 —	60°42'	2°44'	210	
335	9 —	59°56'	4°18'	145	
336	9 —	60°10'	4°06'	184	
337	9 —	60°06'	4°28'	310	
344	11 —	58°46'	7°26'	125	
345	11 —	58°15'	8°22'	140	
347	15 —	57°50'	9°17'	110	

*Position des stations.*

Le « Président-Théodore-Tissier » a fait, en 1954, douze stations de dragage dans cette région. Les sédiments recueillis sont des sables plus ou moins grossiers qui seront étudiés dans les pages suivantes.

## 1° Granulométrie des sédiments.

### a) Sédiments grossiers.

Les sédiments des stations n<sup>os</sup> 344, 345 et 347 seront étudiés séparément.

Je m'occuperai tout d'abord des sédiments grossiers récoltés aux stations 326 (210 m), 328 (220 m), 336 (184 m) et 337 (310 m). Les courbes granulométriques cumulatives sont portées sur la figure 12.

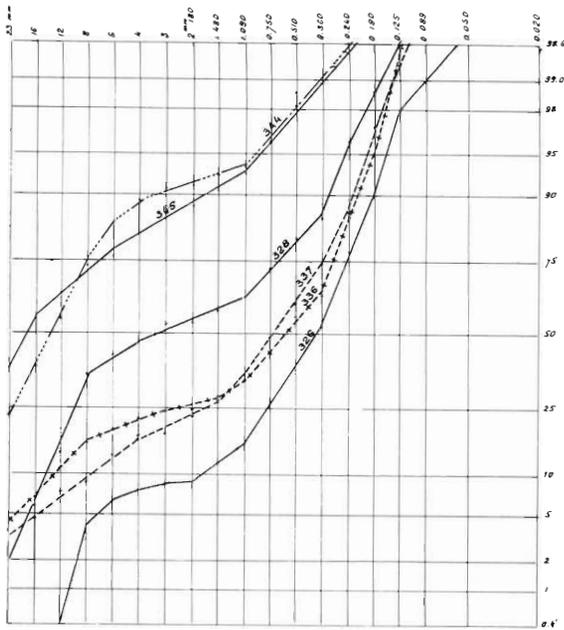


FIG. 12.

Ces sédiments sont très hétérométriques, ils renferment une fraction graveleuse particulièrement importante à la station 328 et notablement plus réduite à la station n<sup>o</sup> 326.

L'existence des deux stocks granulométriques est marquée par les inflexions importantes des courbes cumulatives.

Dans l'étude des sédiments de Möre-Romsdal j'ai déjà fait remarquer qu'il est impossible de concevoir des conditions hydrodynamiques permettant le dépôt, par un seul et même courant d'eau, de sédiments s'étendant sur une gamme dimensionnelle aussi considérable que celle observée ici.

Il est donc nécessaire de supposer des conditions particulières de dépôt pour expliquer l'anomalie granulométrique. L'hypothèse suivante peut être faite :

1° La fraction grossière du sédiment s'est déposée la première à un moment où il existait un courant suffisamment rapide pour s'opposer au dépôt de la fraction sableuse plus fine.

2° A la faveur du courant plus faible qui s'est instauré par la suite, les sédiments plus fins ont plus ou moins complètement enrobé ou même recouvert totalement la fraction grossière préalablement déposée.

Si cette hypothèse est exacte, la fraction sableuse qui recouvre actuellement toute la région doit avoir les mêmes caractères généraux et ne différer d'une station à l'autre que par quelques détails attribuables à des influences locales de la topographie du fond.

Je vais donc commencer par examiner les caractéristiques granulométriques des autres sédiments et je reprendrai ensuite le raisonnement ébauché ci-dessus.

### b) Sédiments sableux dépourvus de fraction grossière.

Ce sont les sédiments dragués aux stations portant les numéros suivants : n<sup>os</sup> 323 (95 m), 324 bis (160 m), 327 (118 m), 331 (210 m), 335 (145 m). Les courbes cumulatives de ces sédiments sont représentées sur la figure 13.

Une inspection des courbes montre immédiatement qu'elles sont bien groupées et présentent des caractères similaires.

Toutefois, il est nécessaire de préciser ces similitudes par des relations mieux définies.

La comparaison des variations des diamètres des grains à 10 %, 50 % et 90 % permet de définir les courbes sur la majeure partie de leur tracé.

Ces résultats montrent que les sables dépourvus de fraction grossière sont granulométriquement homogènes sur toute l'aire étudiée. Ce sont des sables à classement peu sélectif, leurs grains se répartissent sur un espace dimensionnel très étendu de 2,180 mm à 0,050 mm.

Station N°	Diamètres (en mm) des grains aux ordonnées de		
	10 %	50 %	90 %
—	—	—	—
323	1,900	0,650	0,300
324 bis	2,180	0,400	0,180
327	1,150	0,650	0,370
331	1,700	0,550	0,220
335	1,300	0,500	0,300

Par contre, leurs courbes granulométriques cumulatives sont très voisines d'une droite, ce qui signifie, dans le mode de représentation adopté, que la répartition des grains est voisine d'une répartition probabiliste. Or, on sait que ce mode de répartition granulométrique correspond à un remplissage maximum des vides intergranulaires.

Il apparaît donc très probable que pour parvenir à ce type de sédiment le dépôt s'est fait lentement, par petites retouches successives, dont chacune tendait à parfaire la répartition des grains.

**c) Comparaison des sédiments grossiers avec ceux qui sont dépourvus de fraction grossière.**

En étudiant les sédiments grossiers j'ai émis l'hypothèse d'un recouvrement général par un dépôt plus fin étendu sur toute la région.

Cette hypothèse sera vérifiée si la fraction sableuse < 2,180 mm des sédiments grossiers possède les mêmes caractères granulométriques que les sédiments fins décrits au paragraphe 2.

Pour faire cette vérification j'ai pris, pour limite dimensionnelle supérieure, celle des sables dépourvus de fraction grossière soit : 2,180 mm. J'ai donc retranché des sables grossiers toute la fraction > 2,180 mm et fait un nouveau calcul des pourcentages de la portion sableuse ayant subsisté.

Station N°	Diamètres (en mm) des grains aux ordonnées de		
	10 %	50 %	90 %
—	—	—	—
326	0,980	0,360	0,180
328	1,500	0,550	0,240
336	1,200	0,450	0,220
337	1,500	0,510	0,200

Les nouvelles courbes cumulatives ainsi obtenues sont portées sur la figure 13. Il est aisé de constater qu'elles ne diffèrent pas sensiblement de celles des sédiments dépourvus de fraction grossière. Comme précédemment, je définirai ces courbes par les variations des diamètres des grains à 10 %, 50 % et 90 %.

Les résultats de ce tableau montrent que ces quatre dernières courbes s'apparentent étroitement à celles des sédiments dépourvus de fraction grossière.

**d) Etude granulométrique des sédiments des stations n<sup>os</sup> 344, 345 et 347.**

Ces trois stations sont trop éloignées de celles précédemment étudiées pour qu'il soit possible d'établir une corrélation valable entre les sédiments recueillis et ceux des abords des Tanners Hill Ground.

Les sédiments des stations 344 et 345 sont très grossiers (fig. 12). Ils renferment tous les deux au moins 25 % d'éléments de diamètre supérieur à 23 mm.

Par contre, le sédiment dragué à la station 347 est le plus fin de tous ceux examinés dans cette région (fig. 13).

En opérant comme pour les sédiments des Tanners Hill Ground, j'ai calculé les pourcentages de la fraction sableuse après suppression des éléments > 2,180 mm. Cette fois les 2 courbes cumulatives : 344 et 345 ont un aspect totalement différent de celui de la courbe 347. Cette disparité correspond certainement à des conditions très différentes de sédimentation malgré la quasi-identité des profondeurs : station 344 (125 m), station 345 (140 m), station 347 (110 m).

## 2° Résumé et conclusions.

L'étude granulométrique des sédiments dragués aux abords des Tanners Hill Ground montre que :

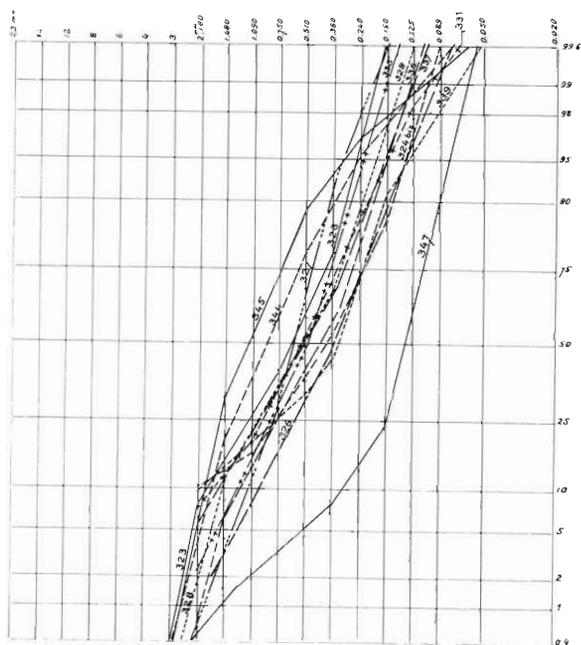


FIG. 13.

1° Des sédiments graveleux apportés par des courants relativement rapides se sont d'abord déposés.

2° Des sédiments plus fins se sont ensuite déposés lorsque l'intensité de ces courants a notablement diminué. Ces dépôts fins ont une large extension et leurs caractères granulométriques sont remarquablement constants dans toute la région étudiée.

3° Ce dernier dépôt, qui se poursuit peut-être encore actuellement, s'est fait relativement lentement, par petites retouches successives conférant une répartition quasi-probabiliste à cet ensemble sédimentaire.

## REGION DES DEVIL'S HOLE

### 1° Recherches antérieures.

De nombreux travaux ont été consacrés à la Mer du Nord, aux extensions glaciaires qui l'ont en partie recouverte, à la reconstitution du tracé hypothétique des fleuves qui l'ont parcourue, etc...

Certains de ces travaux datent de la fin du siècle dernier, d'autres sont très récents; ils sont principalement dus à VON GÜMBEL (1886), KÜPPERS E. (1906), WHITEHEAD H. et GOODCHILD (1909), BOISEN-JENSEN (1915), PRATJE (1924-1931-1931-1951), GREGORY (1931), VAN VEEN (1935), LEWIS (1935), BAAK (1936), BEAUGÉ (1937), BERTHOIS et FURNESTIN (1938), FURNESTIN (1939-1943), HOLTEDAHL (1940), COOPER (1948), GUILCHER (1951), JARKE (1956), MAARLEVELD (1956).

Il n'est pas dans mon propos de résumer un à un tous ces travaux mais seulement de les utiliser pour faire le point des connaissances acquises sur les régions faisant l'objet des recherches exposées ici.

J'ai schématisé sur une carte d'ensemble (fig. 14) les extensions des moraines glaciaires d'après les travaux de PRATJE.

La région des Devil's Hole est située au Nord-Ouest des côtes écossaises (voir carte générale, fig. 1). Elle a été cartographiée par BEAUGÉ (*loc. cit.* 1937) à l'aide des sondages effectués par le « *Président-Théodore-Tissier* ».

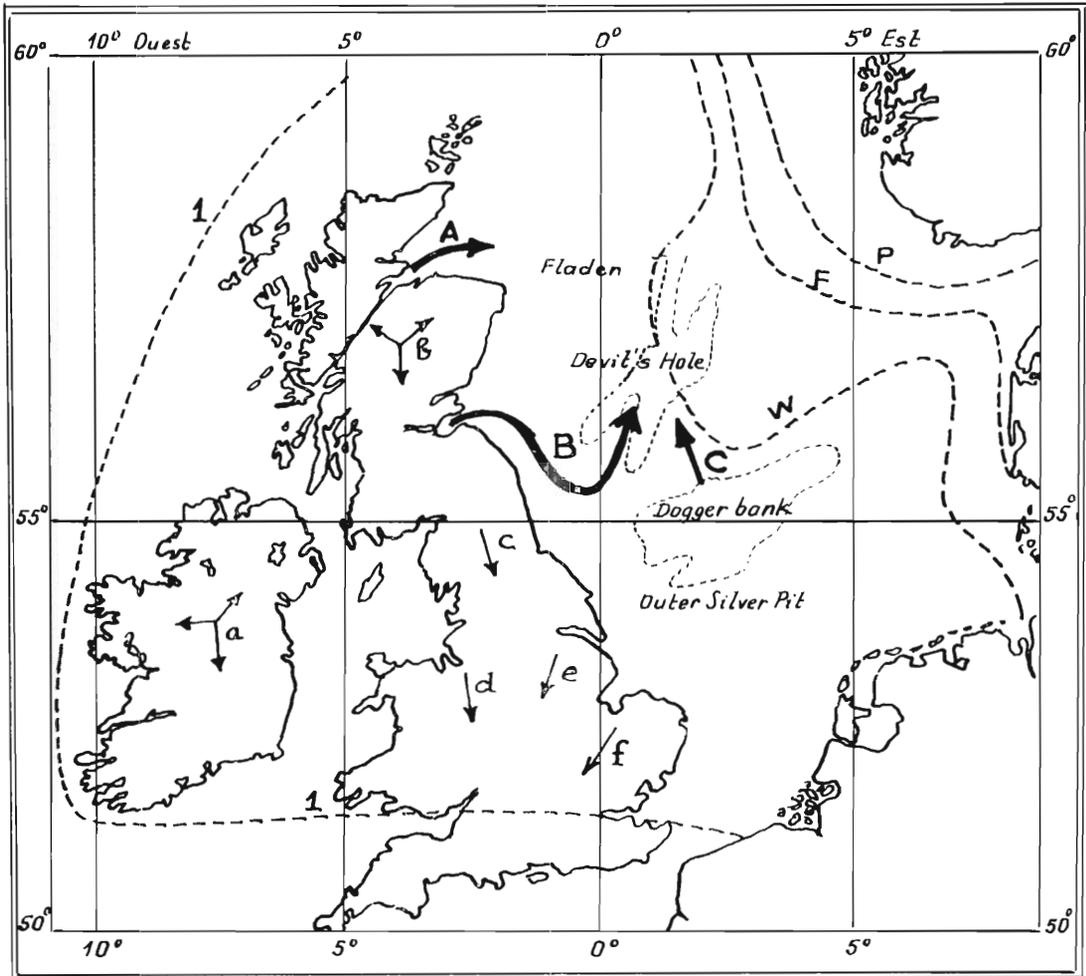


FIG. 14.

D'après PRATJE : P = Pomeranian moraine,  
F = Frankfurt moraine,  
W = Warthe moraine;  
1. Die grösste Ausdehnung des Eises;  
a, b, c, d, e, f, sens d'écoulement des glaciers.

La topographie des Devil's Hole a été minutieusement décrite par J. FURNESTIN (*loc. cit.*, 1939-1943). Les remarques faites par cet auteur peuvent se résumer comme suit :

Les Devil's Hole sont trois crevasses qui entaillent le plateau sous-marin épousant la forme de ravins étroits et sinueux de direction sensiblement Nord-Sud.

Le sillon occidental, Old Devil's Hole, s'étend sur une longueur de 15 milles environ et une largeur moyenne de 3 milles. Les fonds y passent brusquement de 75-80 m à 212 m. Les isobathes de 100 à 150 m se ferment brutalement et butent, au nord et au sud, contre le plateau de 80 m.

Les deux autres sillons orientaux sont les rameaux divergents d'un même ravin : le New Devil's Hole. Ils sont séparés au sud par un seuil d'une centaine de mètres. On y relève des sondes de 210, 235 et 280 m. Au nord, ses limites sont assez imprécises; mais après une sonde de 147 m, le fond se relève aussitôt à 84 m.

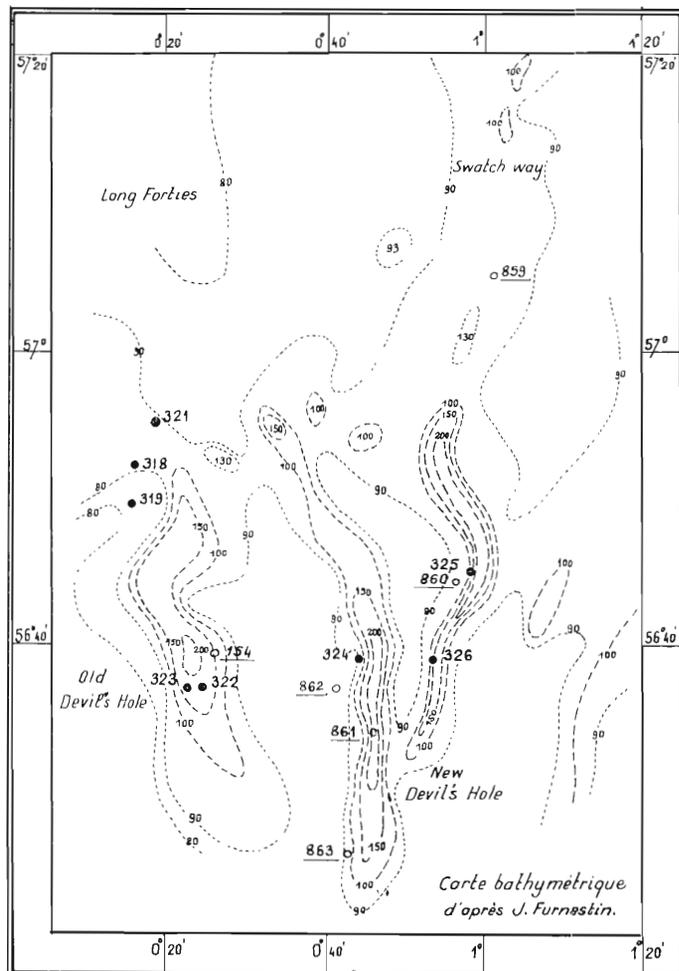


FIG. 15.

L'autre rameau a une topographie semblable. Les sondages y révèlent des profondeurs de 226 et 235 m. Un haut fond à surface unie (84-88 m) sépare ces deux sillons divergents et se raccorde au plateau continental.

Ces deux rameaux du New Devil's Hole s'étendent sur une quarantaine de milles en longueur et ne dépassent pas trois à quatre milles en largeur. Le fond se relève brusquement au nord comme au sud.

A l'est du New Devil's Hole, il existe encore un fossé qui paraît semblable aux précédents mais sur lequel on ne possède pas de données précises.

BEAUGÉ (*loc. cit.*, 1937) a considéré les Devil's Hole comme étant les branches du Delta du Rhin ancien.

J. FURNESTIN (*loc. cit.*, 1939-43) a très justement fait remarquer « qu'un « fleuve même de l'importance du « Rhin quaternaire ne pourrait creuser à son embouchure les gorges « profondes des Devil's Hole, qui « d'ailleurs se trouvaient au-dessous « de son niveau de base. Il les aurait « au contraire remblayées ».

D'après les dragages effectués, J. FURNESTIN a rapporté les sédiments à trois types différents.

1° Sables et gravier sur le plateau de 80-90 m (station n° 862);

2° Gros blocs sur le bord des dépressions (stations n°s 156, 859, 154, 863). Les roches recueillies étaient les suivantes : gneiss, granite, grès et quartz;

3° Eléments vaseux dans les dépressions (stations n°s 860 et 861). A la station 863 les roches draguées étaient accompagnées de vases.

Ces amas pierreux du Swatch-Way et des Devil's Hole sont considérés par l'auteur comme des témoins de moraines plus ou moins démantelées recouverts, dans le fond des cuvettes, par une couche de vase fine.

La morphologie des Devil's Hole, avec ses ravins étroits, allongés, aux pentes raides et sa succession de cuvettes en ombilic et de seuils élevés lui paraît offrir l'aspect d'un modelé glaciaire. Le profil longitudinal de ses sillons, avec ses auges et ses seuils est très voisin de ceux des fjords et des loc'hs des massifs émergés de l'Europe septentrionale.

