

# CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE QUELQUES SÉDIMENTS MARINS ET DE RÉCIFS D'HERMELLES DU MONT SAINT-MICHEL

par G. LUCAS et P. LEFÈVRE

## INTRODUCTION

Dans une note à l'Académie des Sciences, GALAINE et HOULBERT (29) ont souligné l'importance des récifs édifiés dans la baie du Mont Saint-Michel, par les Hermelles (*Sabellaria alveolata*). Un bon résumé de l'histoire de ces constructions nous apprend notamment que, dès 1832, AUDOIN et MILNE-EDWARDS connaissaient, « sur les grèves du Mont Saint-Michel et au nord-est du Pas-aux-Bœufs, des bancs de sable ou des espèces d'îlots » formés de tubes d'Hermelles, « qui découvrent à mer basse et qui paraissent élevés de 8 à 10 pieds ».

GALAINE et HOULBERT voyaient dans la construction de ces récifs une des causes de l'envasement de la Baie, et du changement de lit subi par le Couesnon depuis 1790. Les récifs, d'après eux, augmentent d'importance, et, de 8 à 10 pieds en 1823, auraient atteint en 1916 une épaisseur de 5 à 6 mètres (15 à 18 pieds).

Depuis, une conversation avec M. OZOUF, rapportée par F. KERFORNE (32) en 1923, nous apprend que les récifs auraient subi une notable diminution au cours de la grande marée d'octobre 1923.

A la grande marée du 22 avril 1947, l'un de nous a pu, grâce au concours des Services d'Études de l'Énergie des Marées de l'Électricité de France, et en compagnie de l'ingénieur hydrographe VANTROY, chef de ces services, visiter, trop rapidement à son gré, les récifs d'Hermelles — les « crassiers » — au nord de la Chapelle Sainte-Anne de Cherrueix (Pl. I).

Au cours de cette sortie ont été recueillis quelques échantillons de sables et de vases, au voisinage des récifs d'Hermelles. On trouvera ici l'étude de ces sédiments, en même temps que quelques observations sur ces récifs, qui, si elles ne sont pas toutes très originales, méritent cependant d'être portées à la connaissance des géologues, puisqu'il s'agit là d'un faciès peu connu, rarement représenté dans les séries géologiques, et dont l'importance n'échappera à personne.

## I. — CARACTERISTIQUES GEOGRAPHIQUES ET GEOLOGIQUES.

Les constructions d'Hermelles, sur l'ensemble de nos côtes, forment en général comme des coussins appliqués sur les faces verticales des roches, ou des revêtements minces de surfaces rocheuses horizontales, au voisinage des plages sableuses, à peu près au niveau inférieur des marées de vive eau moyenne.

A Cherrueix, elles se présentent d'une façon toute différente : ce sont des buissons arborescents, faits de tubes à section arrondie, enchevêtrés ; dans chaque buisson, les tubes s'accolent, forment des lames verticales épaisses de quelques 5 à 10 cm., irrégulièrement onduleuses à la façon de draperies, à surface comme cordée, tous les tubes d'une même lame s'arrêtent à peu près au même niveau, l'ensemble des lames forme des masses arrondies, atteignant 70 cm. et même un mètre de hauteur. Ces buissons peuvent être accolés les uns aux autres, couvrant, de façon presque continue, des dizaines d'hectares; ou bien ils sont irrégulièrement répartis sur la grève (fig. a et b).

Les zones ainsi couvertes d'Hermelles forment, d'après GALAINE et HOULBERT (29), une bande discontinue de quelque 3 kilomètres de large, près du bas de l'eau, entre la Chapelle Sainte-Anne et la pointe de Champeaux. C'est un bon exemple de ce que les auteurs de langue anglaise appellent un « biostrome » ; le terme de « récif » semblent pourtant parfaitement adapté, puisque dans son pays d'origine — côtes d'Arabie — il désigne des hauts-fonds rocheux, des écueils : si l'on en croit les descriptions des côtes de la Mer Rouge, ces écueils sont tous d'origine biologique ; on peut penser que l'usage du mot *récif* dans le sens général d'*écueil* fait double emploi avec ce dernier mot, en même temps qu'il élude une partie du sens du mot récif.

Ici, comme dans les cas les plus typiques, il s'agit bien de hauts-fonds, d'écueils, construits, sur place, par des organismes. Cependant, ces récifs présentent quelques particularités. Tout d'abord, ce ne sont pas des squelettes d'organismes fixés qui les constituent ; ce sont, au contraire, des constructions qu'édifient les animaux en agglutinant des grains de sable préexistants. D'autre part, il ne s'agit pas de colonies bourgeonnantes comme dans le cas de la plupart des récifs coralliens ou des récifs de Corallinacées ; ici, ce sont des légions d'organismes fixés côte à côte et qui se sont développés conjointement, tandis que de jeunes larves, choisissant comme support les tubes déjà construits, contribuent à la croissance du récif : c'est le phénomène de thigmotactisme, qu'on retrouve dans les récifs à Serpuliens, à Rudistes, ou les peuplements de Balanes.

D'après GALAINE et HOULBERT, les Hermelles se seraient fixées « soit sur des bancs d'huîtres, soit sur des affleurements rocheux ». Nous n'avons rien vu de pareil. D'abord,



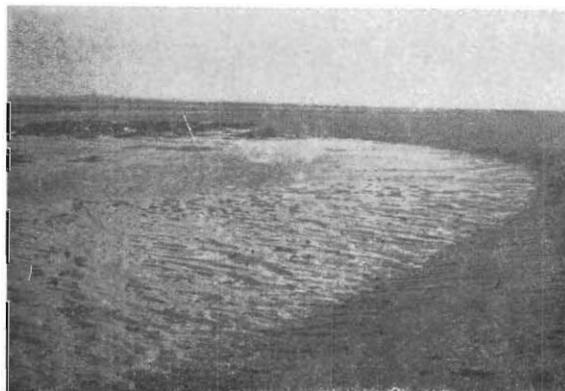
a



b



c



d

FIG. 1.

- a) et b) *Grandes rides dans le sable graveleux. Vues prises vers le S. W. Au fond, le Mont Dol a 6 milles environ (10 km.). (Echantillon A)*
- c) *Les mêmes rides, dans un endroit plus sec. Le manche du marteau mesure 55 cm. Il reste seulement un peu d'eau dans les creux. Vue prise vers le N.-E.*
- d) *Rupture de pente au Sud du « Banc ». Celui-ci recouvre nettement les « Crassiers » — et leur substratum croqué par les courants s'écoulant du banc*

comme le font remarquer ces auteurs eux-mêmes, cependant spécialement préoccupés par la question des huîtres, les Hermelles ne s'avancent guère, vers l'Ouest, au delà de la laisse de basse mer — et les bancs d'huîtres plates, les seules de cette région, sont au-dessous, c'est-à-dire à l'ouest de cette ligne. Quant aux prétendus « affleurements rocheux », nous avons pu, en plusieurs points, toucher le substratum des constructions : ce sont des vases ou plutôt des sables vasards. Et il nous a été facile de voir que les supports sur lesquels sont fixés les tubes des vers sont des coquilles vides ; la construction s'étend et s'alourdit par la fixation des jeunes larves sur les premiers tubes établis : c'est encore un caractère de « biostrome ».

Ce qui détermine le développement de ces constructions, ce sont les conditions favorables à la vie des Hermelles : présence d'une eau agitée, chargée de sable, à une cote favorable : un mètre environ au-dessus des plus basses mers, et dans une tranche d'eau de quelques dizaines de centimètres (noter que le marnage est ici de quelque quinze mètres). Etant donné la très faible pente (la mer se retire à 15 km. du Mont Saint-Michel), l'espace de grève favorable est très étendu ; toutes les coquilles présentes sur cette partie de l'estran peuvent servir de point de départ à des récifs embryonnaires. Les vagues, sans doute aussi les organismes, et — sûrement — les pêcheurs, détachent des récifs de gros fragments qui peuvent servir à leur tour de supports solides aux larves d'Hermelles.

Les récifs reposent sur une couche qui, selon les endroits, est de la vase (C) ou du sable vasard (D, au voisinage du Banc — voir plus bas) (fig. 2).

Là où il n'y a pas de récifs — par exemple entre ceux-ci et la laisse de très basse mer —, on trouve un sable très grossier, surtout coquillier, tout à fait meuble (A). La mer déplace facilement la partie supérieure de ce sable (33) ; le jour où nous avons pu visiter les lieux, les vagues de gros temps des jours précédents y avaient façonné de magnifiques rides de sable (*ripple-marks*), dont les crêtes, qui se suivaient, en se relayant, sur des dizaines de mètres, étaient écartées d'un mètre ou plus, tandis que les creux atteignaient 15 à 25 cm. (fig. 1, a, b). Les rides étaient dissymétriques, leur crête déportée vers le large ; les fragments de coquille les plus gros étaient triés, et déposés sur le versant le plus doux, ou, surtout, au fond des creux (fig. 1, c).

Sur le substratum, et entre les buissons d'Hermelles, des cours d'eau bourbeuse passent à basse mer, déposant à leur voisinage une mince couche bleutée de vase, sur le sable grossier ou sur les Hermelles (31, p. 208).

En un point, les fonds à Hermelles sont recouverts par du sable grossier, meuble, couvert lui aussi de grandes rides : c'est le « Banc », montant en pente douce du Nord vers le Sud ; dans cette direction, il est coupé abruptement, et domine les Hermelles — ou leur substratum — d'au moins 2 mètres (fig. 1, d) Il se présente absolument comme une dune sous-marine abrasée.

Du reste, au sud du Banc, les Hermelles ne forment plus que des peuplements lâches ; les sables vasards du substratum, souvent érodés (D), portent aussi des rides. Mais malgré l'identité presque parfaite des conditions quant à l'agitation de la mer, on a ici de petites rides, de l'ordre du centimètre de longueur d'onde. Ceci illustre bien l'influence de la granulométrie du sédiment et de sa compacité sur les caractères des rides de sable.

Entre le sable vaseux du substratum et le sable graveleux du Banc, on trouve par place un sable fin, densément peuplé de *Lanice* (échantillon E) : peut-être supporte-t-il localement les massifs construits.