L'ensemble de ces considérations morphologiques et sédimentologiques a conduit J. FURNESTIN à considérer les Devil's Hole comme l'ancienne vallée d'un grand glacier drainant la région du Firth of Forth et s'épanchant vers la Fosse de Fladen. J'ai représenté par les grosses flèches A-B-C les directions d'écoulement probable de ce glacier (fig. 14).

## 2° Nouvelles recherches.

Une nouvelle série de dragages a été faite en 1949 dans la région des Devil's Hole par le « *Président-Théodore-Tissier* ».

Au cours de la campagne océanographique de l'automne 1955 il avait été prévu des carottages dans les parties profondes des sillons. Le mauvais temps qui sévissait au moment du passage du bateau dans la région n'a pas permis de les pratiquer. L'étude sera donc uniquement consacrée aux sédiments dragués.

Les positions des stations sont données dans la liste suivante :

## 3° Position des stations.

MER DU NORD. — *Région du Devil's Hole.*

Station N°	Année 1949	Lat. N	Long. E. Gr.	Profond. en m	Observation
295	15 sept.	54°48'	5°40'	43	
318	13 oct.	56°52'	0°16'30"	90	
319	13 —	56°50'	0°15'	115-120	
321	13 —	56°55'	0°19'	152	
322	13 —	56°37'	0°25'	110	
323	13 —	56°37'	0°22'	150	
324	13 —	56°39'	0°44'	110	
325	13 —	56°45'	0°58'	236	
326	13 —	56°39'	0°53'	150	
327	14 —	55°55'	0°03'	145-150	
340	16 —	54°07'	1°40'	80	
341	16 —	54°12'	1°46'	28	
352	18 —	51°15'	1°56'	25	

Les stations intéressant la région des Devil's Hole sont représentées sur la carte fig. 15. Les stations 295, 327, 340, 341 et 352, trop éloignées de cette zone, n'ont pas été représentées sur la figure.

## 4° Etude granulométrique.

### a) Sédiments dragués hors des abords des Devil's Hole.

J'examinerai tout d'abord les sédiments des stations n°s 295 (43 m), 340 (80 m), 341 (28 m) et 352 (25 m) situées en dehors de la zone des Devil's Hole.

Ces sédiments disséminés dans la région située au sud et à l'est du Dogger bank et entre ce dernier et les Devil's Hole sont d'un intérêt restreint pour le but actuellement poursuivi. Leurs courbes granulométriques cumulatives sont représentées sur la figure 16.

Ces courbes sont de deux types :

Les sables des stations 341 et 352 sont fins et bien triés avec une fraction  $> 0,510$  mm inférieure à 4 % en poids.

Les sables des stations 295 et 340 sont assez bien triés mais renferment 15 à 20 % d'éléments compris entre 0,125 et 0,020 mm.

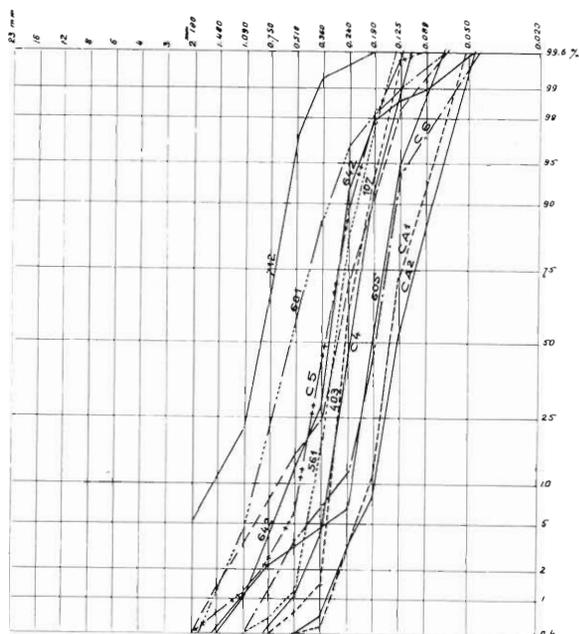


FIG. 16.

L'échantillon de la station 327 présente une courbe granulométrique complexe. il sera étudié avec les échantillons de la région des Devil's Hole.

#### b) Sédiments dragués dans la région des Devil's Hole.

*Sédiments sableux de la station 318 (prof. 90 m).*

Un seul sédiment sableux provient de la région des Devil's Hole; il offre des caractères identiques à ceux dragués aux points 295 et 340 (fig. 16); les mêmes remarques lui sont applicables.

*Sédiments complexes.*

Tous les sédiments dragués par des fonds supérieurs à 100 mètres présentent une granulométrie complexe (fig. 18). Cependant, la fraction graveleuse manque dans la plupart des échantillons et lorsqu'elle existe (station 323) elle est extrêmement réduite. La fraction sableuse n'est elle-même représentée que par des éléments fins; les grains de diamètres compris entre 2,180 et 0,190 mm constituent moins de 2 % en poids des sédiments. Par contre, la fraction comprise entre 0,190 et 0,080 mm peut varier de 25 à 75 %. Enfin la fraction argileuse proprement dite est extrêmement réduite, les éléments  $< 0,001$  mm forment moins de 10 % du sédiment.

Les sables des stations 341 et 352 s'apparentent nettement à des sables marins littoraux bien triés. La comparaison de leurs courbes granulométriques avec celles des sables de plage du littoral belge (fig. 5) est extrêmement frappante.

Par contre, les sédiments des stations 295 et 340 diffèrent profondément des sables littoraux par la présence d'une fraction très fine qui ne s'observe dans aucun sable de plage actuel.

Ces sables diffèrent également des sables fluviaux car ceux-ci ne possèdent pas de fraction fine importante associée à la fraction sableuse qui est toujours strictement limitée aux environs de 0,050 mm comme dimension minimum.

Pour illustrer cette démonstration j'ai choisi un certain nombre de courbes granulométriques d'échantillons de sables de la Loire. J'ai intentionnellement représenté sur le même graphique des échantillons dragués et des échantillons prélevés sur des carottages, ces derniers étant exempts de tout mélange (fig. 17).

J'ai longuement exposé dans le paragraphe consacré à l'étude des sédiments complexes de la région de Möre-Romsdal les particularités granulométriques des sédiments issus du lessivage de formations périglaciaires quaternaires.

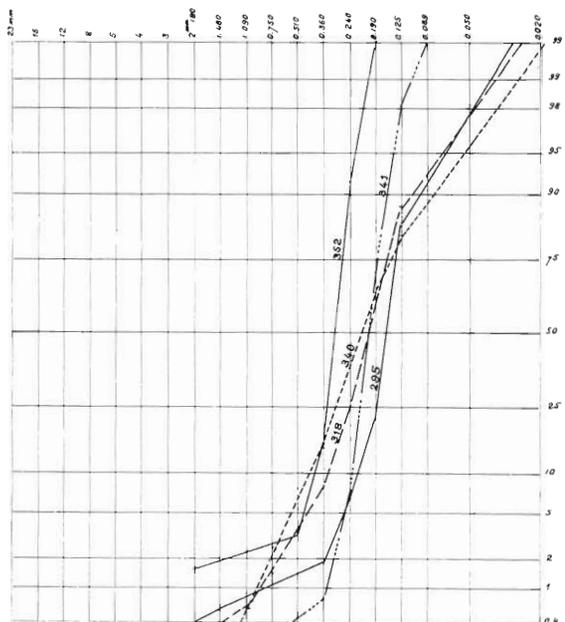


Fig. 17. — Sables dragués ou carottés en Loire.

Echantillons dragués :

N° 642. — Belle-Ile (entre Paimbœuf et le Pellerin);

N° 107-403-601. — Banc des Brillantes, banc découvrant; à marée basse au sud de Donges;

N° 561, 605, 712. — Entre Donges et Saint-Nazaire.

Echantillons carottés :

CA, CA<sup>2</sup>, C<sup>4</sup>, C<sup>1</sup>, C<sup>6</sup> entre Donges et Saint-Nazaire.

— soit à l'intervention préalable d'un agent de transport qui aurait amélioré le classement des grains avant le remaniement marin.

Mais il ne faut pas exclure la possibilité d'une intervention simultanée des deux causes ci-dessus.

Cette question sera plus complètement examinée dans une étude comparative des sédiments complexes de Möre-Romsdal, des Devil's Hole et des Outer Silver Pit.

Ce qu'il importe de retenir pour le moment, c'est que les sédiments complexes des Devil's Hole s'apparentent granulométriquement à des dépôts procédant du lessivage de formations quaternaires glaciaires ou périglaciaires.

## 5° Analyses thermiques différentielles.

### a) Préparation des échantillons.

Un prélèvement d'environ 50 g est fait sur la fraction fine du sédiment. La séparation est faite par trituration et lavage sur un tamis à mailles de 0,060 mm.

Le prélèvement est traité à l'eau oxygénée jusqu'à destruction complète de la matière organique. Ce traitement est identique à celui qui a été précédemment décrit pour l'analyse des sédiments destinés à l'analyse micro-granulométrique.

J'ai donné (fig. 7) les courbes granulométriques des limons de solifluction de la Vallée de la Rance et des formations actuelles qui en dérivent par lessivage. Je ne m'étendrai pas à nouveau sur les modalités particulières de ces dépôts que j'ai étudiées en détail dans la partie de ce travail consacrée à la région de Möre-Romsdal, le lecteur voudra bien s'y reporter.

J'ai indiqué sur les courbes granulométriques cumulatives des sédiments des Devil's Hole, une aire hachurée qui représente l'enveloppe des courbes des sédiments quaternaires et actuels de la Vallée de la Rance, tels qu'ils sont représentés fig. 7.

Aucune transformation n'est nécessaire pour mettre en évidence la similitude granulométrique existant entre les deux formations. Les deux sédiments sont nettement du même type. La sélectivité est du même ordre mais plus poussée aux Devil's Hole et les teneurs en éléments fins < 0,001 mm sont comparables. La seule différence appréciable entre les deux formations est due à une plus grande abondance des éléments de 0,100 à 0,050 mm dans les sédiments de la Mer du Nord.

Cette dominance d'une fine poussière quartzuse est une caractéristique minéralogique qui mérite l'attention. Elle peut être attribuée à l'une ou l'autre des deux causes suivantes :

— soit à une gélivation extrêmement poussée des roches de la formation glaciaire;

Si le sédiment contient une grosse quantité de carbonate de chaux, il est préférable de l'éliminer car les réactions thermiques de la calcite risquent de masquer la présence d'autres minéraux.

Cette destruction de la calcite est faite à l'aide d'une solution très diluée d'HCl (5 %) pour éviter de détruire les micelles argileuses.

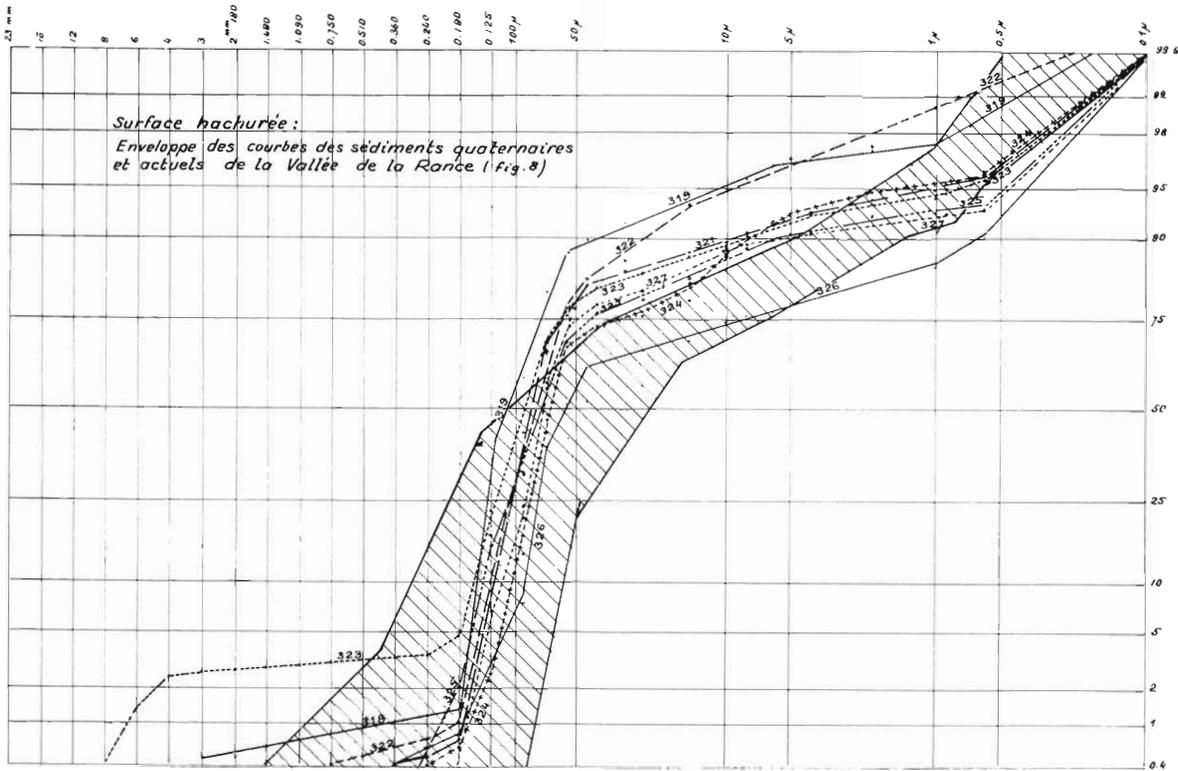


FIG. 18.

Ensuite, les échantillons sont mis en sédimentation dans des éprouvettes d'un litre dans lesquelles on remplace périodiquement l'eau distillée, après dépôt du sédiment et décantation de l'eau surnageante.

Lorsque le sédiment est bien lavé, il est agité une dernière fois et on laisse déposer pendant un temps variable (15 mn à 2 heures). On recueille ensuite le sédiment fin par siphonage dans un bécher.

Le sédiment est séché à l'étuve à 100°. L'ensemble de cette préparation dure une quinzaine de jours.

#### b) Analyse thermique différentielle.

L'analyse est faite sur environ 1 g de sédiment.

L'analyse thermique différentielle est maintenant très employée et je renverrai le lecteur aux travaux fondamentaux de J. ORCEL (1929) pour des renseignements plus complets.

Je me bornerai à en rappeler le principe, qui est le suivant : On place le minéral à étudier dans un creuset de quartz. Un deuxième creuset semblable au premier est rempli d'un minéral témoin qui est habituellement de l'alumine calcinée. Dans les substances sont placées les soudures des couples thermoélectriques en chromel et en alumel. Les couples sont reliés à des galvanomètres dont les déviations permettent de mesurer simultanément : la température du four électrique où sont

disposés, côte à côte, les 2 creusets et la différence de température entre le minéral témoin et le minéral à étudier.

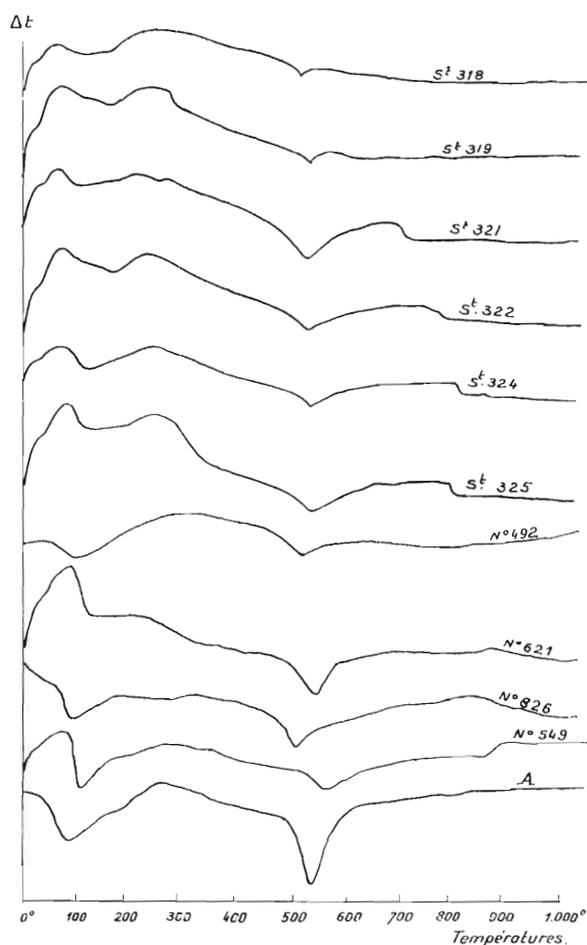


FIG. 19. — St. 318, 319, 321, 322, 324, 325  
fraction argileuse des sédiments des Devil's Hole.

Courbes de référence :

Vallée de la Rance : 492. Limon (Pleudihen,

I.-et-V.); 549. Limon (St-Jouan-des-Gueretz).

Vallée du Jaudy : 621. Kerbors en face Tré-

guier (C.-du-N.).

Vallée du Trieux : 626. Lezardrieux.

A) Mélange de kaolinite et d'illite : 25 % de  
kaolinite. 75 % d'illite.

### c) Analyse thermique différentielle des sédiments des Devil's Hole.

Les courbes d'analyse thermique sont représentées (fig. 19).

EXAMEN DES RÉSULTATS. — Une première constatation d'ordre général s'impose tout d'abord à l'attention.

Toutes les courbes présentent au début du chauffage un important crochet exothermique provoqué par l'abondance des produits amorphes. Les crochets ont presque tous une amplitude très faible et sont très ouverts (seul le crochet endothermique central du sédiment de la station n° 321 est un peu mieux marqué que les autres).

L'enregistrement des variations des températures et des différences de températures ( $\Delta t$ ) est matérialisé par le déplacement d'un spot lumineux sur une plaque photographique ou par enregistrement sur un appareil électronique. La température doit atteindre au moins 1.000° et la durée du chauffage doit être voisine de 2 heures.

Les couples thermo-électriques sont disposés de telle façon que lorsqu'il se produit une absorption de chaleur (perte d'eau), la différence de température entre le minéral à étudier et le minéral témoin se traduit par une inflexion de la courbe qui est dirigée vers le bas (crochet endothermique). Lorsqu'au contraire il y a émission de chaleur, l'inflexion de la courbe est dirigée vers le haut (crochet exothermique). Les températures auxquelles se produisent ces réactions endothermiques ou exothermiques caractérisent le minéral argileux. L'amplitude des crochets est d'autant plus grande que le minéral est mieux cristallisé et plus abondant.

Les sédiments marins renferment souvent des complexes formés de plusieurs minéraux argileux plus ou moins bien cristallisés. Ils renferment aussi des substances amorphes qui donnent, au début du chauffage une réaction exothermique sans interprétation spécifique possible.

Ces observations confirment pleinement ce que laissait prévoir l'analyse granulométrique des sédiments complexes, à savoir que non seulement la fraction fine du dépôt était très réduite (moins de 10 % d'éléments <0,001 mm) mais que les minéraux argileux y sont peu abondants ou mal cristallisés.

Les minéraux identifiables sur les courbes d'analyse thermique sont les suivants :

Goëthite .....	Stations n <sup>os</sup> 319, 322, 325
Illite .....	— n <sup>os</sup> 318, 319
Mélange d'illite et de kaolinite .....	— n <sup>os</sup> 321, 322, 324, 325
Chlorite (?) .....	— n <sup>o</sup> 319
Chrysotile .....	— n <sup>o</sup> 321
Antigorite (?) .....	— n <sup>os</sup> 322, 324, 325

Pour en terminer avec l'analyse thermique différentielle je noterai que les courbes des limons de Bretagne provenant des estuaires à Ria de la Côte nord présentent les mêmes caractéristiques que les sédiments des Devil's Hole. — Les crochets endothermiques ont des amplitudes semblables.