Plus au Sud encore, et, en même temps, plus haut sur l'estran, en se rapprochant de Cherrueix, la coupe du sol devient différente. Une couche mince — quelque 10 cm. — de sable fin à *Cardium edule* (F) repose sur un sable vasard (G) ; la surface, assez plane, com-

porte des vasques d'environ un mètre de diamètre et 10 cm. de profondeur : ce type de surface semble très répandu dans cette région ; c'est lui notamment qui se rencontre au voisinage des pêcheries, au nord-est de la Chapelle Sainte-Anne. Dans cette région des pêcheries, il existe un chemin, jalonné par des poteaux de bois, et sur lequel la marche est facile, sur un sol résistant, tandis qu'au voisinage immédiat — le chemin ne mesure guère

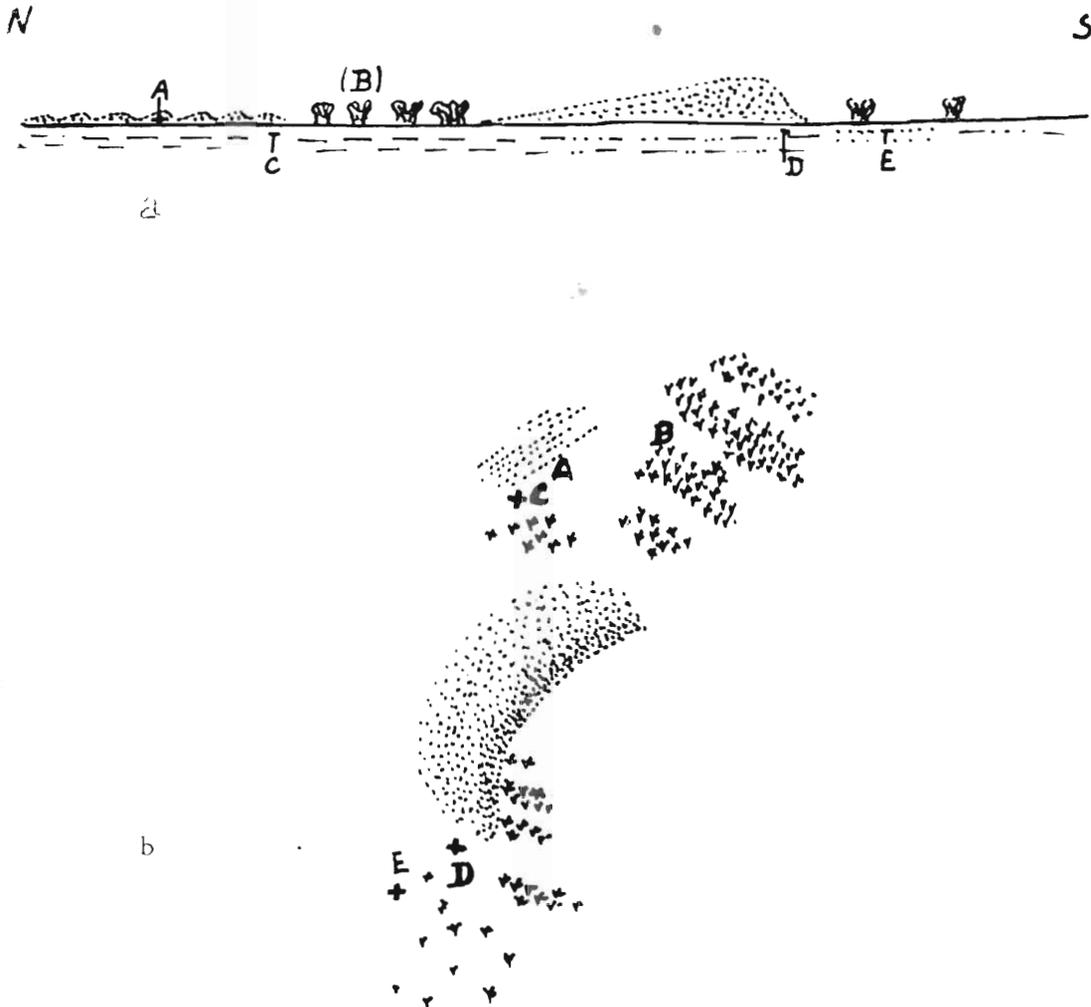


FIG. 2. — Schémas approximatifs situant les échantillons étudiés  
a : coupe montrant la position respective des divers types de sédiments  
b : extrémité sud des « Crassiers » d'Hermelles et « Banc » de sable

plus d'un mètre de large — on s'enfonce profondément, non pas dans des sables mouvants — nous n'avons pas eu l'occasion d'en rencontrer dans cette zone —, mais dans une vase sableuse. Nous ne saurions expliquer ce fait. Y avait-il là originellement une bande étroite de terrain dur, ou, au contraire, le passage fréquent, sur cet itinéraire, des personnes se rendant aux pêcheries est-il responsable des qualités particulières du sol ? Nous n'avons pu, sur ce chemin d'aller, prélever d'échantillons ; nous avons à parcourir, en un temps très

réduit par les marées (3 à 4 heures seulement), quelque 6 milles (environ 10 km.), en réservant aussi un temps suffisant aux observations et à la collecte des échantillons

Enfin, nous signalerons l'abondance, sur la surface de la grève, de galets de vase gris bleu, aplatis, bien arrondis, encore mous mais résistant à la destruction (7), et aussi de très nombreux *galets de bois* : le bois des pêcheries, imbibé par l'eau de mer, ameubli par des fermentations, devient en effet assez lourd pour couler dans l'eau et suffisamment homogène pour être usé au contact du fond. A notre connaissance, les galets de bois n'ont pas été signalés par des pétrographes sédimentaires (19).

Sept échantillons ont été étudiés, désignés par les lettres A à G (fig. 2). Ils ont déjà été situés dans les généralités, on trouvera ici quelques précisions complémentaires à leur sujet.

Trois proviennent de la partie des « crassiers » située au nord du « Banc » de gravier, à la bordure extérieure des récifs. Ce sont les échantillons A, B, C.

A : sable coquillier à grandes rides, au large du banc des Hermelles.

Gravier grossier, beaucoup de cailloux à arêtes émoussées, nombreuses coquilles brisées, peu de coquilles en bon état : *Pecten*, *Trochus*.

B : tubes d'Hermelles, que nous avons désagrégés à l'eau oxygénée.

C : soubassement du récif d'Hermelles, un peu plus au large, sous le sable coquillier.

Vase gris bleu, compacte à l'état humide, donnant par dessiccation une masse dure gris blanc. Très argileux en apparence. Peu de coquilles, bien enchâssées dans la vase. Cailloux durs, noirs, peu roulés.

D : à 500 m. au sud des précédents, près de la bordure nord du banc de sable, sous le sable coquillier et les Hermelles.

A l'état humide, vase coquillière compacte, gris-verdâtre, à passées noires intérieurement. Peu de cailloux, mais bien roulés. Beaucoup de coquilles, souvent en bon état.

E : encore plus au Sud, au sud du banc de gravier : sable à *Lanice* supportant les sables grossiers et les récifs.

Sable fin, grisâtre, peu de coquilles dans les gros éléments ; ces coquilles sont roulées, en compagnie de tubes de *Lanice* composés de fragments coquilliers agglomérés.

F et G, encore plus méridionaux, au nord de Cherrueix, sont situés l'un au-dessus de l'autre. F est un sable à *Cardium edule* grossier et grisâtre, riche en coquilles brisées avec quelques coquilles intactes, recouvrant G : sable fin, gris, peu de coquilles, quelques-unes en bon état.

Ces échantillons ont fait l'objet d'analyses diverses ayant pour but de définir leur constitution granulométrique, chimique, minéralogique, organique.

Nous exposerons les résultats de ces analyses avant de tirer les conclusions auxquelles elles conduisent.

## II. — CARACTERES GRANULOMETRIQUES.

**Méthode.** — L'analyse physique porte sur la terre séchée à l'air et passée au tamis de 2 mm. à trous ronds, dite « terre fine », la partie qui reste sur le tamis constituant les cailloux et graviers (tableau 1).

TABLEAU 1. — Premier tamisage du sédiment sèche à l'au

	A	B	C	D	E	F	G
Graviers > 2 mm. . . . .	514	23	91.9	343	25	100	65
Matériel < 2 mm. (v. tableau 2)	486	977	908.1	657	975	900	935

TABLEAU 2. — Analyse du matériel plus fin que 2 mm., rapporté à 1.000.

	A	B	C	D	E	F	G
Humidité . . . . .	3.8	6.5	42.1	11.8	6.2	7.6	15.8
Matière organique . . . . .	45	16.3	30.8	24.3	21.6	33.7	42.5
Grains minéraux (Voir tableau 3)	982.1	951.3	855	965.1	979.9	957.2	945
Total analyse physique . . . . .	1030.9	974.1	920.0	1001.2	1007.7	998.5	1003.3

N. B. — Les totaux de A, B, C, sont différents de 1.000. Les chiffres expérimentaux n'ont pas été modifiés

TABLEAU 3. — Grains minéraux du matériel plus fin que 2 mm. Tamisage et siphonnage

	A	B	C	D	E	F	G
Sable grossier . . . . .	957.8	703.6	62.5	675	430.9	276.5	120.2
Sable fin . . . . .	23.2	224	373	95.5	542	673.5	808.8
Sable total . . . . .	981	927.6	435.5	771.5	973	950	929
Poudre . . . . .	0.6	15.5	264.6	130.8	5.1	4.4	12.1
Précolloïde . . . . .	0.5	8.2	156	62.8	1.8	2.8	3.9

TABLEAU 4. — Grains minéraux du matériel plus fin que 2 mm., décalcifié

	A	B	C	D	E	F	G
Sable total . . . . .		251.3	213.7	275.2			
Sable grossier . . . . .	446.5	122.8	24.5	218.2	92.5	25	5.5
Sable fin . . . . .	41.7	128.5	189.2	57		389	431
Poudre . . . . .		15.6	96.8	36.5	297.9		
Précolloïde . . . . .		10.5	138.6	60.8			

Les limites des divers fractionnements sont celles adoptées par l'Association Internationale de la Science du Sol, mais nous ne rapportons pas nos résultats à la terre fine séchée à 105°. Il nous semble utile en effet de connaître l'humidité gardée par un échantillon séché à l'air, celle-ci variant avec sa constitution.

Sur la terre fine broyée au mortier, sont déterminés :

- précisément cette humidité par dessiccation à l'étuve à 105° jusqu'à poids constant ;
- le taux des carbonates par dosage au calcimètre ;
- la teneur en matière organique par perte au feu ;
- la détermination des fractions argile, limon, sable fin et sable grossier, a été effectuée avec et sans décalcification par dispersion, sédimentation et siphonnage pour les sédiments suffisamment riches en argile.

Pour les échantillons constitués presque uniquement de sable, seule l'analyse sans décalcification a été employée, la granulométrie des sables non calcaires étant effectuée sur le résidu insoluble global (tableaux 2, 3, 4).