Enfin la courbe A obtenue par le chauffage d'un mélange de Kaolinite (25%) et d'Illite (75 %) montre que la proportion d'illite par rapport à la kaolinite dans les échantillons des Devil's Hole est voisine de celle du mélange de référence. Toutefois, dans les sédiments de la Mer du Nord, la quantité de minéraux bien cristallisés dans un gramme de matière soumise à l'analyse thermique différentielle, n'excède pas le 1/4 de ce poids.

## 6° Résumé et conclusions.

La région des Devil's Hole a donné lieu à deux interprétations différentes.

En se basant uniquement sur ses observations morphologiques, L. BEAUGÉ (*loc. cit.*, 1937) y a vu un ancien delta du Rhin quaternaire.

En confrontant la morphologie du fond et les données géologiques recueillies par dragage, J. FURNESTIN (*loc. cit.*, 1939-43) a réfuté l'argumentation de L. BEAUGÉ et expliqué la morphologie et la répartition des dépôts par l'intervention d'un glacier quaternaire venant de la région du Firth of Forth.

Je vais donc confronter ces deux interprétations avec les données sédimentologiques acquises au cours de cette étude.

### a) Interprétation de L. Beaugé.

Je ne reprendrai pas les arguments morphologiques très pertinents déjà développés par J. FURNESTIN et que j'ai rappelés dans l'exposé des travaux antérieurs aux présentes recherches.

Pour me limiter aux données strictement sédimentologiques, j'ai réuni sur un même graphique (voir fig. 20) : 1° des courbes granulométriques des sédiments fluviaux carottés dans le lit de la Loire, entre Paimbœuf et le Pellerin, dans la région dite de Belle-Ile; 2° les courbes enveloppantes de toutes les courbes granulométriques des sédiments complexes de la région des Devil's Hole.

La superposition de ces courbes granulométriques révèle des différences considérables entre les deux formes de sédiments. Ainsi, dans les sédiments des Devil's Hole la fraction inférieure à 0,050 mm représente 10 à 35 % de l'ensemble. Dans les dépôts de la Loire, cette même fraction n'est jamais inférieure à 60 % et peut atteindre 92 % pour une gamme dimensionnelle du même ordre.

Enfin, j'ai montré précédemment que les sédiments dragués hors des abords immédiats des Devil's Hole différaient aussi des sédiments fluviaux.

En définitive, l'hypothèse de L. BEAUGÉ n'explique pas la morphologie très particulière de la région étudiée et elle est en contradiction totale avec les résultats de l'étude sédimentologique des dépôts. Elle doit donc être abandonnée.

### b) Interprétation de J. Furnestín.

L'interprétation de J. FURNESTIN, faisant intervenir des phénomènes glaciaires, explique la morphologie des Devil's Hole (voir le résumé de son étude dans le paragraphe consacré aux recherches antérieures).

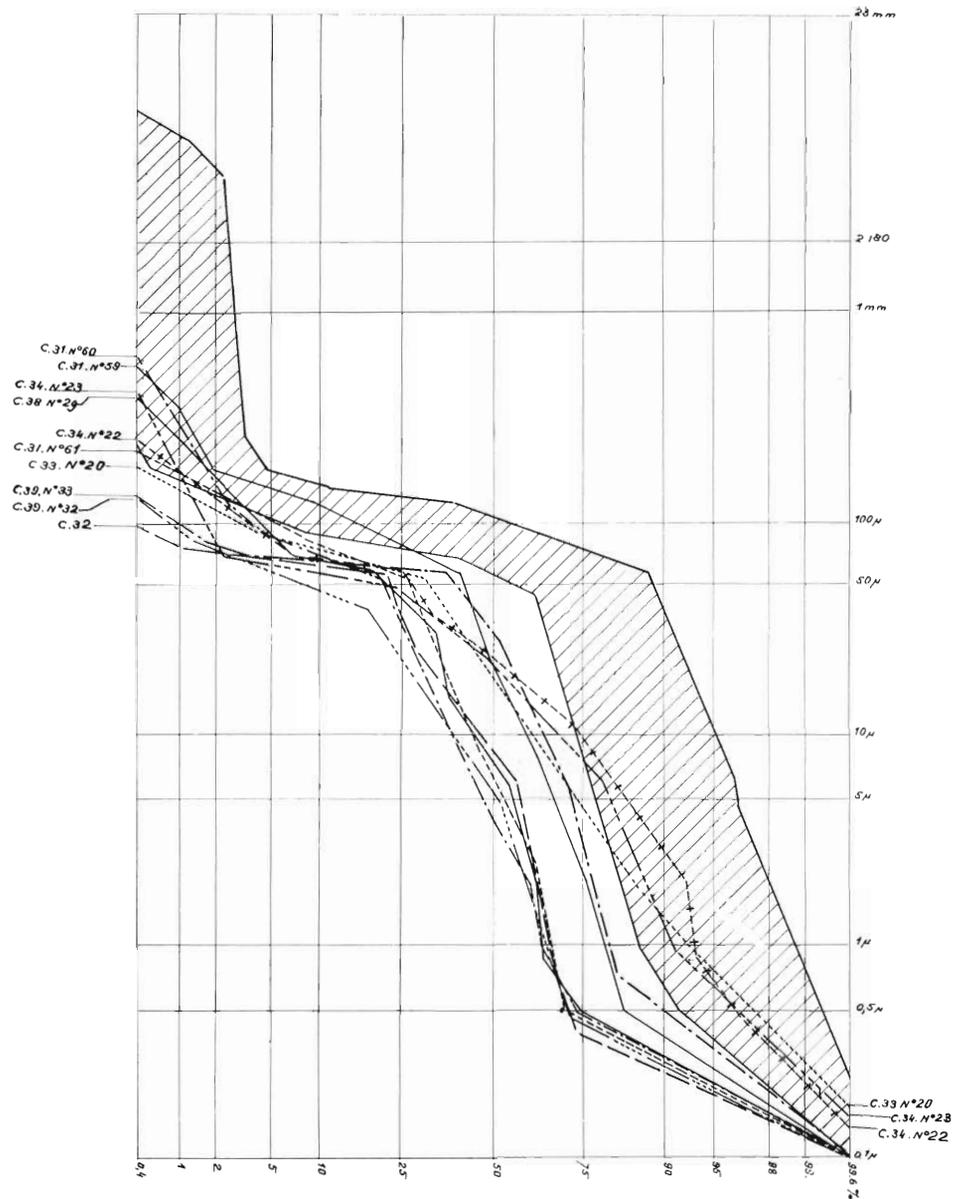


FIG. 20.

1° Courbes granulométriques des sédiments de la Loire : Carottages entre Paimboeuf et le Pellerin (Belle-Ile).

Carotte n°	Ech.	Profondeur à partir de la surface de la carotte
Carotte n° 31	Ech. 59	0,11-0,14
	Ech. 60	1,63-1,67
	Ech. 61	3,47-3,51
Carotte n° 32		0,20-0,22
Carotte n° 33	Ech. 20	0,67-0,85
Carotte n° 34	Ech. 22	0,39-0,53
	Ech. 23	1,03-1,24
Carotte n° 38	Ech. 29	0,07-0,19
Carotte n° 39	Ech. 32	1,84-1,89
	Ech. 33	2,45-2,49

2° Sédiments des Devil's Hole : la surface hachurée représente l'aire enveloppe des courbes des sédiments complexes.

L'analyse granulométrique des sédiments complexes recueillis dans les profonds sillons de la région a montré que ces dépôts s'apparentaient nettement à des formations périglaciaires du Nord de la Bretagne.

Les résultats des analyses thermiques différentielles ont mis en évidence la même similitude.

Par conséquent, toutes les données sédimentologiques confirment les résultats morphologiques et géologiques précédemment acquis par J. FURNESTIN et montrent l'importance et l'extension des phénomènes glaciaires et périglaciaires en Mer du Nord.

## REGION DES OUTER SILVER PIT

### 1° Morphologie.

La région des Outer Silver Pit est située dans la partie méridionale de la Mer du Nord, sensiblement à mi-chemin entre l'Angleterre et la Hollande (v. fig. 1). Une carte bathymétrique a été récemment dressée d'après les sondages du « *Président-Théodore-Tissier* ». Cette carte, actuelle-

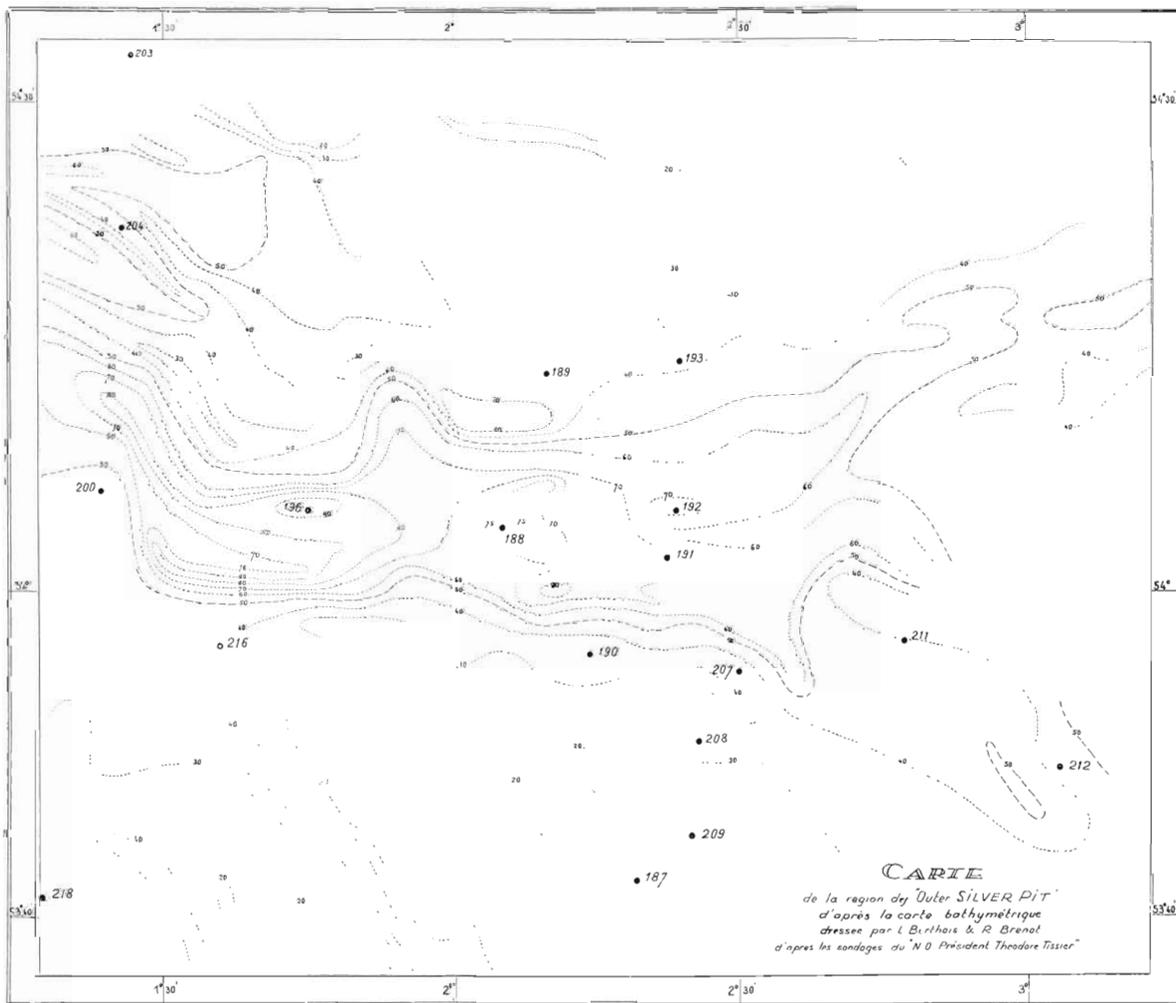


FIG. 21.

ment sous presse, sera publiée dans la *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches maritimes* avec une description morphologique détaillée.

Il me paraît donc inutile de faire ici une nouvelle description morphologique de la région. Je signalerai seulement que, contrairement aux Devil's Hole dont les dépressions sont orientées Sud-Nord, celles des Outer Silver Pit sont orientées sensiblement Est-Ouest.

D'autre part, les profondeurs des sillons qui atteignent ou même dépassent 200 mètres dans les Devil's Hole sont comprises entre 75 et 96 mètres dans les Outer Silver Pit.

La figure n° 21, sur laquelle sont indiquées les stations de prélèvements de fonds, schématise la topographie du fond. Elle a été établie d'après la nouvelle carte bathymétrique de L. BERTHOIS et R. BRENOT.

Dans cette région les prélèvements ont été faits par dragages et carottages. Les points carottés sont indiqués sur la liste de position des stations. Les carottages ont été tentés dans toutes les stations où les sédiments paraissaient présenter une plasticité suffisante pour être prélevés au carotier « Mécaboler ».

## 2° Position des stations.

MER DU NORD. — Région des Outer Silver Pit.

Station N°	Année 1955	Lat. N	Long E.-Gr.	Profond. en m	Observation
183	21 sept.	51°37'	2°06'	46	
184	21 —	52°10'	3°14'	24	
185	21 —	52°41'	2°30'	46	
186	22 —	53°11'	2°31'	32	
187	22 —	53°42'	2°19'	27	
188	22 —	54°04'	2°05'	85	Carottage.
189	22 —	54°13'	2°10'	32	
190	22 —	53°56'	2°14'	38	Fond dur.
191	23 —	54°02'	2°22'	72	Carottage.
192	23 —	54°05'	2°23'	72	Carottage.
193	23 —	54°14'	2°24'	37	
196	23 —	54°05'	1°45'	96	
200	24 —	54°06'	1°23'	52	
203	25 —	54°33'	1°27'	32	
204	25 —	54°22'	1°26'	50	
207	26 —	53°55'	2°38'	38	
208	26 —	53°51'	2°26'	37	
209	26 —	53°45'	2°25'	28	
211	27 —	53°57'	2°47'	42	
212	27 —	53°49'	3°03'	45	
216	28 —	53°57'	1°36'	42	
218	29 —	53°41'	1°14'	24	
219	29 —	53°30'	0°41'	98-70	

Les stations n°s 183, 184, 185, 186 et 219, trop éloignées des abords immédiats des Outer Silver Pit, ne sont pas représentées sur la carte.

## 3° Granulométrie.

### a) Sédiments grossiers.

Des sédiments grossiers ont été dragués aux stations portant les numéros 187 (27 m), 189 (32 m), 208 (37 m), 209 (28 m), 211 (42 m) et 216 (42 m).

Les courbes granulométriques cumulatives sont représentées (fig. 22).

Ces sédiments sont très hétérométriques, les courbes 189, 208, 209, 211 et 216 mettent en évidence quelques disparités assez importantes mais elles ont la même forme générale et se rapportent nettement à un même type sédimentaire avec une inflexion bien marquée dans la gamme dimensionnelle 1,090 mm 0,510 mm.

Par contre, le sédiment de la station 187 correspond à un type de triage très différent avec une courbe cumulative quasi rectiligne mettant en évidence un classement voisin d'une répartition

probabiliste. Or, la station n° 209 située à proximité du n° 187 et par même profondeur, possède un sédiment qui se rapporte au premier type décrit.

L'aire de répartition du type sédimentaire de la station 187 est certainement très réduit puisque les stations 218-209, 212 et 186 qui l'encadrent ont fourni des sédiments de types différents du sien.

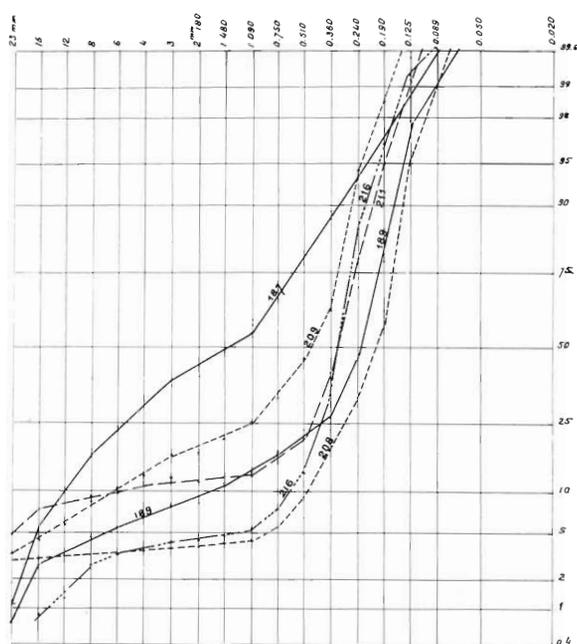


FIG. 22.

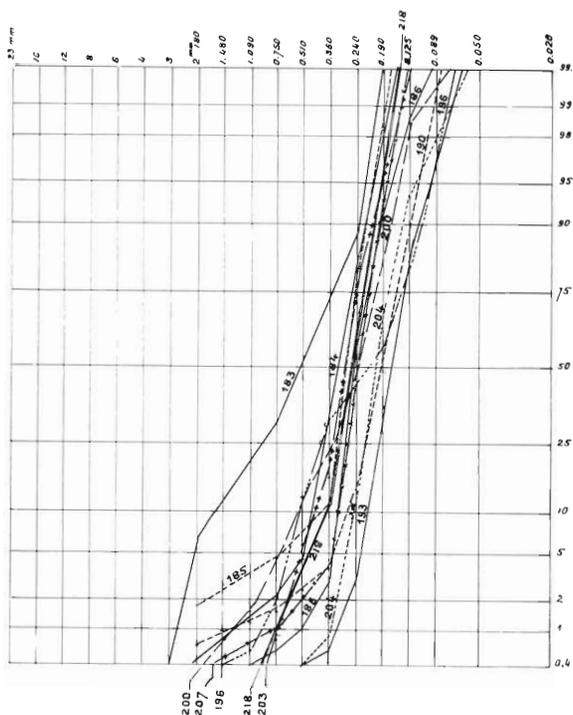


FIG. 23.

Je noterai que les sédiments grossiers du premier type sont répartis en des points encadrant la région des Outer Silver Pit.

Je reprendrai, dans les pages suivantes, l'étude de la répartition des types sédimentaires sableux.

Enfin, les dragages aux stations 187, 209, 211 et 216 ont également fourni des galets qui seront étudiés ultérieurement.

**b) Sédiments sableux dépourvus de fraction grossière.**

Les sédiments dépourvus de fraction grossière sont très nombreux. Ils sont tous du même type sédimentaire, sauf toutefois celui de la station 183, mais cette station est assez éloignée de la zone présentement étudiée puisqu'elle a les coordonnées suivantes : Lat. N. 51°37'. Long. E. Gr. 2°06'. C'est pourquoi je ne m'y attarderai pas davantage.

Les stations 184, 185 et 186 sont trop éloignées de cette zone pour être représentées sur la fig. 21. Mais, les courbes granulométriques des sédiments sont du même type que celles de plusieurs sables des Outer Silver Pit et seront considérées en même temps.

Je noterai que la station n° 200 a fourni quelques galets de petite taille qui seront étudiés ultérieurement.

Les courbes granulométriques des sédiments sableux sont groupées sur la fig. 23.

Ce sont des sables assez homométriques puisque l'ensemble montre que 90 % des grains sont compris entre 0,510 mm et 0,060 mm.

Les courbes cumulatives sont du même type que celles des sables dragués ou carottés en Loire (v. fig. 17).

Pour vérifier et préciser cette similitude apparente j'ai construit les courbes moyennes générales pour les sédiments sableux des Outer Silver Pit et de la Loire d'après les courbes de la fig. 11.

Avant de discuter les résultats de cette comparaison j'indiquerai d'abord l'intérêt de ces courbes moyennes générales et comment on peut les obtenir.

CONSTRUCTION DES COURBES MOYENNES GÉNÉRALES :

La comparaison des surfaces enveloppantes des différents faisceaux de courbes cumulatives, a été fréquemment employée dans ce travail.