Nous emploierons pour désigner les parties plus petites que 2  $\mu$ , « argiles » des pédologues, le terme de *précolloïdes* préconisé par J. BOURCART (11), bien que la correspondance ne soit pas parfaite (1  $\mu$  pour BOURCART), mais en accord avec A. CALLEUX (20) ; nous appellerons « poudres », toujours avec J. BOURCART, les particules dont les diamètres vont de 0,02 à 0,002 mm., soit le « limon » des pédologues (26, 28). Il est cependant bien entendu que ces diamètres ne sont qu'approximatifs. Ils correspondent aux « diamètres équivalents » calculés d'après la vitesse de chute dans l'eau.

Après séparation des fractions précolloïdes et poudres, les sables restant ont été séchés, puis tamisés sur la série de tamis du Laboratoire de Géologie de la Sorbonne (1948-49), soit à ce laboratoire, soit à la Station agronomique d'Amiens (tableau 5).

Les mailles de ces tamis déjà utilisés lors de l'étude des sédiments marins de Concarneau (34), et vérifiées au micromètre, ont les dimensions suivantes :

		ECHELLE DES TAMIS											
Tamis . . . . .		16	25	40	60	80	100	120	160	200	240	260	300
Dimensions des mailles en microns . . . . .		1400	700	450	290	220	180	120	100	84	77	56	45

Les valeurs de toutes ces fractions — y compris argile et limon — ont été utilisées pour l'établissement des courbes de fréquence qui permettent la comparaison directe des sédiments entiers et décalcifiés et l'appréciation de la répartition en calcaire.

Les matériaux grossiers ont été placés arbitrairement à 3 mm. ; certains atteignent cependant des dimensions dépassant le centimètre (coquilles).

Les sables traversant le tamis 300, donc à grains dont au moins deux dimensions sont plus petites que 0,045 mm., ont été placés arbitrairement à 0,03 mm., dimension voisine de la réalité d'après l'examen microscopique.

Les poudres ont été portées à 0,01 mm., les précolloïdes à 1  $\mu$ . Les courbes de fréquence ont été établies avec abscisse logarithmique et ordonnée arithmétique. Les mêmes conventions ont été appliquées dans l'établissement des autres courbes.

Les courbes cumulatives ont été calculées, d'après les données brutes déjà utilisées, en les rapportant à 100 lorsque le total, par suite de pertes inévitables au cours des manipulations successives, était par trop éloigné (plus de 5 %) de ce chiffre, et aussi pour tous les échantillons décalcifiés ; de cette façon, les courbes cumulatives de l'échantillon entier et

TABLEAU 5. — Pourcentage du sable total retenu par chaque tamis.

Tamis		A	Ad	B	Bd	C	Cd	D	Dd	E	Ed	F	Fd	G	Gd
Diam. des mailles	Numéro														
1400 $\mu$	16	9,05	6,65	1,52	0,25	0,75	0,3	4,98	1,27	0,03	—	0,45	0,05	0,07	0,05
700 $\mu$	25	42,45	12,8	16,28	0,5	1,35	0,6	23,73	7,2	0,35	—	2,4	0,1	0,92	0,05
450 $\mu$	40	30,80	19,65	33,53	5,38	1,1	0,2	30,38	9,75	2,9	0,1	3,45	0,15	2,28	0,05
290 $\mu$	60	7,78	2,85	12,15	4,30	1,15	0,3	6,16	2,5	13,33	1,3	6,85	0,4	3,75	0,1
220 $\mu$	80	6,10	2,7	6,88	1,85	1,9	1,05	2,25	1,1	26,48	7,85	14,5	1,8	5	0,3
180 $\mu$	100	1,43	1,3	5,18	3,05	1,0	0,6	1,4	1	18,15	9,5	16,6	8,15	5,23	0,6
120 $\mu$	120	0,55	0,3	6,45	2,53	1,1	0,5	1,07	0,9	18,30	9,9	23,7	7,75	9,55	1,35
100 $\mu$	160	0,2	0,1	6,1	2,02	0,95	0,4	1,02	0,5	11,08	6,3	15,65	9,55	25,55	2,70
84 $\mu$	200	0,18	0,3	2,40	1,95	1,02	0,3	0,65	0,3	3,23	2,25	6,73	8	14,43	5,6
77 $\mu$	240	0,05	0,2	0,38	0,95	0,91	0,2	0,1	0,15	0,75	0,25	0,8	2,45	5,83	16,20
56 $\mu$	260	0,11	0,1	1,60	0,4	3,6	1,25	0,83	0,4	1,28	0,75	2,33	0,8	11,41	4,60
45 $\mu$	300	0,13	0,12	0,2	0,35	1,8	0,25	0,13	0,2	0,2	0,14	0,23	0,8	1,16	4,55
	< 300	0,35	1,75	2,28	1,60	23,4	29,33	4,15	2,25	1,15	0,7	1,28	1,40	7,71	7,5

N.-B. — Dans Ad, Bd, Fd et Gd, les tamis 120 et 260 ont été remplacés respectivement par des tamis de la même série, n<sup>os</sup> 140 et 250.

TABLEAU 6. — Principaux indices des sédiments étudiés.

Echantillon		Diamètre en mm	Ecart de $\sqrt{2}$		Ecart de 2	
			C	A	C	A
A	entier . . . . .	> 3				
	< 1,4 mm . . . . .	0,72	0,42	— 0,02	0,77	— 0,07
	décalcifié . . . . .	0,62	0,40	— 0,09	0,68	— 0,08
B	entier . . . . .	0,46	0,39	— 0,11	0,58	— 0,14
	décalcifié . . . . .	0,2	0,20	— 0,03	0,47	— 0,03
C	entier . . . . .	0,035	0,34	— 0,14	0,47	— 0,11
	décalcifié . . . . .	0,028	0,31	— 0,19	0,61	— 0,15
D	entier . . . . .	0,78	0,20	+ 0,04	0,36	+ 0,10
	entre 1,4 mm et 0,07 mm . . . . .	0,6	0,52	— 0,02	0,74	+ 0,02
	décalcifié . . . . .	0,38	0,23	— 0,11	0,33	— 0,13
E	entier . . . . .	0,2	0,63	— 0,03	0,86	— 0,06
	décalcifié . . . . .	0,17	0,58	— 0,18	0,93	— 0,03
F	entier . . . . .	0,22	0,55	+ 0,15	0,70	+ 0,1
	décalcifié . . . . .	0,13	0,67	— 0,03	0,88	— 0,08
G	entier . . . . .	0,1	0,53	+ 0,13	0,74	+ 0,1
	décalcifié . . . . .	0,07	0,66	— 0,14	0,84	— 0,04

TABLEAU 7. — Caractères chimiques des sédiments.

	A	B	C	D	E	F	G
Sels solubles à l'eau . . . . .	2,2		15,8	10,7	5,1	7,5	8,2
Humidité ° . . . . .	3,8	6,5	42,1	11,8	6,2	7,6	15,8
pH . . . . .	7,1	8,5	7,9	8,4	7,4	7,7	8,1
Perte au feu . . . . .	229,8	322,1	233,5	280,8	229,6	233,3	251,5
CO <sub>2</sub> . . . . .	177	305	189	250	208	199	216
CO <sub>2</sub> /Ca . . . . .	402	694,6	429,2	566,3	472	453	491
Matière organique . . . . .	45	163	30,8	24,3	21,6	33,7	42,5
Azote . . . . .	0,32	0,7	1,23	0,77	0,44	0,46	0,47
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	15,5	12,5	117,5	80	35	42,5	50
CaO . . . . .	263	380	233	300	220	254	298
Na <sub>2</sub> O . . . . .	3	3,8	16,02	11,8	8,47	8,47	12,4
K <sub>2</sub> O . . . . .	2,99	3,06	10,85	5,05	2,81	3,37	6,36
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,84	0,77	1,22	0,88	0,56	0,66	0,88
Insoluble HCl . . . . .	490	278	390	337	405	425	412
Matière organique/N . . . . .	143	23	25	31	49	73	90

° Humidité gardée par le sédiment séché à l'air et éliminée par séchage à 105° à l'étuve jusqu'à poids constant

de son produit de décalcification sont comparables, sauf si le matériel grossier est abondant. Dans ce dernier cas, la courbe du matériel non décalcifié a été recalculée pour 100, en éliminant le matériel grossier.

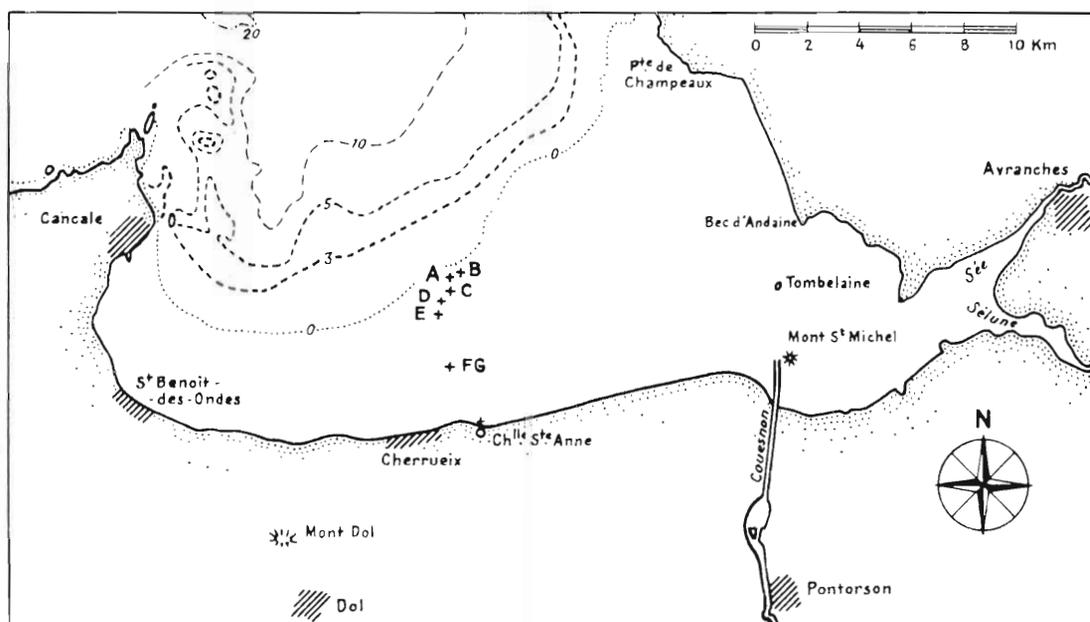
Ces courbes cumulatives ont été dessinées, d'abord sur le même canevas que les courbes de fréquence, et, d'autre part, avec une ordonnée de probabilité (BERTHOIS, 5 ; KRUMBEIN *in* PETTIJOHN, 39).

Les courbes en ordonnées arithmétiques, reconstruites d'après la courbe de probabilité, se confondent pratiquement avec celles obtenues directement, aussi n'ont-elles pas été figurées.