Ce procédé est rapide et très expressif si les courbes ne sont pas exagérément dispersées et, si les aires à comparer sont suffisamment convergentes, divergentes, ou superposables. Mais ce mode de comparaison ne renseigne pas sur la répartition des courbes à l'intérieur de l'aire qui recouvre leur faisceau. Ainsi, par exemple, dans un faisceau de dix courbes, huit de celles-ci pourront être situées à droite de l'aire délimitée et deux seulement à gauche. Par conséquent, la surface enveloppante n'est pas représentative de la répartition des courbes dans l'aire qu'elle délimite.

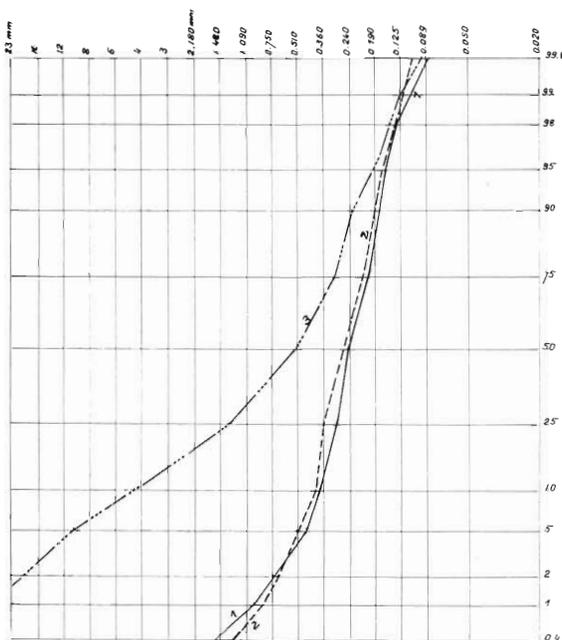


FIG. 24. — Courbes moyennes générales.  
 Courbe n° 1 : Sédiments sableux dépourvus de fraction grossière, Outer Silver Pit.  
 Courbe n° 2 : Sédiments de la Loire (voir la localisation des prélèvements dans la légende de la fig. 17).  
 Courbe n° 3 : Sédiments grossiers des Outer Silver Pit.

fois, la courbe n° 183, qui est d'un type différent des autres, n'a pas été incorporée au calcul pour les raisons précédemment exposées.

Loire : courbes cumulatives de la fig. 17.

Les courbes moyennes générales sont représentées (fig. 24).

L'examen de ce graphique montre nettement que les sédiments des Outer Silver Pit dépourvus de fraction grossière (courbe 1) s'apparentent à ceux recueillis en Loire (courbe 2) et que par conséquent ils sont du type des dépôts de courants assez rapides pour assurer une bonne sélection granulométrique.

Quant aux sédiments grossiers (courbe 3) ils sont d'un type granulométrique nettement différent des deux autres. En outre, ils sont en général associés à des galets.

Pour obtenir plus de précision à cet égard il devient nécessaire de calculer une courbe moyenne générale de chaque faisceau. Il est bien évident que cette courbe moyenne doit être calculée sur un nombre suffisant de courbes originelles. Si l'on ne dispose pas d'au moins 5 ou 6 courbes originelles il est inutile de calculer une courbe moyenne générale.

Le calcul de la courbe moyenne générale est très simple : à l'aide d'une règle logarithmique construite à l'échelle du graphique, le diamètre du grain de chaque courbe est relevé aux principales ordonnées, par exemple : 0,4, 1, 2, 5, 10, 25, 50, 75, 90, 95, 98, 99, 99,6 %.

Les diamètres obtenus sont totalisés pour chaque ordonnée et la moyenne arithmétique est calculée.

La courbe moyenne générale est ensuite tracée à l'aide des valeurs trouvées, en portant à chaque ordonnée choisie, la dimension du grain moyen.

Les trois courbes moyennes générales ont été calculées à partir de :

Outer Silver Pit : courbes cumulatives des sédiments grossiers (fig. 22).

Courbes cumulatives des sédiments sableux dépourvus de fraction grossière (fig. 23). Toute-

**c) Sédiments complexes.**

Les sédiments complexes ont été prélevés par carottage au carottier Mécabolier (sauf le n° 188 a qui a été dragué). Ces carottes sont de faible longueur mais cependant elles permettent quelques observations intéressantes qui seront exposées en détail dans les pages suivantes. Actuellement je me bornerai à en étudier la granulométrie.

Les courbes granulométriques ont été groupées sur la figure 25.

On peut noter immédiatement qu'à partir de leur origine, où elles sont assez fortement dispersées, les courbes cumulatives convergent très vite pour se localiser dans un très petit domaine dimensionnel. Ainsi, à l'ordonnée de 10 % les courbes sont comprises entre 0,210 et 0,130 mm.

Ensuite, jusqu'à l'ordonnée de 99,6 % les courbes cumulatives forment un faisceau très étroit.

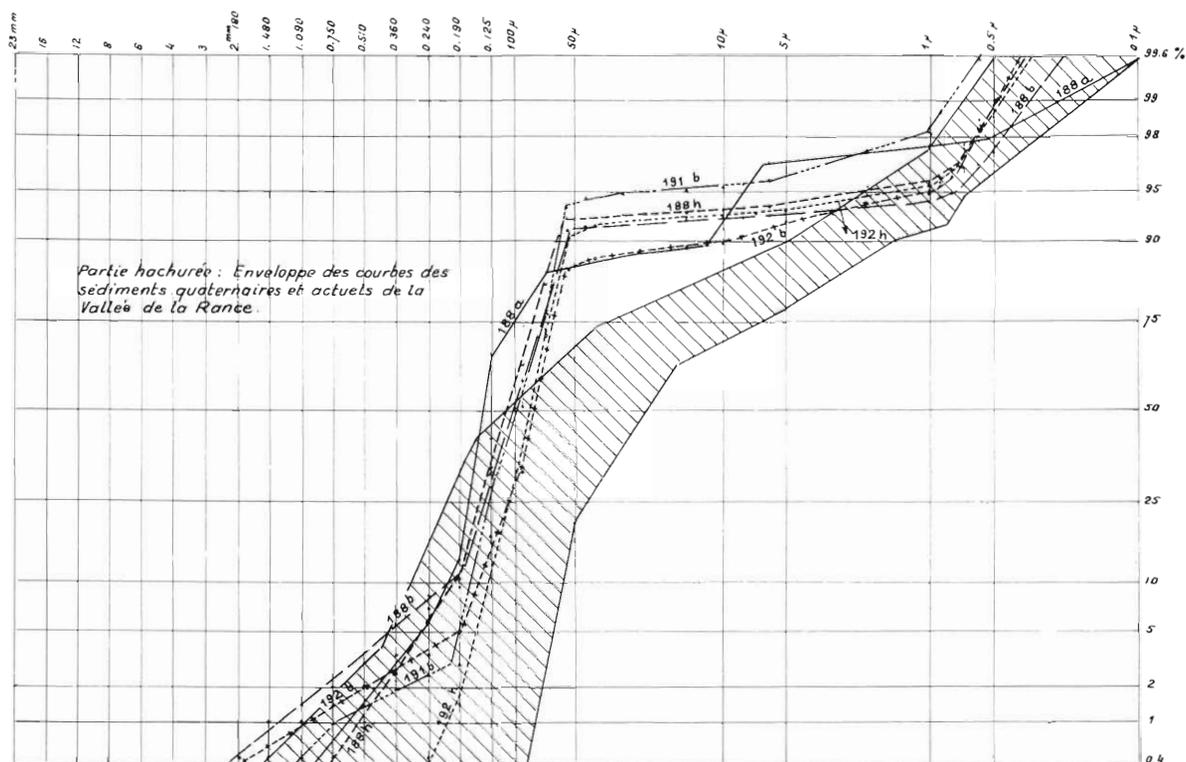


FIG. 25. — Outer Silver Pit. Sédiments carottés.  
 Station n° 188. — 188 h : partie haute de la carotte.  
 188 b : partie basse de la carotte.  
 188 a : dragage à la même station.  
 Station n° 191. — 191 b : partie basse de la carotte.  
 Station n° 192. — 192 h : partie haute de la carotte.  
 192 b : partie basse de la carotte.

Le sédiment désigné sous le n° 188 a présente quelques irrégularités qui me paraissent devoir être attribuées au fait qu'il a été recueilli par dragage, tandis que les sédiments 188 h. et 188 b. ont été carottés à la même station.

Toutes ces courbes offrent la même particularité qui est de posséder 83 % en poids, de grains sableux dont les diamètres sont compris entre 0,190 et 0,060 mm. La fraction inférieure à 0,010 mm est comprise entre 4,5 et 10 % du sédiment total et celle inférieure à 0,001 mm est comprise entre 2 et 6 %.

J'ai représenté sur la fig. 25, par une zone hachurée, l'enveloppe des courbes des sédiments quaternaires et actuels de la Vallée de la Rance que j'ai déjà utilisées pour de précédentes comparaisons.

Cette superposition montre que les sédiments complexes des Outer Silver Pit s'apparentent à ceux de la Rance. Mais, les sédiments des Outel Silver Pit ont manifestement bénéficié d'une sélection qui a partiellement éliminé la fraction fine et corrélativement augmenté le pourcentage des éléments de diamètres compris entre 0,190 et 0,060 mm.

Pour comprendre et interpréter l'état actuel des dépôts, il est indispensable de rechercher quel a pu être leur mode d'évolution. Je vais donc commencer par rechercher dans quelle mesure la submersion marine a pu modifier les sédiments antérieurement déposés.

L'immersion ayant forcément débuté par les parties déprimées ne présentant pas l'aspect de cuvette fermée, a progressivement atteint les « bancs », plus ou moins étendus, qui forment une grande partie de la zone sud de la Mer du Nord.

Il n'est pas interdit de penser que l'action marine s'est d'abord manifestée en uniformisant le faciès granulométrique des dépôts situés à la même altitude ou à des altitudes voisines. Il semble que la modification morphologique des éléments constitutifs du dépôt, qui ne peut prendre naissance qu'après un déplacement relativement considérable des grains, ne puisse se réaliser qu'au deuxième stade.

Pour rechercher cette influence de l'action marine j'ai classé les sédiments par ordre de profondeur croissante, puis j'ai déterminé pour chaque station le diamètre du grain moyen ( $\Phi$  m) et l'indice de classement du sédiment ( $C^2$ ).

*Détermination de ces valeurs.* — Le diamètre du grain moyen ( $\Phi$  m) est donné par l'abscisse de l'intersection de la courbe cumulative avec l'ordonnée de 50 %. L'indice de classement définit la portion de courbe comprise entre deux abscisses également espacées, portées à droite et à gauche, du point d'intersection de la courbe avec l'ordonnée de 50 % (L. BERTHOIS 1949). Les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

Station N°	Profondeur en mm	Diamètre du grain moyen en mm	Indice de classement
184	24	0,200	0,94
218	24	0,255	0,92
187	27	1,450	0,20
209	28	0,480	0,61
186	32	0,250	0,94
189	32	0,235	0,70
203	32	0,290	0,89
193	37	0,170	0,93
208	37	0,210	0,76
190	38	0,190	0,88
207	38	0,240	0,95
211	42	0,340	0,71
216	42	0,340	0,84
185	46	0,300	0,91
183	46	0,540	0,55
204	50	0,210	0,93
200	52	0,240	0,75
191	72	0,010	0,83
192	72	0,008	0,70
188	85	0,011	0,79
196	96	0,220	0,63

Ce tableau met en évidence :

1° Des variations faibles du diamètre moyen à la même profondeur ou à des profondeurs voisines : à la profondeur de 32 m : stations 186, 189 et 203; à la profondeur de 42 m : stations 211 et 216, etc...

2° Des variations importantes du diamètre moyen à la même profondeur ou à des profondeurs voisines : à la profondeur 24-27 m : stations 218 et 187; à la profondeur de 46 m : stations 183-185, etc...

3<sup>o</sup> Il est également possible de noter des variations faibles et des variations importantes des indices de classement à des profondeurs voisines ou égales.

*Exemples* : à 24 m, stations 184 et 218,  $C^2 = 0,91$  et  $0,55$ .  
à 46 m, stations 185 et 183,  $C^2 = 0,94$  et  $0,92$ ;

Ces coïncidences ou ces disparités s'observent aussi à des profondeurs plus importantes.

*Exemples* : à 72 et 85 m, stations : 191, 192 et 188 : peu de variations dans les dimensions des grains moyens.

Les indices de classement ont aussi des valeurs semblables : à 85 et 96 m, stations 188 et 196 : énormes variations des diamètres moyens et des indices de classement.

Enfin, je n'ai comparé ici que les formations sableuses avec ou sans fraction grossière et les sédiments complexes. Or, aux stations n<sup>os</sup> 187, 200, 209, 211 et 216 des galets ont été dragués en même temps que les sables et les graviers. L'hétérométrie totale de ces sédiments se trouve donc notablement augmentée.

Cependant, il apparaît qu'aux faibles profondeurs, les variations des diamètres des grains moyens et des indices de classement sont peu importants dans la majorité des cas.

Les disparités observées peuvent être en partie attribuées aux différences de rugosité des fonds localement pierreux.

Ces aires pierreuses sont partiellement colmatées par des sédiments déposés postérieurement et dont le volume s'accroît sans doute encore par la sédimentation actuelle.

#### **d) Résumé et conclusions de l'étude granulométrique.**

Les sédiments grossiers sont, en général associés à des galets dont les caractéristiques seront examinées ultérieurement.

Les sédiments sableux dépourvus de fraction grossière, qui ont été dragués à faible profondeur sont des sables dont la granulométrie s'apparente à ceux recueillis en Loire.

Ce sont des sédiments dont la granulométrie sélective porte l'empreinte de courants assez rapides pour réaliser un bon triage. Les sables de la Loire auxquels ils ont été comparés ont été recueillis sur des fonds de 8 à 10 m au-dessus desquels les eaux de surface peuvent atteindre la vitesse de 0,80 m/sec. Mais ces vitesses importantes s'annulent pendant les périodes d'étales (parfois très longues) favorables au dépôt.

Malgré cette action des courants marins actuels la granulométrie présente parfois des disparités importantes qui sont peut-être partiellement héritées des dépôts anciens, incomplètement modifiés.

Dans les sillons profonds et étroits des Outer Silver Pit où les courants actuels, sensiblement perpendiculaires à leur direction, n'ont qu'une influence très faible ou nulle, il existe des sédiments complexes qui s'apparentent, granulométriquement, à des limons glaciaires ou périglaciaires.

#### **4° Sédiments carottés.**

Certaines déterminations peuvent être faites sur les échantillons carottés mais, pour être valables, un certain nombre d'entre elles doivent être exécutées immédiatement ou préparées par des prélèvements faits sur les échantillons frais.

##### **a) Mesure des couleurs.**

Ces mesures ne peuvent se concevoir que sur les échantillons frais, elles se font par comparaison avec un code. J'ai utilisé la Rock Color Chart qui a l'avantage de présenter une gamme de couleurs correspondant à celles des sédiments marins (fig. 26).

##### **b) Mesure du pH.**

Les mesures de pH doivent être faites le plus tôt possible après l'extraction de la carotte. Elles sont exécutées à l'aide d'un appareil fonctionnant sur pile. Elles n'exigent aucune précaution parti-

culière sauf pour l'enfoncement des électrodes dans le sédiment s'il existe des grains quartzux susceptibles de rayer ou casser les pointes des électrodes de verre.

**c) Mesure du potentiel d'oxydo-réduction (Eh).**

L'importance des phénomènes d'oxydo-réduction dans les sédiments est certainement très grande.

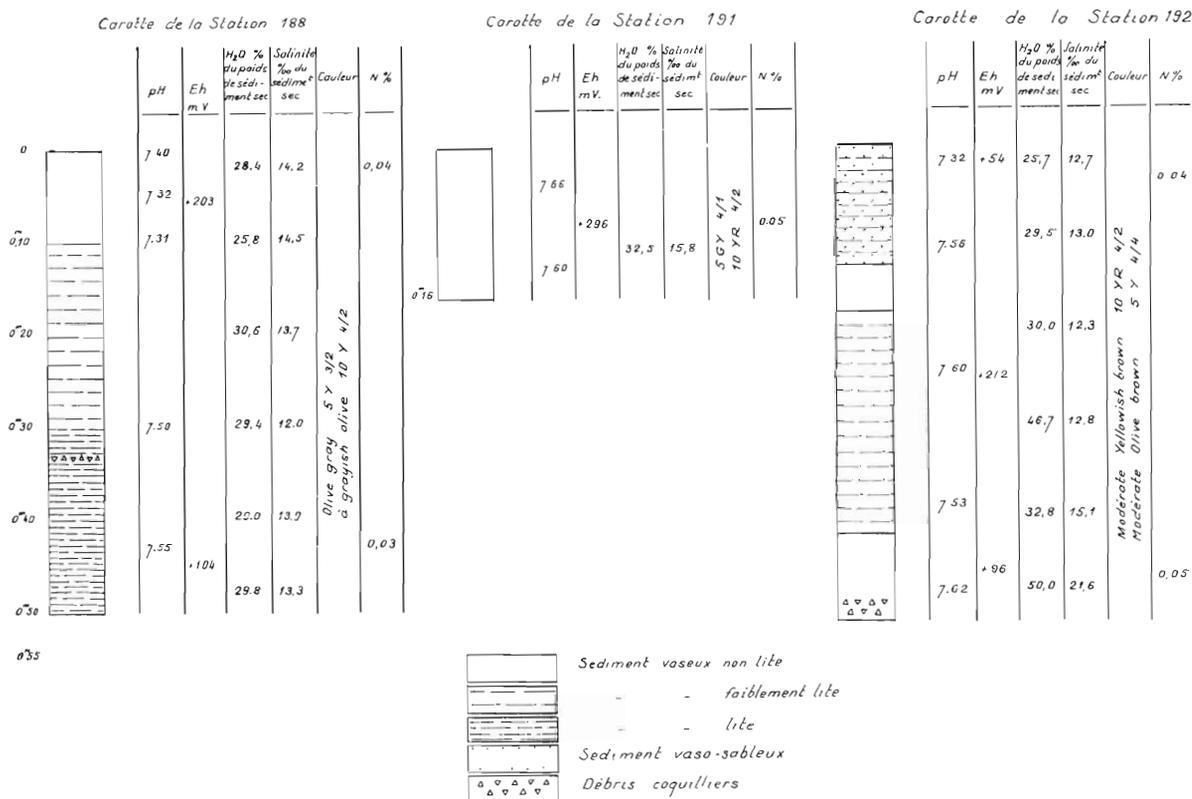


FIG. 26.

Ainsi, les travaux des pédologues nous ont appris que le déclenchement de la migration du fer est lié à des phénomènes de réduction tandis que sa précipitation est déterminée essentiellement par des phénomènes d'oxydation. Les résidus des fermentations assurent le transport dans l'intervalle des deux phases.

Les potentiels normaux d'oxydo-réduction des systèmes Redox du manganèse sont plus élevés que ceux du système  $\frac{Fe^{++}}{Fe^{+++}}$  et expérimentalement le manganèse est dissous plus facilement et précipité moins facilement que le fer (J. DUPUIS, 1952).

Les phénomènes d'oxydo-réduction liés aux fermentations des matières organiques sont susceptibles d'apporter une explication cohérente à de nombreux problèmes de sédimentologie.

Le potentiel d'oxydo-réduction permet d'apprécier quantitativement la force d'un système oxydant ou réducteur. Plus le potentiel d'oxydo-réduction est élevé, plus le pouvoir oxydant est prononcé; plus il est bas plus le pouvoir réducteur est manifeste.

Théoriquement, le potentiel d'oxydo-réduction est déterminé en mesurant la différence de potentiel entre une électrode de métal inattaquable plongeant dans le sédiment à étudier et une électrode plongeant dans un système d'oxydo-réduction fixe dit de référence.

Pour les calculs, on prend toujours l'électrode normale à hydrogène :

$$pH = 0 \quad \text{—} \quad pH^2 = 1 \text{ atm.}$$

La formule de base est :

$$1) \quad E_h = E_o - \frac{0,06}{n} \log \frac{(Red)}{(Ox)} \quad \text{à } 18^\circ$$

obtenue par application de la loi d'action de masse et de la formule de Nernst au système oxydo-réducteur :



$E_h$  = potentiel d'oxydo-réduction par rapport à l'électrode normale à hydrogène.

$E_o$  = potentiel normal d'oxydo-réduction (valeur de  $E_h$  pour  $(Red) = (Ox)$ ).

$n$  = nombre d'électrons échangés.

$(Red)$  et  $(Ox)$  sot les activités des oxydants et réducteurs.

En fait et dans le cas le plus général, le potentiel d'oxydo-réduction est fonction du pH et l'on a :

$$2) \quad E_h = E_o - \frac{m}{n} 0,06 \text{ pH} - \frac{0,06}{n} \log \frac{(Red)}{(Ox)}$$

en appliquant la loi d'action de masse et la formule de Nernst à la réaction générale d'oxydo-réduction



$E_o$  est alors le potentiel normal ou de demi-réduction à  $pH = 0$ .

On peut imaginer une électrode à hydrogène fictive développant le même potentiel qu'une lame plongée dans la solution réelle au pH considéré.

On a alors :

$$E_h = 0,03 \log \frac{1}{(H^2)} - 0,06 \text{ pH}$$

en appliquant la formule (2) à la réaction d'oxydo-réduction



Dans ces conditions, et si l'on maintient fixe le pH, le potentiel ne dépend plus que de l'activité (ou de la concentration) en  $H_2$  moléculaire, ou si l'on veut de sa pression.

par analogie avec  $pH = \log \frac{1}{(H^+)}$  on pose  $rH = \log \frac{1}{(H^2)}$

Entre pH, rH et  $E_h$  on a les relations suivantes (à  $18^\circ$ ) :

$$E_h = 0,03 \text{ rH} - 0,06 \text{ pH.}$$

Pratiquement on abandonne la notion de rH qui nécessite la considération d'une électrode fictive et l'on donne simplement  $E_h$  en précisant le pH.

Lorsqu'on prend pour électrode de référence l'électrode au calomel, ce qui est le cas le plus habituel on a :

$$E_h = E_e + 246 \text{ mV.}$$

Dans les sédiments marins, et en particulier dans les vases riches en matière organique, les phénomènes d'oxydo-réduction sont particulièrement importants puisqu'ils y règlent la vie microbienne et la dynamique de la matière organique.

Les pédologues évaluent le pouvoir corrodant des sols à l'aide de l'échelle suivante :

moins de 100 mV : corrosion anaérobie très forte  
 de 100 à 200 mV : — — moyenne  
 de 200 à 400 mV : — — légère  
 au-dessus de 400 mV : pas de corrosion anaérobie.

Les résultats des mesures de pH et de Eh sur les sédiments carottés sont donnés fig. 26.

J'ai également fait quelques mesures de couleur, de pH et de Eh sur des sédiments dragués.

Les mesures de pH et de Eh exécutées dans ces conditions sont moins précises que celles faites sur des sédiments carottés. Je me suis entouré des précautions suivantes pour leur donner le plus de précision possible.

Les mesures n'ont été faites que sur des sédiments fins compacts non lavés au cours de la remontée de la drague.

Les prélèvements destinés aux mesures ont toujours été faits dans la partie centrale de la poche de la drague où les risques de pollution sont très réduits.

Les résultats sont groupés dans le tableau suivant :

Station N°	Couleur (d'après la Rock Color Chart)	pH	Eh. en mV.
196	Graysh olive 10 Y 4/2 à moderate olive brown 5 Y 4/4	7,78	+ 282
203	Pale brown 5 YR 5/2	7,68	+ 372
204	Brownish gray 5 YR 4/1 à olive ray 5 Y 4/1.	7,56	+ 299
207	Dark yellowish brown 10 YR 4/2	7,73	+ 379
208	Dark yellowish brown 10 YR 4/1 à moderate olive brown 5 Y 4/4	7,74	+ 319
209	Moderate brown 5 YR 4/4 à Dark yellowish brown 10 YR 4/2	7,90	+ 373
211	Moderate brown 5 YR 4/4 à Dark yellowish brown 10 YR 4/2	7,61	+ 373
212	Light olive gray 5 Y 5/2 à moderate olive brow 5 Y 4/4	7,44	+ 122

Ces résultats montrent, qu'en général, dans les sédiments dont la granulométrie est plus grossière le potentiel d'oxydo-réduction est plus grand que dans les sédiments complexes dont le diamètre du grain moyen est beaucoup plus faible. Par conséquent c'est dans ce dernier milieu que le pouvoir réducteur est plus prononcé.

#### d) Dosage de l'eau interstitielle des sédiments.

Le dosage de l'eau interstitielle ne peut se faire que sur des sédiments carottés. La méthode de prélèvement et de dosage a été mise au point par B. KULLENBERG (1951). Je la rappellerai très succinctement : le sédiment est prélevé dans la carotte à l'aide d'une petite cuillère hémicylindrique et déposé dans un petit récipient préalablement taré à la balance de précision.

Le récipient est bouché hermétiquement pour éviter toute évaporation. Au retour de croisière il est pesé à nouveau d'abord humide, puis après séchage à l'étuve.

Les résultats de ces dosages sont donnés fig. 26.

#### e) Dosage de la salinité de l'eau interstitielle des sédiments.

Le dosage de la salinité de l'eau interstitielle a été longuement et minutieusement étudié par B. KULLENBERG (*loc. cit.* 1951). Je renverrai à ce travail fondamental le lecteur désireux d'utiliser ce dosage. Je signalerai seulement que le sel est extrait par lavages successifs du sédiment séché pour le dosage de l'eau interstitielle.

Les résultats de ces dosages de salinité exprimés en ‰ du poids du sédiment sec sont donnés fig. 26.

Dans le tableau ci-dessous c'est la salinité ‰ de l'eau d'imbibition qui a été calculée.

**f) Dosages d'azote total.**

J'ai déjà décrit cette méthode de dosage à propos de sédiments dragués. Aucune modification n'est nécessaire lorsque les sédiments ont été carottés (voir résultats fig. 26).

**g) Structure des sédiments carottés.**

*Préparation des sections minces.*

La confection d'une section mince dans une partie de carotte de sédiment nécessite une préparation spéciale et un certain « tour de main ». Cependant il est beaucoup plus intéressant d'examiner les éléments constitutifs du sédiment et leurs relations mutuelles que de se borner à l'examen des frottis.

Distance au sommet de la carotte	Salinité de l'eau d'imbibition ‰		
	Station 188	Station 191	Station 192
0,02 m	33,4		33,1
0,10	33,1	32,2	31,8
0,20	29,9		27,5
0,30	27,1		28,3
0,40	32,1		30,6
0,47	29,6		28,9

La taille en section mince des sédiments fins de la Mer du Nord présente encore plus de difficultés que dans le cas des vases fines par suite de la présence d'une très importante quantité de quartz. Aussi les échecs ont-ils été fréquents.

Les sédiments ont été préparés suivant la technique mise au point par J. DEBYSER à l'Institut français du Pétrole. Il n'y a été apporté que quelques modifications de détail. Cette technique est très voisine de celle déjà

employée par V. AGAFONOF (1931) pour confectionner des sections minces dans les échantillons de sols.

La fraction de carotte dans laquelle on désire faire la section mince est immergée dans l'alcool à 95° pour extraire l'eau d'imbibition, puis l'alcool est remplacé par du xylol pur. Enfin, le xylol est progressivement enrichi en baume de Canada jusqu'à une consistance très sirupeuse de la liqueur. Lorsque cette concentration est atteinte, l'échantillon est séché à température modérée (40° cent. environ) et il est ensuite procédé à un essai de cuisson dans le baume. Si l'eau interstitielle a été incomplètement extraite, l'échantillon éclate dans le baume bouillant. Si, au contraire, l'eau interstitielle a été bien enlevée, la cuisson dans le baume permet d'obtenir un bloc compact dans lequel il est possible de tailler une section mince.

Cependant, il est, le plus souvent, impossible d'obtenir par ce procédé des préparations microscopiques aussi minces que dans une roche dure. En général la teinte du quartz entre nicols croisés dépasse largement le gris de premier ordre.

*Structure microscopique.*

Les préparations qui ont été faites ne présentent pas de stratification nettement marquée à l'examen microscopique, même sans faible grossissement.

Il n'existe pas de différence marquée entre des préparations microscopiques taillées parallèlement ou perpendiculairement à la stratification présumée.

Ainsi, dans les dessins de la figure 27, les croquis 1 et 2 représentent des sections parallèles à la schistosité et les croquis 3 et 4 des sections perpendiculaires.

Le sédiment est essentiellement composé de petits grains quartzeux de 60 à 180 μ avec une petite quantité de grains nettement plus volumineux (300 à 600 μ).

Les gros grains sont toujours anguleux. Sur quelques rares exemplaires apparaissent des traces incertaines d'émoussement (l'émoussement est souvent difficile à déceler en section mince), mais aucun grain roulé n'a été observé.

Le ciment réunissant ces grains de quartz est peu développé (v. fig. n° 27) : il est jaune rougeâtre ou parfois brunâtre. Même sous un très fort grossissement il ne se résout qu'en petits granules argilo-ferrugineux avec, par place, des amas brunâtres de matière organique qui le rendent presque opaque.

Il est à noter que ces sédiments sont totalement dépourvus d'organismes : ils sont exclusivement minéraux. Par cette carence en débris organogènes, ils diffèrent notablement de la vase telle qu'elle a été décrite par J. BOURCART et Cl. FRANCIS-BŒUF (1942). Par contre, ces sédiments présentent une frappante similitude avec les limons décrits et figurés par AGAFONOF et BRIOUX (1931).

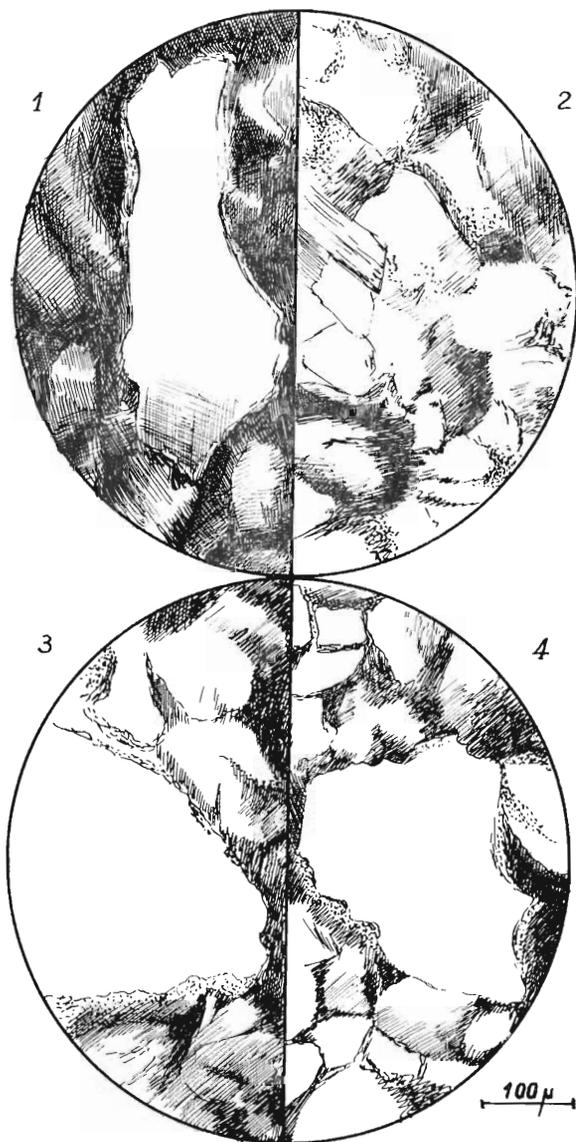


FIG. 27. — Structure microscopique dans une carotte de sédiment des Outer Silver Pit.

Il est à noter que l'observation microscopique confirme pleinement les résultats de l'analyse granulométrique sur la prédominance d'une fraction quartzreuse de 0,060 à 0,180 mm.

Les analyses thermiques différentielles des sédiments de la région des Devil's Hole m'ayant fourni des courbes à crochets très peu développés, j'ai utilisé pour cette étude un enregistreur électronique de plus grande sensibilité. Les amplitudes des crochets ont été nettement augmentées.

Les résultats des analyses thermiques différentielles sont groupés sur la figure 28.

L'examen des courbes montre que la fraction argileuse des sédiments est presque uniquement illitique, les autres minéraux, comme la goéthite ne provoquent que des crochets extrêmement faibles et n'existent qu'à l'état de traces.

Une remarque importante peut cependant être faite : les sédiments de surface (188 h, 191 h et 192 h) sont plus riches en illite que la couche sous-jacente à 0,50 m de profondeur dans les deux parties basses des carottes 188 b et 192 b.

Il semble donc que dans le sillon des Outer Silver Pit, il se fait en surface une très lente accumulation de particules argileuses fines, probablement par un très lent lessivage des parois relativement abruptes du sillon.

## 5° Etude des galets.

### a) Remarques sur la granulométrie des galets dragués.

Lorsqu'un coup de drague rapporte des galets, ceux-ci sont toujours accompagnés d'une autre fraction sédimentaire plus ou moins importante.

La quantité de sable grossier, fin, ou vaseux accompagnant les galets et remonté par la drague est extrêmement variable. Un coup de drague ramenant à bord 80 kg de sédiment peut contenir 3 galets ou 300 galets. Mais un dragage n'est pas toujours couronné d'un plein succès, la drague remonte souvent à moitié pleine ou aux trois quarts vide !

Les sédiments sont déversés dans une grande baille, les prélèvements de sédiments fins sont faits comme il a été dit antérieurement et les galets sont triés à la main ou au tamis à grandes mailles.

Mais il n'est pas possible de déterminer pondéralement les quantités respectives de sable et de galets. La quantité de sable est en général beaucoup trop importante pour pouvoir être conservée en totalité en pesée à terre. Il est également impossible de peser le sable à bord car il faudrait le sécher préalablement, ce qui ne peut être envisagé lorsqu'on dispose de 50 kg de sable et que le prochain dragage aura lieu deux ou trois heures plus tard.

De cet état de choses découle l'obligation de séparer l'étude granulométrique des galets des autres sédiments avec lesquels ils ont été ramassés sur le fond, sans avoir la possibilité d'établir une relation pondérale entre les deux lots.

Mais, la coupure arbitraire, qui est faite en étudiant, d'une part les galets limités à la dimension inférieure de 25 mm de largeur et, d'autre part, les graviers tamisés sur des cribles ayant au plus 23 mm d'ouverture, comporte des inconvénients.

Parmi ces inconvénients, celui qui doit plus particulièrement retenir notre attention affecte la granulométrie des galets : la suppression des petits éléments engendre, dans le calcul des pourcentages, une déformation de la courbe cumulative, qui est plus redressée dans sa partie terminale vers la droite.

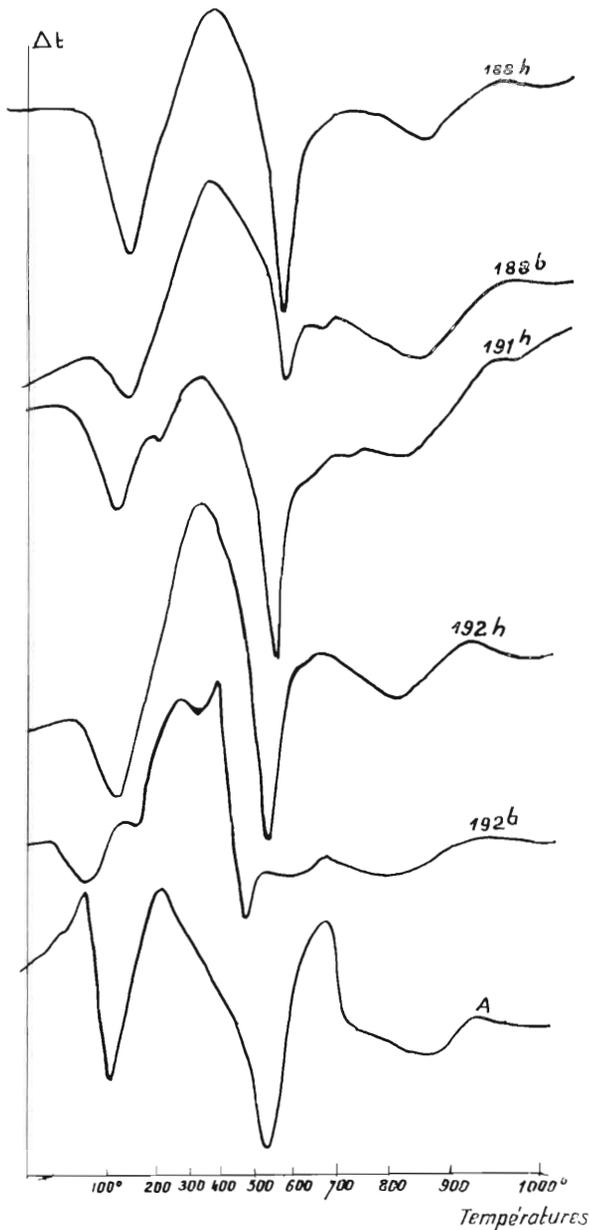


FIG. 28. — Analyses thermiques différentielles.  
Carottages aux stations 188-191-192  
h : partie haute de la carotte,  
b : partie basse de la carotte,  
A : courbe d'une Illite.

Il est donc indispensable de ne pas oublier cette particularité, principalement s'il est nécessaire d'établir des comparaisons entre la granulométrie de galets dragués et de galets mesurés à terre.

**b) Granulométrie des galets.**

Des galets ont été dragués aux stations n<sup>os</sup> 187, 200, 209, 211 et 216, mais les galets dragués à la station n<sup>o</sup> 200 n'étant qu'au nombre d'une dizaine il n'a pas été possible de construire une courbe granulométrique valable.

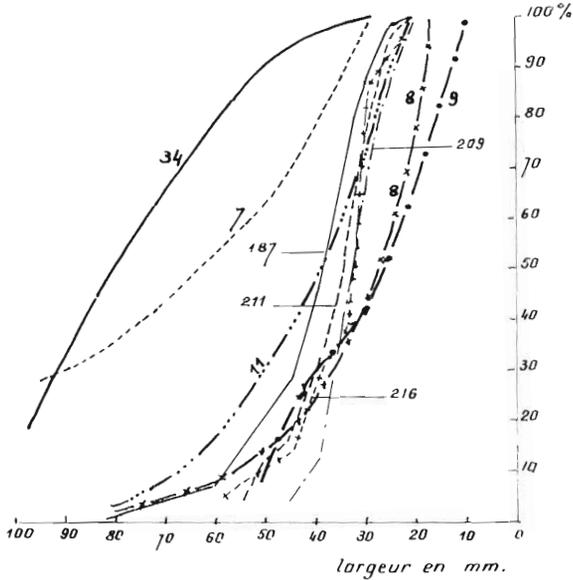


FIG. 29. — Stations n<sup>os</sup> 187-209-211 et 216.  
 Courbes granulométriques cumulatives des galets.  
 N<sup>os</sup> 7. Sainte-Mesmes (S.-et-O.) : éboulés quaternaires.  
 8. Bjorkby (Suède) : roche désagrégée sous la moraine quaternaire.  
 9. Les Moutiers (L.-I.) : remplissage d'une fente de gel.  
 11. Hardeberga (Suède) : fluvioglacière quaternaire.  
 34. Le Crotoy (Somme) : cordon littoral quaternaire.

Les courbes granulométriques des galets des autres stations sont représentées fig. 29.