Les paramètres calculés l'ont été en suivant la méthode préconisée par L. BERTHOIS (5) :

a) diamètre moyen pour la courbe totale, puis éventuellement pour celle du sédiment privé de ses éléments grossiers, puis pour celle du sédiment décalcifié ;

b) indice de classement  $c = y_2 - y_1$ , calculé de deux façons : avec un écart en abscisse, de  $y_1$  et  $y_2$ , de  $\sqrt{2}$  de part et d'autre du point de la courbe d'ordonnée 50 % (indice de



Pl. I — Carte d'ensemble de la Baie du Mont-Saint-Michel

classement normal Berthois), et avec un écart de 2 — indice employé, par exemple, dans le travail de L. BERTHOIS (9) sur les Açores. Les différences sont naturellement très sensibles. Ce calcul a été fait sur le sédiment total, matériel grossier compris (sauf pour A, où le matériel grossier dépasse 50 %), puis sur la courbe du sédiment privé de matériel grossier, enfin sur celle du sédiment décalcifié ;

c) indice d'asymétrie  $A = c'_2 - c'_1$  calculé avec un écart de  $\sqrt{2}$  et de 2, dans les mêmes conditions : l'écart entre ces mesures, pour un même sédiment, est généralement faible.

Le matériel étant surtout sableux et les grains très fins (poudres et précolloïdes) ne jouant un rôle sensible que dans C et D, il n'a pas paru utile de calculer l'indice d'évolution défini par A. RIVIÈRE (41, 42). Du reste, la faible précision des mesures sur ce matériel très

fin n'aurait donné que des résultats illusoire. Cependant, la forme de la courbe a servi de base à une interprétation, dans l'esprit qui a amené A. RIVIÈRE à proposer ce nouvel indice.

Le tableau 6 résume ces observations.

L'examen de ce tableau corrobore pleinement les conclusions qu'on peut tirer des courbes ; trois types fondamentaux se dégagent, possédant chacun des caractères très nets. Nous les classerons par ordre de diamètre moyen, en commençant par le plus fin.

C, soubassement des récifs (Pl. II, fig. 2), a un diamètre moyen de 0,035 mm. (décalcifié, 0,028), 70 % du sédiment (85 %, décalcifié) sont plus fins que 0,045 mm. environ. Il s'agit d'un limon, d'une vase plutôt. Les indices de classement\* sont assez faibles, 0,34 (0,31). Les indices d'asymétrie sont forts et négatifs (— 0,14, — 0,19) : le matériel plus gros que le grain moyen est assez bien trié, mais ce n'est vrai que pour les grains de 40 à 60  $\mu$  ; les grains plus gros, peu nombreux, ont une répartition presque quelconque.