Avant d'examiner les résultats du graphique il est à noter qu'un nombre important de galets dragués portent des organismes souvent très fragiles ou sont presque totalement couverts de tubes de serpuliers.

Par conséquent ces galets ne sont pratiquement pas déplacés actuellement et leur classement aussi bien que leur façonnement est antérieur à l'époque actuelle.

Les courbes granulométriques sont bien groupées, la dimension du galet moyen est comprise entre 30 et 38 mm pour les 4 formations.

J'ai indiqué sur le même graphique cinq courbes de références extraites du travail de A. CAILLEUX (1947) et reconstruites à la même échelle que mes courbes.

Il apparaît nettement que les courbes granulométriques des galets des Outer Silver Pit s'apparentent à des formations glaciaires ou fluvioglacières mais diffèrent profondément des courbes granulométriques des formations marines (n<sup>o</sup> 34).

**c) Morphométrie.**

Les résultats de l'étude morphométrique des galets sont groupés dans le tableau ci-dessous où figurent pour chaque station : les médianes des indices d'aplatissement et des indices de dissymétrie.

Station N <sup>o</sup>	Médianes des	
	Indices d'aplatissement $\frac{L + 1}{2E}$	Indices de dissymétrie $\frac{AC}{L} \times 1.000$
187	1,88	638
200	(1,75)	(625)
209	1,62	628
211	1,76	660
216	1,72	652

(Mesures de A. GUILCHER et ses élèves, loc. cit. 1957) ont les indices de dissymétrie suivants :

594 - 620 - 625 - 635 - 640 - 646 - 648 - 650 - 663 - 666 - 690.

Pour la station n<sup>o</sup> 200 où seulement une dizaine de galets ont été récoltés, les nombres ont été mis entre parenthèses, ils sont donnés à titre indicatif mais ne seront pas pris en considération dans la discussion des résultats.

A titre de comparaison, je rappellerai que les galets très peu façonnés, fraîchement issus des coulées péri-glaciaires littorales, en rade de Brest

La comparaison de ces derniers résultats avec ceux du tableau précédent montre nettement que les galets des Outer Silver Pit, tout comme ceux de la rade de Brest, n'ont pas acquis un façonnement marin.

#### **d) Lithologie.**

La composition lithologique des galets sera indiquée pour chaque station.

Des organismes vivants : hydraires, tubes de serpuliers, etc... recouvrent souvent la majeure partie des galets. Ils ne seront pas mentionnés dans cette description qui reste purement lithologique.

#### **STATION 187.**

ROCHES ÉRUPTIVES : basalte zéolithique, rhyolite, microdiorite quartzique.

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss à mica noir et à deux micas amphibolite, pyroxénite, schiste métamorphique.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : quartzite, silex auréolé noir, silex auréolé gris, silex non auréolé, grès calcaire, calcaire oolithique, calcaire noir, calcaire sublithographique, grauwacke.

#### **STATION 200.**

ROCHES ÉRUPTIVES : rhyolite, andésite.

ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES : gneiss à microcline, andésite.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : grès micacé psammitique, grès à ciment siliceux tacheté d'hydroxyde de fer, schiste gréseux, grauwacke, silex noir ou gris parfois tacheté.

#### **STATION 209.**

ROCHES ÉRUPTIVES : granite, dolérite, rhyolite.

ROCHE CRISTALLOPHYLLIENNE : gneiss.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : grès à ciment siliceux, quartzite, grès micacé, calcaire, schiste, silex jaunes, gris ou noirs (grande abondance des silex).

#### **STATION 211.**

ROCHES ÉRUPTIVES : granite, rhyolite.

ROCHE CRISTALLOPHYLLIENNE : gneiss.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : quartzite, grès à ciment siliceux, calcaire, schiste, silex jaunes, silex gris ou noir souvent auréolés.

Concrétion calcaire dite « Poupée du loess » (voir fig. 30). Il est important de noter que cette concrétion calcaire, malgré sa fragilité, ne porte pas de trace d'usure, elle n'a donc pas pu subir un transport important.

#### **STATION 216.**

ROCHES ÉRUPTIVES : granite, rhyolite, dolérite.

ROCHE CRISTALLOPHYLLIENNE : micaschiste.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : grès quartzite à ciment siliceux, schiste, calcaire, silex, auréolés ou non.

### **6° Résumé et conclusions.**

La morphologie des Outer Silver Pit, avec ses sillons orientés dans le sens Est-Ouest, s'apparente nettement à un modèle glaciaire ou périglaciaire analogue à celui des Devil's Hole.

La direction des sillons est sensiblement perpendiculaire aux prolongements supposés des grands cours d'eau en provenance du sud et qui se sont épanchés dans la partie méridionale de la Mer du Nord.

Les sédiments qui recouvrent les zones peu profondes de la région sont des galets, des sables grossiers ou des sables dépourvus de fraction grossière.

Les galets ne sont pas déplacés actuellement ou le sont très rarement, car ils sont souvent couverts d'organismes très délicats. Leur façonnement ainsi que leur classement résultent de conditions antérieures que la mer actuelle n'a pas sensiblement modifiées. Les courbes granulométriques et la morphologie de ces galets indiquent qu'ils procèdent de formations glaciaires ou périglaciaires.

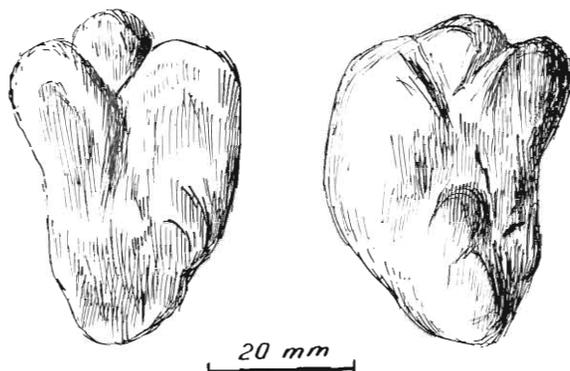


FIG. 30. — Concrétion calcaire dite « Poupée du loess » draguée à la station 211, face et revers.

microscopique a confirmé les résultats de l'analyse granulométrique et montré en outre que ces « vases » étaient dépourvues d'organismes.

La comparaison des courbes granulométriques de ces sédiments complexes avec celles des limons de la Rance a montré qu'elles étaient du même type mais que les sédiments des Outer Silver Pit présentaient une concentration anormale des fins éléments quartzeux.

Il semble, en première approximation, que cette augmentation de la fraction granulométrique 0,060-0,180 mm pourrait être provoquée par une action éolienne ayant partiellement déplacé la fraction très fine du sédiment.

La présence d'une « poupée du loess » à la station 211 serait en accord avec cette hypothèse qui sera discutée d'une façon plus précise dans les conclusions générales.

Je noterai enfin que la partie supérieure des dépôts carottés dans le sillon paraît un peu plus riche en minéraux argileux bien cristallisés, que la partie sous-jacente.

Les sables dépourvus ou non de fraction grossière recouvrent plus ou moins complètement les formations pierreuses. Certains s'apparentent granulométriquement à des sables fluviaux car ce sont des sédiments de courants rapides, comme ceux qui forment les grandes rides bien connues en Mer du Nord (A. GUILCHER, *loc. cit.*, 1951).

Les sillons qui constituent des parties abritées des courants auxquels ils sont perpendiculaires sont revêtus des sédiments complexes très pauvres en argile.

Ces sédiments sont en majeure partie constitués par de petits éléments quartzeux de 0,060 à 0,180 mm. L'examen

## DEUXIEME PARTIE

## MER D'IRLANDE

Des dragages ont été faits en Mer d'Irlande pendant les campagnes du navire « *Président-Théodore-Tissier* » en 1956. Des carottages, avec un carottier Kullenberg, avaient été prévus au programme. Mais, d'une part les fonds « carottables » sont assez rares dans les régions que nous avons parcourues et, d'autre part, lorsque nous avons trouvé des fonds favorables, l'état de la mer n'a pas permis de mettre le carottier à l'eau.

## 1° Position des stations.

## MER D'IRLANDE.

Station N°	Année 1956	Lat. N.	Long. O.-Gr.	Profond. en m
48	17 avril	50°34'	5°47'30"	75
49	17 —	50°36'30"	5°44'	75
50	17 —	50°40'	5°41'	73
51	17 —	50°38'	5°10'	55
53	18 —	50°32'	6°10'	90
58	22 —	51°13'	5°29'	79
65	24 —	51°11'	6°13'	130
67	25 —	50°26'30"	8°05'	130
382	11 août	50°34'	6°28'30"	95
383	11 —	50°53'	6°16'30"	96
384	12 —	51°31'	5°55'	110
385	12 —	52°09'18"	5°33'48"	96
386	12 —	52°50'42"	5°07'30"	87
387	12 —	53°27'30"	4°46'30"	48
388	12 —	53°54'30"	4°14'	48
389	13 —	54°22'	3°37'48"	22
390	13 —	54°30'12"	3°55'	35
391	14 —	54°19'	3°53'48"	34
392	14 —	54°09'48"	3°40'48"	30
393	14 —	54°01'	4°45'	40
394	14 —	53°40'	5°15'	60
395	15 —	53°19'30"	5°43'30"	48
396	15 —	52°39'30"	5°52'	60
397	15 —	52°12'	6°05'	68
398	15 —	51°39'	6°42'	72
399	15 —	51°07'30"	7°19'30"	92

## 2° Granulométrie.

a) *Sédiments grossiers.*

Ce sont des sédiments mal triés. J'ai dû inclure dans ce type sédimentaire tous les échantillons possédant une fraction graveleuse, c'est-à-dire dans lesquels le pourcentage des grains  $> 3$  mm est au moins de 5 %, mais, à la station n° 48, la fraction graveleuse atteint 62 %.

L'étalement des courbes cumulatives montre que le classement des grains peut être très différent suivant les stations. Ainsi, à la station 48, la courbe granulométrique n'est pas très éloignée d'une

droite et par conséquent le classement est assez voisin d'une répartition probabiliste. Par contre, à la station 390 la courbe cumulative présente une inflexion très marquée signalant l'existence de deux stocks granulométriques nettement différenciés.

Cet ensemble de sédiments grossiers correspond très sensiblement au type n° 5 que j'ai défini dans une précédente étude (L. BERTHOIS, 1955). J'ai reporté, sur le graphique des courbes granulométriques de la Mer d'Irlande, l'aire hachurée correspondant au type 5 du Golfe de Gascogne, et l'on constate que les courbes des sédiments présentement étudiés s'inscrivent dans cette aire.

Cependant les courbes des stations 48 et 53 s'en écartent dans la partie de leur tracé correspondant aux graviers, leur fraction grossière est encore plus importante que dans les sédiments du type 5.

Cette constatation ne fait que renforcer les conclusions énoncées dans l'étude citée en référence où j'écrivais à propos du type 5 : « Ces sédiments sont très probablement dus au mélange d'un « dépôt grossier préexistant et d'un apport sableux postérieur plus fin. Mais, dans certains cas, il « semble qu'il y ait eu des remaniements, au moins partiels, qui ont plus ou moins mélangé les deux « stocks granulométriques de telle sorte que leur discrimination est devenue impossible ».

### b) Sables dépourvus de fraction grossière.

Ce sont des sables assez bien triés. ils correspondent sensiblement au type 6 définis dans une étude des sédiments du Golfe de Gascogne (L. BERTHOIS, *loc. cit.*, 1955) mais ils sont en général plus grossiers qu'eux (voir fig. 32).

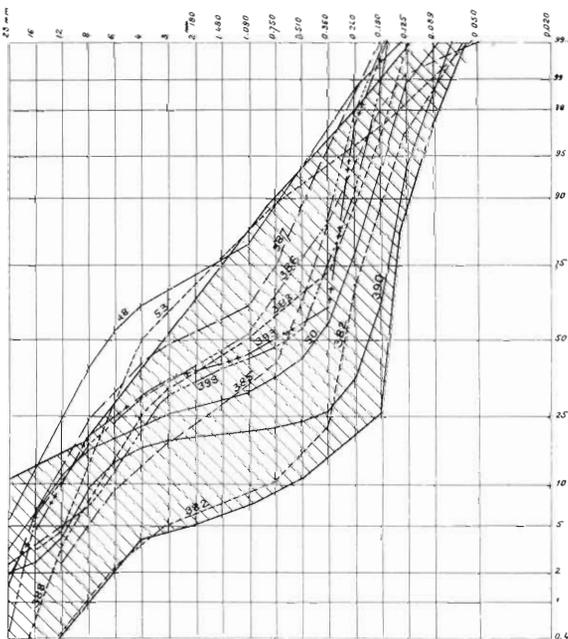


FIG. 31. — Sédiments grossiers de la Mer d'Irlande. La surface hachurée caractérise les sédiments de type 5 définis dans une précédente étude (L. BERTHOIS, 1955).

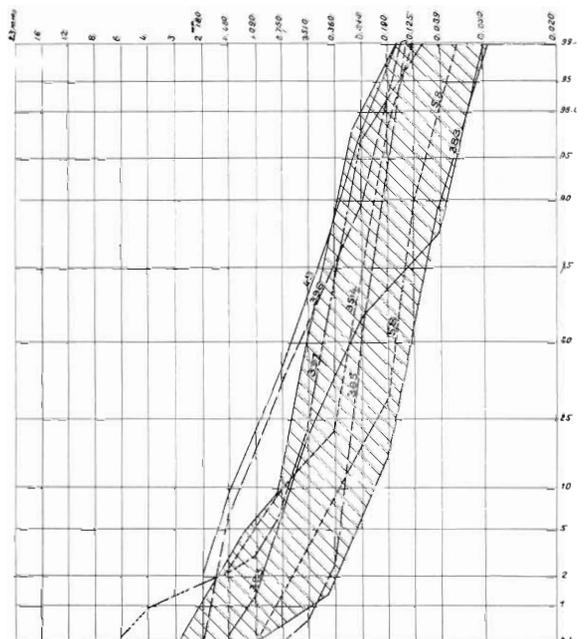


FIG. 32. — Mer d'Irlande : Sables dépourvus de fraction grossière. La surface hachurée caractérise les sédiments du type 6 définis dans une précédente étude (L. BERTHOIS, 1955).

Ce sont des sédiments déplacés par des courants assez rapides pour réaliser une bonne sélection dimensionnelle des grains. Leur ressemblance avec les sédiments du type 6, bien qu'incomplète, implique cependant des conditions de dépôt sous des courants faibles (*loc. cit.*, p. 533).

Ces conditions de triage et de dépôt ne peuvent être réalisées qu'à la faveur de courants de marée dont les renversements du sens de propagation sont séparés par une période d'étalement de durée plus ou moins longue.

C'est précisément cette période d'étalement qui favorise le dépôt des sédiments précédemment triés par les courants.

Cette hypothèse est corroborée par un sondage aux ultra-sons exécuté immédiatement au sud de la station 395. L'étude de cette zone ridée va me permettre de préciser les données précédentes. La bande d'enregistrement du sondage U-S exécuté à l'aide d'un appareil Sadir-Carpentier a été calquée aussi exactement que possible, elle est reproduite fig. 33.

Pour faciliter la description, je la diviserai en 5 sections en allant du Nord au Sud :

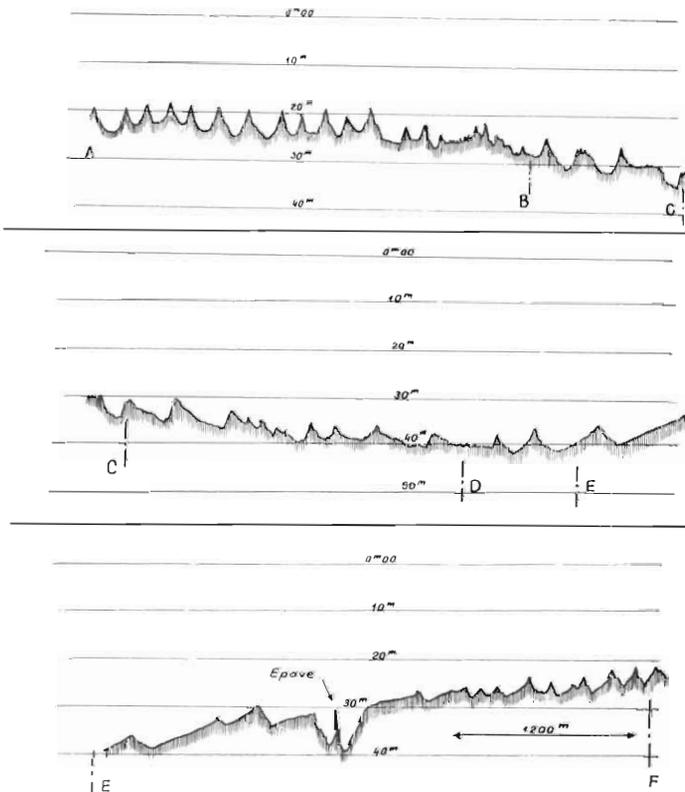


FIG. 33. — Bande de sondage ultra-sons des rides au sud de la station n° 395.

1<sup>re</sup> section A-B : les rides sont quasi symétriques par rapport à l'axe passant par le sommet.

2<sup>e</sup> section B-C : les rides sont légèrement dissymétriques, leur côté abrupt est tourné vers le nord.

3<sup>e</sup> section C-D : les rides sont fortement dissymétriques, leur côté abrupt est encore orienté au nord.

4<sup>e</sup> section D-E : les rides sont symétriques.

5<sup>e</sup> section E-F : les rides sont très fortement dissymétriques dans la partie nord de cette section, leur dissymétrie s'atténue dans la partie sud de la section, mais le côté abrupt est toujours orienté vers le sud.

Une remarque importante doit être faite concernant les dimensions apparentes des rides recoupées par une ligne de sondage : les crêtes des rides peuvent ne pas être rigoureusement parallèles, principalement si l'on considère, comme dans le cas présent, un ensemble assez étendu. Leur disposition en plan constitue un réseau en chicanes avec des lignes de crêtes plus ou moins fortement divergentes.

Il résulte de cette disposition qu'avec une seule ligne de sondage certaines rides seront abordées perpendiculairement aux lignes de crête et par conséquent leur profil transversal ne sera pas déformé. D'autres rides, au contraire, seront sondées suivant une ligne oblique par rapport aux crêtes et par conséquent leur « longueur d'onde » sera augmentée. L'augmentation de la longueur des pentes sera d'autant plus prononcée que la ligne de sondage fera un angle plus aigu avec les lignes de crêtes des rides.

L'amplitude des rides, c'est-à-dire la différence de niveau entre le creux et la crête de chaque ride restera inchangée quelle que soit l'obliquité de la ligne de sondage par rapport à la direction des lignes de crête. L'amplitude des rides observées est de 6 m au maximum.

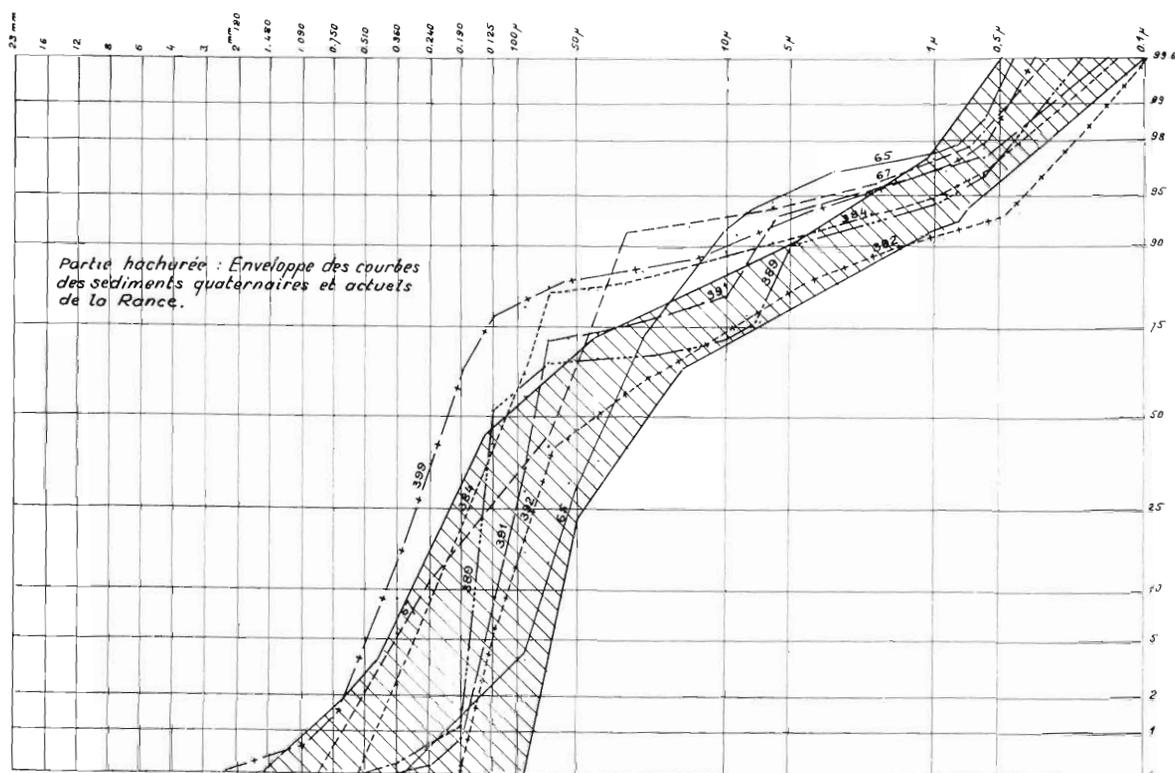
Le sondage a été exécuté dans la nuit du 14 au 15 août, entre 2 h 05 et 2 h 45. Ce moment correspond donc au début de la période de jusant en Mer d'Irlande.

Je rappellerai que lorsque des rides sont soumises à des courants reversibles (dans un estuaire à marée par exemple) les rides changent de sens avec le courant qui les oriente de telle sorte que le front abrupt soit toujours situé vers la direction d'écoulement des eaux.

La modification de la ride, sous l'effet du renversement du courant, débute toujours par la crête, c'est un fait que j'ai souvent observé dans la nature (Estuaires de la Loire et de la Rance) aussi bien que sur modèle réduit.

Enfin, je noterai que dans des conditions fluviales ou océaniques données, les rides de plus grande longueur d'onde sont celles qui se forment à plus grande profondeur. Ainsi, dans l'estuaire de la Loire, les rides des bancs découvrants ne dépassent guère 3 à 4 m tandis que celles de la région de l'Île de Bois, toujours immergées, dépassent 50 mètres (L. BERTHOIS, 1953).

Pour faciliter l'exposé je reprendrai la division en sections, précédemment adoptée.



Dans la section D-C les rides voisines de D sont en cours d'évolution, leur crête est déjà considérablement élargie, mais les rides voisines du point C, situées à contre-pente du courant, ne seront atteintes que plus tardivement, leur côté abrupt est toujours orienté vers le nord par l'action du courant de flot.

Dans la section C-B, où le fond continue à se relever, les rides ont déjà subi un début d'évolution, leur dissymétrie s'est atténuée.

Dans la section B-A, où les crêtes des rides atteignent seulement 19 m de profondeur, la transformation est encore plus complète et presque toutes les rides sont symétriques.

**e) Sédiments complexes.**

Les courbes granulométriques des sédiments complexes de la Mer d'Irlande les apparentent nettement aux limons de soli-fluction de la Vallée de la Rance et à leurs produits de lessivage.

Cependant, les sédiments de la Mer d'Irlande renferment parfois une plus grande proportion de petits éléments quartzeux que les limons de la Vallée de la Rance. Par contre, la fraction d'éléments < 0,010 mm qui est comprise entre 30 et 20 % dans les limons de la Vallée de la Rance varie de 30 à 6 % dans les sédiments complexes de la Mer d'Irlande (voir fig. 34).

**d) Aires de répartition des sédiments.**

Les points de prélèvement sont beaucoup trop éloignés les uns des autres pour qu'il soit possible de délimiter des aires de répartition des types sédimentaires qui viennent d'être décrits.

Je me bornerai donc à signaler les grands traits de distribution :

Il existe au nord de la pointe de Lands End une zone assez étendue, couverte de sédiments grossiers, sauf à la station n° 49 où ce sont des sables dépourvus de fraction grossière qui ont été dragués.

A l'entrée du Canal de Bristol, ce sont les sédiments fins ou les sédiments complexes qui dominent.

Les stations situées à l'est de la Mer d'Irlande jusqu'au sud de l'île de Man ont fourni des sédiments grossiers. Au contraire, les stations situées à proximité de la côte irlandaise ont permis de draguer des sables dépourvus de fraction grossière.

Enfin, entre la côte anglaise et l'île de Man, ce sont les sédiments de type complexe qui dominent.

Station N°	Profondeur en m	Diamètre moyen en mm	N° ‰
65	130	0,035	0,160
67	130	0,065	0,080
384	110	0,110	0,070
389	22	0,125	0,080
391	34	0,082	0,060
392	30	0,040	0,070
399	92	0,220	0,060

**3° Dosages d'azote total.**

Des dosages d'azote total ont été faits sur les sédiments complexes; les résultats sont donnés dans le tableau ci-contre.

La station 65 située approximativement dans l'axe du Canal de Bristol a fourni des sédiments beaucoup plus riches en azote total que toutes les autres stations

de la Mer d'Irlande. On pourrait être tenté d'y voir un enrichissement par les eaux continentales

poluées provenant du Canal de Bristol. Toutefois, les stations n<sup>os</sup> 389, 391 et 392 situées beaucoup plus près de la côte anglaise sont notablement moins riches en azote total.

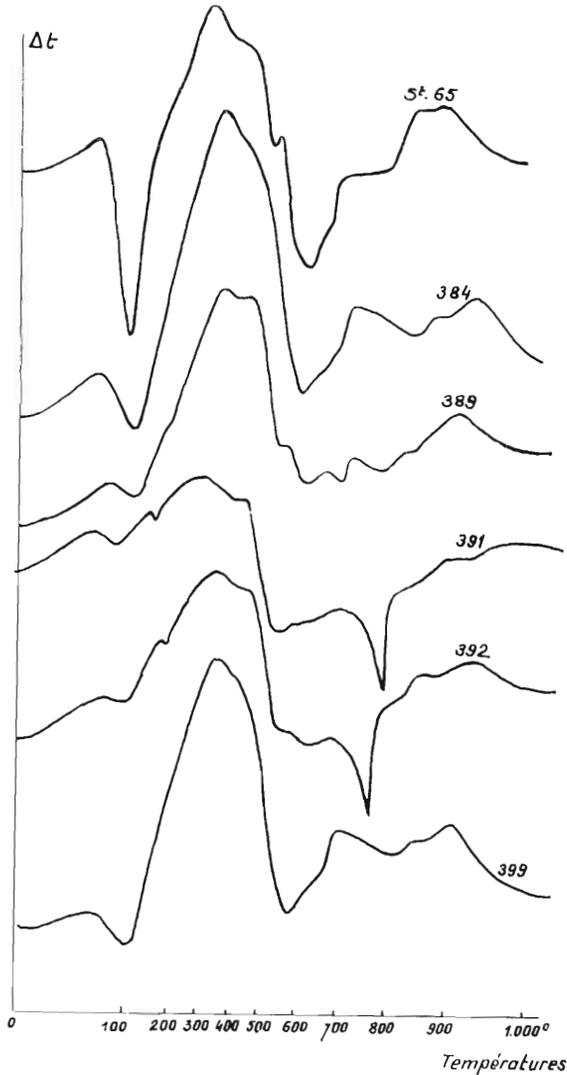


Fig. 35.

Je noterai enfin que les stations 384, 399 et 67 qui sont disposées en arc de cercle au nord-ouest de la station 65 ont également des teneurs beaucoup moins élevées en azote total que la station du point central.

#### 4° Analyses thermiques différentielles.

Les résultats des analyses thermiques différentielles n'offrent qu'un intérêt restreint, les sédiments analysés sont en grande partie constitués de produits mal cristallisés qui ne peuvent pas être identifiés.

Les minéraux identifiables sont les suivants : Chlorite, Oligiste, Montmorillonite (?), Illite (voir fig. 35).

#### 5° Etude des galets.

Des galets ont été dragués dans plusieurs stations. Ils sont accompagnés de quantités variables de sédiments plus fins et les remarques que j'ai faites lors de l'étude des échantillons des Outer Silver Pit sont applicables ici :

Les stations où des galets ont été dragués sont les suivantes :

- Station 387 avec des sédiments grossiers.
- 388 — — — —
- 386 — — — —
- 385 — — — —
- 393 — — — —
- 396 avec des sables dépourvus de fraction grossière.
- 397 — — — —
- 398 avec des sédiments grossiers.

Les galets sont très souvent couverts d'organismes vivants; ils ne sont donc pas déplacés ou le sont rarement.

**a) Granulométrie.**

Les courbes granulométriques s'apparentent aux courbes granulométriques de formations glaciaires ou fluvio-glaciaires. Toutefois deux courbes (n<sup>os</sup> 393 et 396) font exception à cette règle (voir fig. 36). Les galets de ces deux stations montrent en effet des courbes cumulatives nettement moins hétérométriques que les autres. La station 393 est située près de la pointe sud de l'Île de Man et la station 396 à l'est de la côte irlandaise.

Il est à noter que la granulométrie des galets de ces deux stations s'apparente au type fluvial plutôt qu'au type fluvio-glaciaire qui a été défini précédemment (voir fig. 29).

**b) Morphométrie.**

Les mesures morphométriques n'ont porté que sur les indices d'aplatissement. Les médianes des valeurs de ces indices sont indiquées ci-dessous :

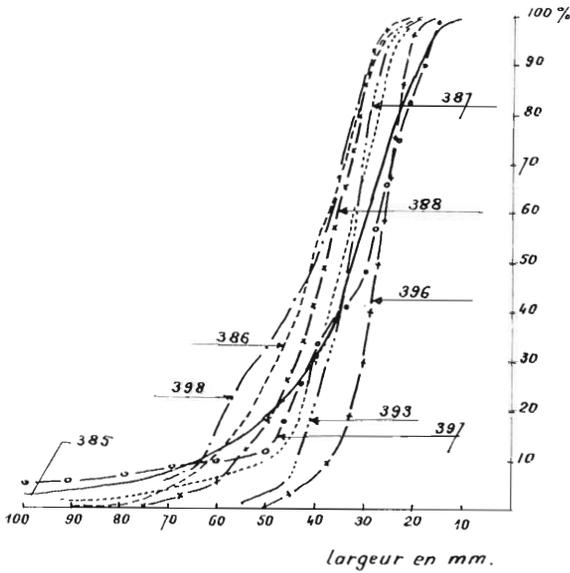


FIG. 36.

Station	$\frac{L + 1}{2E}$
385	1.80
386	1.84
387	1.70
388	1.78
393	2.00
396	1.70
397	2.05
398	1.84

A titre de comparaison, les galets très peu façonnés des Outer Silver Pit qui possèdent des indices de dissymétrie supérieurs à 600 ont les indices d'aplatissement suivants :

1,62 — 1,72 — 1,75 — 1,76 — 1,88

Je noterai également que les galets observés à Vikhamarlökka, au fond du fjord de Trondheim (Norvège) où ils sont fraîchement dégagés de la moraine ont des indices d'aplatissement compris entre 1,75 et 2,10. Il en est de même des galets morainiques de Sjölyls (Norvège) (L. et C. BERTHOIS, 1952).

En définitive, les galets dragués en mer d'Irlande s'apparentent par leur granulométrie et leur morphométrie à des formations glaciaires ou péri-glaciaires légèrement remaniées. Mais ce faible remaniement, surtout apparent dans la granulométrie des galets des deux stations n<sup>os</sup> 393 et 396, paraît antérieur à la période actuelle.

**c) Lithologie des galets.**

**STATION 385.**

- ROCHES ÉRUPTIVES ET MINÉRAUX : basalte, dolérite, quartz.
- ROCHES SÉDIMENTAIRES : grès, quartzite, grès à ciment ferrugineux.
- Nombreux organismes fixés sur les galets.

**STATION 386.**

- ROCHES ÉRUPTIVES : dolérite, microgranite, basalte, amphibolite.
- ROCHES SÉDIMENTAIRES : quartzite, grès à ciment siliceux.

**STATION 387.**

ROCHES ÉRUPTIVES : dolérite, basalte, microgranite, porphyre rouge, porphyre vert, granite.

ROCHES MÉTAMORPHIQUES : schiste métamorphique, quartz filonien.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : grès à ciment siliceux, grès avec filonnet de jaspe rouge, calcaire blanc, calcaire gris clair, calcaire à silex, schiste, grès rouge.

**STATION 388.**

ROCHES ÉRUPTIVES : granite, basalte, porphyre rouge.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : grès rouge, grès gris clair à ciment siliceux.

**STATION 393.**

ROCHES ÉRUPTIVES ET MINÉRAUX : granite, basalte, dolérite, microgranite, quartz filonien.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : grès à ciment siliceux, gris ou jaune foncé, quartzite, grès rouge, schiste, silex auréolé.

**STATION 396.**

ROCHES ÉRUPTIVES : granite, basalte, amphibolite.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : quartzite, grès à ciment siliceux, grès rouge, silex.

**STATION 397.**

ROCHES ÉRUPTIVES : basalte, granite.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : quartzite, grès à ciment siliceux, grès rose avec filonnets quartzeux, schiste gréseux vert.

**STATION 398.**

ROCHES ÉRUPTIVES ET MINÉRAUX : basalte, granite, amphibolite, quartz.

ROCHES SÉDIMENTAIRES : quartzite, grès à ciment siliceux, grès rouge et grès verdâtre, grès ferrugineux jaune foncé, silex, calcaire perforé par des clionnes.

*En résumé* : la composition lithologique est très monotone et il n'existe aucune différence fondamentale entre la composition lithologique des galets des stations situées près de la côte anglaise et celles situées près de la côte irlandaise.

TROISIÈME PARTIE

**RESUME ET CONCLUSIONS GÉNÉRALES**

**MER DU NORD**

La morphologie du talus du plateau continental de la région du Møre-Romsdal étudiée par HOLTEDAHL est attribuée par cet auteur à un système de fractures marginales isolant des voussoirs plus ou moins basculés.

Dans la région des Devil's Hole, la morphologie des sillons a été attribuée par J. FURNESTIN à un modèle glaciaire, tandis que BEAUGÉ reprenant une idée de GREGORY avait émis l'hypothèse d'un delta d'un grand cours d'eau quaternaire.

Les données sédimentologiques précédemment développées conduisent à abandonner l'hypothèse de BEAUGÉ et confirment celle de J. FURNESTIN.

Dans la région des Outer Silver Pit la morphologie est beaucoup moins accusée que dans les Devil's Hole, les sillons n'atteignent que les isobathes de 80-90 mètres alors qu'ils dépassent 200 mètres dans cette dernière région. Cependant l'orientation Est-Ouest des sillons des Outer Silver Pit, perpendiculaires aux courants marins actuels et au tracé présumé des grands cours d'eau venus du Sud militent en faveur d'une origine autre que fluviale.

Les comparaisons sédimentologiques qui peuvent être établies entre les sédiments des Outer Silver Pit, ceux des Devil's Hole et des formations périglaciaires françaises permettent d'attribuer à ces dépressions une origine relevant d'une intervention glaciaire.

Dans les trois régions principalement étudiées les sédiments comprennent :

1° Des galets dont le façonnement est très peu marqué et ne porte pas de stigmates d'une intervention marine. La granulométrie de ces galets témoigne de leur origine glaciaire ou fluvio-glaciaire.

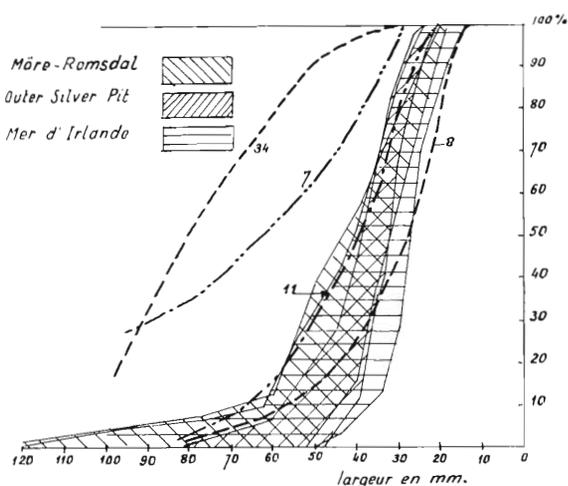


FIG. 37. — Granulométrie des galets de Möre-Romsdal, Outer Silver Pit et Mer d'Irlande. Courbes comparatives d'après A. CAILLEUX (loc. cit. 1947).

- 7. Sainte-Mesmes (S.-et-O.) : éboulis quaternaires.
- 8. Björkby (Suède) : roche désagrégée sous la moraine glaciaire.
- 11. Hardeberga (Suède) : fluvio-glaciaire quaternaire.
- 34. Le Crotoy (Somme) : formation marine, cordon littoral quaternaire.

A Möre-Romsdal, la présence de silex, déjà observée par HOLTEDAHL et que j'ai également constatée pose un problème d'origine et de transport. Le savant norvégien a pensé que les silex, entraînés par des glaces flottantes pouvaient provenir de la région danoise.

Un argument favorable à cette hypothèse est l'abondance des silex dans certains dragages des Outer Silver Pit. Mais, la répartition des silex vers le Nord aurait besoin d'être précisée avant de conclure avec certitude à ce sujet.

2° Les sédiments grossiers comportent une fraction graveleuse qui paraît souvent avoir été déposée antérieurement à la période actuelle.

Dans la région des Tanners Hill Ground, en particulier, la sédimentation paraît s'être faite en deux temps, avec au deuxième temps une addition de la fraction sableuse plus fine. Cette seconde période pouvant être actuelle ou sub-actuelle.

Pour me permettre de comparer les galets de Möre-Romsdal, trop peu abondants dans certaines stations, avec ceux des autres régions, j'ai groupé les galets de plusieurs stations voisines, situées à même profondeur, en une seule courbe. J'ai pu ainsi construire 5 courbes.

L'aire enveloppant ces courbes granulométriques est représentée (fig. 37). J'y ai superposé celles des Outer Silver Pit et de la mer d'Irlande.

Ce graphique montre que les galets de Möre-Romsdal sont nettement du type glaciaire. Ceux des Outer Silver Pit mieux triés et à moins forte hétérométrie s'apparentent plutôt au fluvio-glaciaire. Enfin les dépôts de la Mer d'Irlande, plus complexes, et dont les courbes sont assez dispersées présentent les 2 types précédents, mais parfois modifiés par l'action marine.

Je noterai enfin, comme l'a déjà fait HOLTEDAHL que ces galets sont fréquemment couverts d'organismes fragiles et que par conséquent ils ne sont pas déplacés actuellement ou le sont rarement ce qui implique que leur façonnement n'est pas dû aux phénomènes actuels.

La lithologie de ces galets met en évidence une prédominance des roches locales.

Ces dépôts grossiers sont souvent associés à des galets.

3° Les sédiments complexes comportent : une fraction sableuse accompagnée d'une quantité variable d'éléments quartzeux parfois très fins et une fraction argileuse toujours très réduite.

Ces sédiments gisent sur les pentes du talus du plateau continental dans la région de Möre-Romsdal et dans les creux des sillons aux Devil's Hole et aux Outer Silver Pit.

L'examen microscopique de plaques minces faites dans les carottes provenant des Outer Silver Pit a montré que ces « vases » étaient de nature presque exclusivement minérale. Il a confirmé les résultats de l'analyse granulométrique décelant une fraction quartzreuse de 0,180 mm à 0,060 mm extrêmement importante et pouvant atteindre 83 % de l'ensemble aux Outer Silver Pit.

J'ai groupé sur la figure 38 les enveloppes des courbes granulométriques de ces sédiments.

L'examen de ces aires montre que les courbes des sédiments complexes de Möre-Romsdal couvrent une surface étendue et par conséquent présentent des variations granulométriques importantes.

Les sédiments des Devil's Hole offrent déjà une meilleure sélection.

Mais la sélection atteint son maximum dans les sédiments des Outer Silver Pit où la concentration maximum du quartz 0.180 — 0.060 mm a été observée.

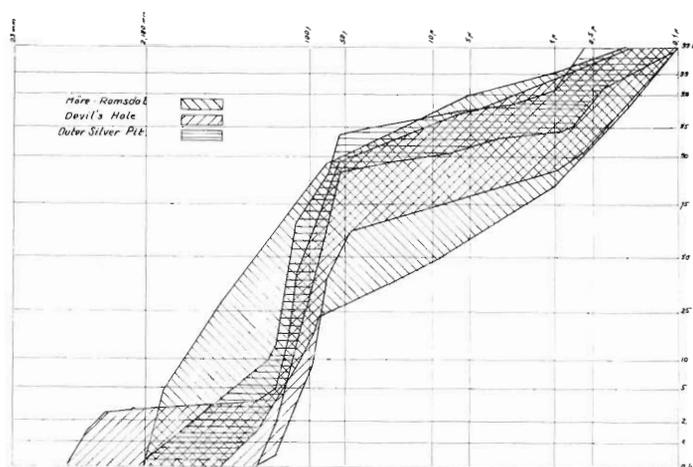


Fig. 38.

Il m'a paru intéressant de rechercher la cause de cette concentration en fins éléments quartzeux qui se manifeste par des écarts de plus en plus prononcés avec les courbes des formations quaternaires de la Vallée de la Rance prises comme élément de comparaison (comparer entre elles les figures : 8, 18 et 25).

Pour étudier cette question, j'ai d'abord calculé :

1° Une courbe moyenne générale (courbe 1) des sédiments complexes des Outer Silver Pit (fig. 25) abstraction faite de la courbe 188 a (Voir le procédé de calcul dans le paragraphe consacré aux Outer Silver Pit).

2° Une courbe moyenne générale des limons de la Rance (fig. 7).

La comparaison de ces deux courbes (1 et 2 fig. 39) confirme que les sédiments des Outer Silver Pit ne diffèrent des limons de la Rance que par leur teneur en parties fines.

Si je suppose qu'un agent d'érosion enlève une partie de la fraction fine des limons de la Rance et réduise de 25 % à environ 7 % la fraction < 0.020 mm, je puis calculer et construire une nouvelle courbe granulométrique répondant à ces conditions (courbe 3, fig. 38).

Il apparaît immédiatement que cette courbe est quasi identique à celle des sédiments carottés dans les sillons des Outer Silver Pit.

Ce calcul est valable car, dans les deux cas les roches mères des formations sont éruptives ou cristallophylliennes et l'on peut penser que les limons formés par leur désagrégation possèdent des caractères identiques. D'autre part, l'uniformité granulométrique des limons du nord de l'Europe est un fait suffisamment connu et vérifié pour qu'il soit inutile d'insister.

Car, le seul agent de transport capable de provoquer l'ablation de la fraction très fine d'un sédiment sans déplacer la fraction moyenne est le vent.

C'est donc à une érosion éolienne qu'il faut attribuer la concentration granulométrique observée dans la gamme dimensionnelle 0.180 à 0.060 mm. Cette hypothèse est confirmée par la récolte d'une poupée du lœss, sans trace d'usure, à la station n° 211 des Outer Silver Pit,

En résumé, les sédiments complexes de Möre-Romsdal sont du type des limons de la Rance sans modification.

Les sédiments des Devil's Hole sont encore du type des limons de la Rance avec une action éolienne réduite ayant provoqué l'ablation d'une faible partie de la fraction fine <0,020 mm.

Les sédiments des Outer Silver Pit sont également du type des limons de la Vallée de la Rance mais ils sont modifiés par une ablation éolienne importante.

Ainsi, les sédiments de la Mer du Nord ont subi des érosions éoliennes d'autant plus intense qu'ils occupent une situation plus méridionale.

En définitive, la grande glaciation scandinave Saale-Riss a recouvert presque toute la Mer du Nord et c'est probablement elle qui a apporté, soit directement par ses moraines, soit par ses torrents sous glaciaires, une grande partie des matériaux qui en forment le substrat sédimentaire.

L'interglaciaire Risse-Wurm qui est une période de transgression semble avoir relativement peu affecté les dépôts antérieurs car l'intervention marine n'a pas laissé de stigmates apparents permettant de l'identifier avec certitude.

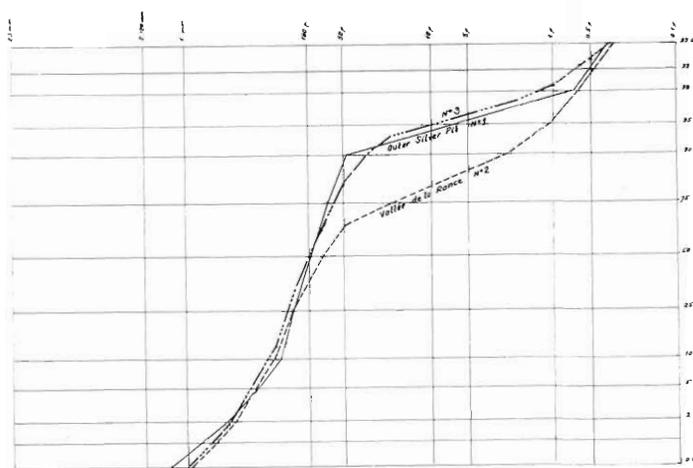


FIG. 39.

- 1 Courbe moyenne générale des sédiments complexes des Outer Silver.
- 2 Courbe moyenne générale des limons de la vallée de la Rance.
- 3 Courbe des limons de la vallée de la Rance, avec réduction à 7 % de la fraction granulométrique <0,020 mm.

Pendant la glaciation Vistule-Wurm, la Mer du Nord a été à la fois exondée et sans doute libre de glace (A. GUILCHER, *loc. cit.*, 1951). Pendant cette période l'érosion éolienne s'est probablement exercée avec intensité.

L'étude des sédiments permet de préciser que dans la zone nord, restée plus longtemps sous l'influence glaciaire l'érosion éolienne a été peu marquée. Ses effets apparaissent de plus en plus nettement à mesure que les sédiments conservés occupent une situation plus méridionale; ce qui s'explique aisément puisqu'ils ont été libérés plus tôt de l'influence glaciaire.

Cependant, durant l'exondation de la Mer du Nord, les grands fleuves tels que le Rhin, l'Elbe, la Vesper, etc... ont traversé la Mer du Nord actuelle pour rejoindre l'océan. Il est très probable qu'ils se sont largement étendus sur la vaste plaine qui leur était offerte.

Il semble que les apports fluviaux se soient en majeure partie déposés dans la région très méridionale de la Mer du Nord, puisque des sillons transversaux comme les Outer Silver Pit n'ont pas été comblés et que les limons qui en occupent le fond n'ont été qu'assez faiblement modifiés.

Ceci ne peut s'expliquer que par un large étalement des cours d'eau et une division en de multiples bras dont la compétence individuelle se serait trouvée atténuée. Mais, les matériaux que ces fleuves ont pu apporter en Mer du Nord étaient en majeure partie ceux qui avaient été façonnés par la gélivation des roches et les destructions du substratum par le passage des glaciers de la chaîne alpine ou de ses contreforts avancés.

Des recherches, qui sont encore en cours, m'ont appris que le façonnement des grains ou la modification d'un façonnement antérieur nécessitait un très long transport par l'eau (L. BERTHOIS et J. PORTIER, 1956, 1957).

Par conséquent, il est normal de penser que les matériaux apportés du sud avaient, comme ceux venant du nord une morphométrie fluvio-glaciaire.

J'ai déjà indiqué que la granulométrie évolue plus rapidement que le façonnement et qu'elle peut porter l'empreinte d'un agent de transport bien avant que la forme antérieurement acquise soit complètement effacée.

C'est pourquoi la granulométrie des sédiments étudiés est de type plus nettement glaciaire vers le nord (Møre-Romsdal) que vers le sud où elle prend, en particulier aux Outer Silver Pit un caractère fluvio-glaciaire plus accusé.

C'est peut être aussi à des remaniements par les grands cours d'eau qu'il faut, au moins partiellement, attribuer la granulométrie de type fluviale de la région des Outer Silver Pit.

Mais, il ne faut pas perdre de vue que sur des fonds d'aussi faible profondeur que certaines parties de la région des Outer Silver Pit les courants marins actuels interviennent à leur tour.

### MER D'IRLANDE

Les sédiments du fond de la Mer d'Irlande se composent essentiellement :

1<sup>o</sup> De formations pierreuses constituées par des galets dont la granulométrie est en général assez hétérométrique.

Sauf dans les stations 393 et 396, où leur classement rappelle celui des dépôts fluviaux, les dépôts à galets ont plutôt des caractères granulométriques et morphométriques rappelant ceux des formations glaciaires ou périglaciaires.

Ainsi, dans les stations n<sup>os</sup> 385, 386, 387, 388, 397 et 398 les galets dragués ont des caractères morphométriques très voisins de ceux des dépôts littoraux du fond des fjords de Norvège où les éléments des moraines quaternaires sont incorporés à la sédimentation actuelle par lessivage de leur matrice limoneuse. Dans ces conditions particulières, le remaniement est réduit au minimum et l'incorporation au domaine marin se fait sans modification du façonnement antérieur.

2<sup>o</sup> Des sables grossiers sont associés à ces galets. Leurs courbes granulométriques très complexes montrent qu'ils sont probablement dus au mélange d'un dépôt grossier préexistant et d'un apport sableux postérieur plus fin. Des remaniements partiels se produisant actuellement mélangent sans doute plus ou moins les deux stocks granulométriques.

3<sup>o</sup> Les sables dépourvus de fraction grossière forment, dans certaines régions des dunes de grande amplitude. Ils sont déplacés par les courants actuels qui en assurent le triage.

Ces sables colmatent parfois des dépôts de galets (stations 396 et 397).

4<sup>o</sup> Les sédiments complexes ne sont pas, comme en Mer du Nord cantonnés dans des zones déprimées nettement délimitées, cependant, en dehors de la zone côtière, ils existent principalement sur des fonds voisins ou supérieurs à 100 m.

Ces sédiments s'apparentent aux limons des formations quaternaires ou à leurs produits de lessivage. Leur faible teneur en minéraux argileux bien cristallisés le confirme et montre qu'ils sont principalement formés de très petits éléments de quartz.

En dernière analyse : l'étude sédimentologique des dépôts de la Mer du Nord et de la Mer d'Irlande montre l'influence prédominante de la sédimentation quaternaire qui en a fourni les éléments essentiels : galets, graviers, sables et limons.

L'action de la sédimentation actuelle ne peut à elle seule permettre d'interpréter la répartition des sédiments et leur variété. Il est constamment nécessaire de faire appel aux interventions plus ou moins directement liées aux phénomènes glaciaires pour expliquer d'une manière cohérente la nature et la distribution des sédiments.

BIBLIOGRAPHIE

- AGAFONOFF (V.). — 1931. Sur quelques sols latéritiques rouges et jaunes du Brésil. — *Rev. Bot. appl. et d'agric. tropicale*, **11** (118), p. 409-415.
- AGAFONOFF (V.) et BRIOUX (Ch.). — 1931. Etude sur les sols de limon de la Seine-Inférieure et en particulier sur les limons des plateaux de Bosseville-Bonsecours. — *Ann. Agro.*, p. 1-12.
- BAAK (J. A.). — 1936. Regional petrology of the Southern North Sea. — Thèse Sc. Leyde, Wageningen. 128 p.
- BEAUGÉ (L.). — 1937. Relevés hydrographiques. — *Rev. Trav. Off. Pêches Marit.*, **10**, p. 117-131.
- BERTHOIS (L.). — 1949. Remarques sur la Statistique granulométrique dans l'étude des sables. — *Circul. C.R.E.O.R.T.B.*, n° 3, p. 1-25.
- » — 1950. Drague à éléments multiples. — *Bull. Soc. Scient. Bret.*, **25**, p. 63-64.
- » — 1950. Méthode d'étude des galets. — *Rev. géomorph. Dynamique*, **1**, p. 199-225.
- » — 1954. Granulométrie des sédiments dans les rides marines et fluviales. — *Rev. géom. Dynamique*, n° 4, p. 164-178.
- » — 1955. Contribution à l'étude de la sédimentation et de la géologie sous-marine dans le golfe de Gascogne. — *Rev. Trav. Inst. Pêches Maritimes*, **19**, (n° 4), p. 501-579.
- BERTHOIS (L. et C.). — 1951-1952. Recherches sur les méthodes de prélèvement de l'échantillon moyen d'un sable. — *Annales Ec. Nat. d'Agric.*, **14**, p. 63-93.
- » — Les galets des cordons littoraux actuels en Norvège méridionale. — *Bull. Soc. géol. de France*, 6<sup>e</sup> Sér., **2**, p. 19-26.
- » — 1954. Contribution à l'étude des formations sableuses du littoral de la Norvège méridionale. — *Bull. C.R.E.O.*, **1** (4), p. 1-14.
- » — 1954-1955. Etude de la sédimentation dans l'estuaire de la Rance. — *Bull. Labor. Marit. Dinard*, fasc. 40, p. 4-15, et fasc. 41, p. 3-18.
- BERTHOIS (L.) et FURNESTIN (J.). — 1938. Etude des sédiments dragués par le « Président-Théodore-Tissier ». — *Rev. Trav. Off. Pêches Marit.*, **11** (3), p. 381-415.
- BERTHOIS (L.) et PORTIER (J.). — 1956. Recherches expérimentales sur le mode d'usure des graviers. — *Comptes rendus Ac. des Sc.*, **243**, n° 22, p. 1778-1780.
- » — 1957. Recherches expérimentales sur le façonnement des graviers de quartz. — *C. R. Ac. Sci.*, **244** (3), p. 280-283.
- BOISEN-JENSEN (P.). — 1915. Studies concerning the organic matter of Sea-bottom. — *Rep. Dan. Biol. Stat.*, **22**. Copenhagen.
- BOURCART (J.) et FRANCIS-BŒUF (Cl.). — 1942. La vase. — *Act. Scient. et Ind.*, n° 927, p. 1-67.
- CAILLEUX (A.). — 1945. Distinction des galets marins et fluviaux. — *Bull. Soc. géol. France*, 5<sup>e</sup> série, **5**, p. 375-404.
- » — 1947. Granulométrie des formations à galets. — *Sess. extraord. des Soc. belges de Géol.*, sept. 1946, p. 91-114.
- COOPER (L. H. N.). — 1948. A submerged ancient cliff near Plymouth. — *Nature*, **161**, p. 280.
- DOEGLAS (J.) et BREZESINSKA SMITHUYSEN W. C. — 1941. De interpretatie van de resultaten van Korrelgrote Analysen. — *Geol. in. mijnbouw*, 3<sup>e</sup> série, n° 8, p. 273-296.
- DUPLUS (J.). — 1952. Point des connaissances actuelles sur le potentiel d'oxydo-réduction des sols. — *Bull. A.F.E.S.*, n° 33, p. 1-18.
- FURNESTIN (J.). — 1939-1943. Remarques sur la géologie sous-marine du plateau continental de la mer Celtique et de la mer du Nord. — *Rev. Trav. Off. Pêches Marit.*, **13**, p. 479-489.
- GREGORY (J. W.). — 1931. A Deep Trench on the Floor of the North Sea. — *Geographical J.*, **77** (6), p. 548-551.
- GUILCHER (A.). — 1951. La formation de la mer du Nord, du Pas-de-Calais et des plaines marines environnantes. — *Rev. de Géogr. de Lyon*, **24** (3), p. 311-329.
- » — 1957. Chronique océanographique — *Norvège*, n° 13, p. 103-133.
- GUILCHER (A.), VALLANTIN (P.), AUGRAND (J. P.) et GALLOY (P.). — 1957. Les cordons littoraux de la rade de Brest. — *Bull. Inform. C.O.E.C.*, **9** (1), p. 21-54.
- GÜMBEL (W. VON). — 1886. Geologisch mineralogische Untersuchung der Meeresgrundproblem aus der Nordsee; in: *Die Ergebnisse der Uutersuchungsfahrten. S.M.S. K. Bt. « Drache » in der Nordsee in den Sommern 1881, 1882 und 84*, Berlin 1886, p. 23-47.
- HOLTEDAHL (H.). — 1940. The submarine relief of the Norwegian Coast. — *Norske Videnskaps akademi. Meddelsen*, p. 1-43.
- » — 1955. On the Norwegian continental terrace, primarily outside Møre-Romsdal its geomorphology and sediments. — *Univ. i Bergen. Naturvit. rekke* n° 14, 209 p., 3 pl., 52 fig.
- JARKE (J.). — 1956. Der Boden der südlichen Nordsee. Eine neue Bodenkarte der Südlichen Nordsee — *Sonder. Deutsche Hydrogr. Zeitschrift*, **9** (1), p. 1-9

- KULLENBERG (B.). — 1951. On the salinity of the water contained in marine sediments. — *Meddel. fran Oceanografiska Inst. I Göteborg*, n° 6, p. 4-37.
- KUPPERS (E.). — 1906. Physikalische und Mineralogische geologische Untersuchung von Bodenproblem aus Nord- und Ostsee, in *Wiss. Meeresunters. Abt. Kiel*, **10**, p. 1-11.
- LEWIS (R. G.). — 1935. The orography of the North Sea Bed. *Geographical J.*, **36** (4), p. 334-341.
- MAARLEVELD. — 1953. Grindhoudende Midden Pleistocene Sedimenten. These geologische Stichting, série C. VI. n° 6.
- MERIAUX (S.). — 1954. *Ann. Inst. Nat. Recherches agron.*, série A, n° 1, p. 5-59.
- MUNIER (P.) et RIVIÈRE (A.). — 1948. Contribution à l'étude des argiles utilisées en céramique. — *Pub. Inst. Céram. franç.*, n° 17, fasc. 11.
- ORCEL (J.). — 1929. Complément à l'analyse thermique des chlorites. — *Bull. Soc. franç. Minér.*, **52** (7-8), p. 194.
- PRATJE (O.). — 1924. Alte und junge sedimente am grunde der Nordsee. — *Deutsch. Geol. ges.*, **76**, p. 156-164
- » — 1931. Die Sedimente der Deutsche Bucht. — *Wiss. Meeresunters. Abt. Helgoland*, **48** (6).
- » — 1931. Einführung in die Geologie der Nord- und Ostsee (Entwicklung Formen, Küsten und Sedimente). — *Die Tierwelt der Nord- und Ostsee*, Lief. 20, **44**, p. 21, fig.
- » — 1951. Die Deutung der Steingrunde in der Nordsee als Endmoränen. — *Deutsche Hydrograph. Zeitschrift*, **4**.
- TRICART (J.) et SCHAEFFER (R.). — 1950. L'indice d'éroussé des galets. Moyen d'étude des systèmes d'érosion. — *Rev. Géomorphol. Dynamique*, **1**, p. 151-179.
- VAN VEEN (J.). — 1935. — Sand waves in the North Sea. — *Hydrographie Rev.*, **12** (4), p. 21-29.
- WHITEHEAD (H.) et GOODCHILD (H. H.). — 1909. Some Notes on moorlog a peaty deposits from the Dogger Bank in the North Sea. — *Essex Naturalist*, **1-2**, p. 51.