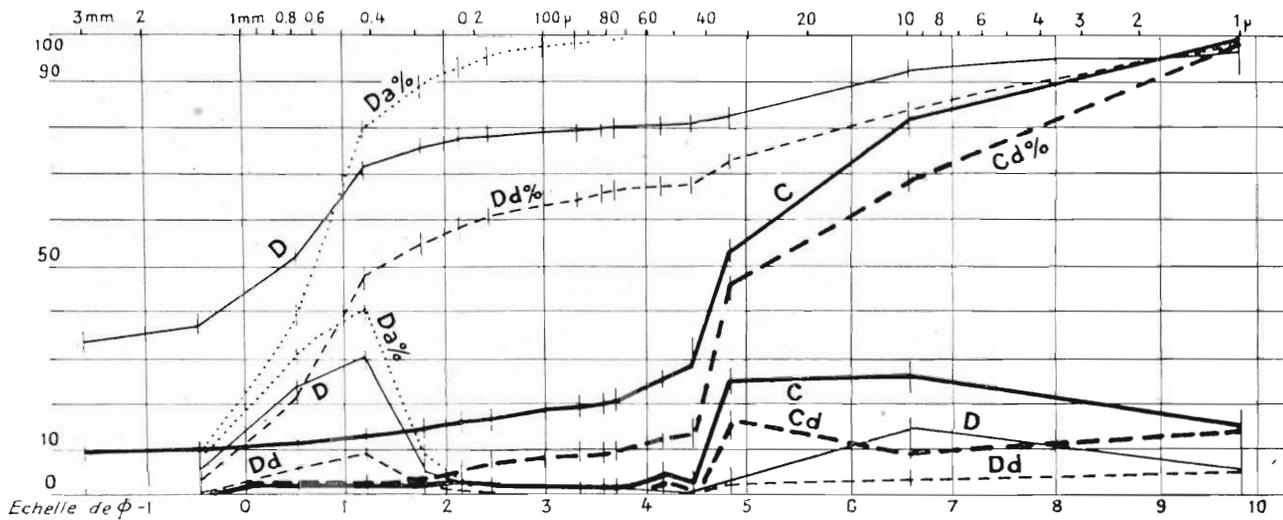
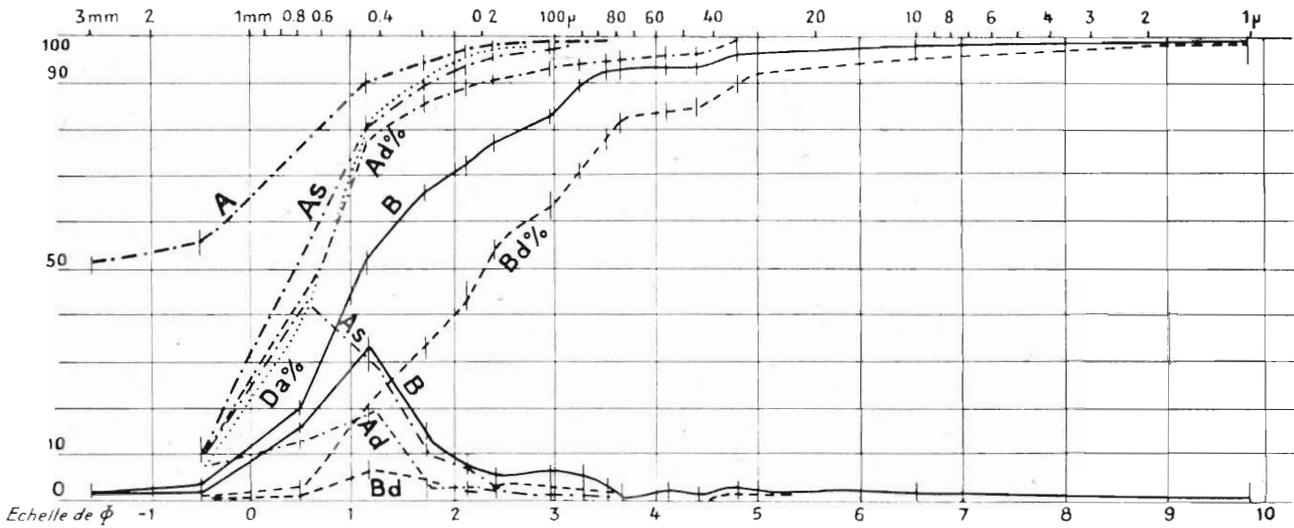
Si on ne considère que les parties très fines (plus petites que 0,05 mm.), la courbe est de type parabolique (41, 42) très net : sédiment très peu évolué par transport ou sédiment très évolué par lévigation ? La très faible proportion de sable plus gros que 60  $\mu$  semble plaider en faveur d'un sable très bien trié par transport, en même temps que privé par lévigation de son matériel très fin — et on retrouve les conclusions de A. RIVIÈRE sur des sédiments de centre de bassin ; la faible portion de gros sables, ou de graviers très mal triés, évoquerait des apports brutaux et brefs (crues de ruisseaux, ou entraînement au large de sable des grèves, lors de périodes d'agitation énergique, mélangeant intimement le sédiment très bien trié et les apports nouveaux). On évoquerait ainsi des vases formées dans de vastes étendues plates, normalement très peu agitées, sujettes cependant à de brusques tempêtes. Des lagunes, peut-être ? Il s'agit, naturellement, d'un état de choses probablement relativement ancien, antérieur à l'établissement des récifs d'Hermelles. Ce sédiment serait ainsi fossile ou subfossile. Quoi qu'on en puisse penser à priori, il n'a rien de commun avec la *tangue*, dont la granulométrie (31) est toute différente et très caractéristique.

F, sable à *Cardium edule* (Pl. III, fig. 1), a un diamètre moyen de 0,22 (0,13, décalcifié). La courbe du sédiment décalcifié est remarquable par son indice de classement fort (0,67), l'indice d'asymétrie est faible (— 0,03) : matériel bien trié par transport, et, peut-être, lévigation. La courbe du sédiment total en diffère par l'apport de matériel coquillier — au sens le plus large du terme — et, sans doute, du résultat de broyage local de ce matériel. L'association d'un bon triage et d'un diamètre petit est à mettre en rapport, vraisemblablement, avec l'*agitation moyenne* des eaux, relativement faible sur cet estran à pente presque nulle où les vagues ne brisent pas — ou ne brisent que par action extérieure du vent.

A, enfin — sable grossier des grandes rides au large des récifs (Pl. II, fig. 1) — a un diamètre moyen considérable : supérieur à 3 mm. ; 51 % du matériel sont qualifiés de « cailloux » ou « graviers » : la majeure partie de ces 51 % est constituée par des coquilles brisées et usées. Encore y en aurait-il eu beaucoup plus si le matériel avait été pris au fond des dépressions entre les rides de sable.

Si on ne tient pas compte de ces graviers, le diamètre moyen est 0,72 mm. (décalcifié, 0,62). Les indices de classement sont moyens (0,42, 0,40 seulement pour le décalcifié), les indices d'asymétrie faibles (— 0,02, — 0,09 pour le décalcifié). C'est un sable assez bien trié, ne comportant pratiquement pas de matériel fin. Les courbes sont presque identiques à celles de F, mais beaucoup décalées vers les grands diamètres : sable brassé et débarrassé de tout matériel fin par lévigation. Il manifeste le jeu de puissantes forces de mise en mouvement correspondant bien à cette zone, bordure du vaste plateau de la Baie, à proxi-

\* Sauf indication spéciale, les indices donnés dans le texte sont ceux calculés avec un module  $\sqrt{2}$ .



Pl. II — Courbes granulométriques des sédiments A et B (fig. 1) et C et D (fig. 2). En ordonnée, pourcentages en échelle arithmétique ; en abscisse, en haut, diamètre des grains en échelle logarithmique, en bas, échelle des diamètres de Wentworth

FIG. 1. — Courbes de fréquence : As, A privé de ses cailloux. Ad, A décalcifié. B, B entier ; Bd, B décalcifié.

Courbes cumulatives : A, B, A et B ; As, A privé de ses cailloux. Ad %, Bd %, A et B décalcifiés recalculés pour 100. Da % : voir fig. 2.

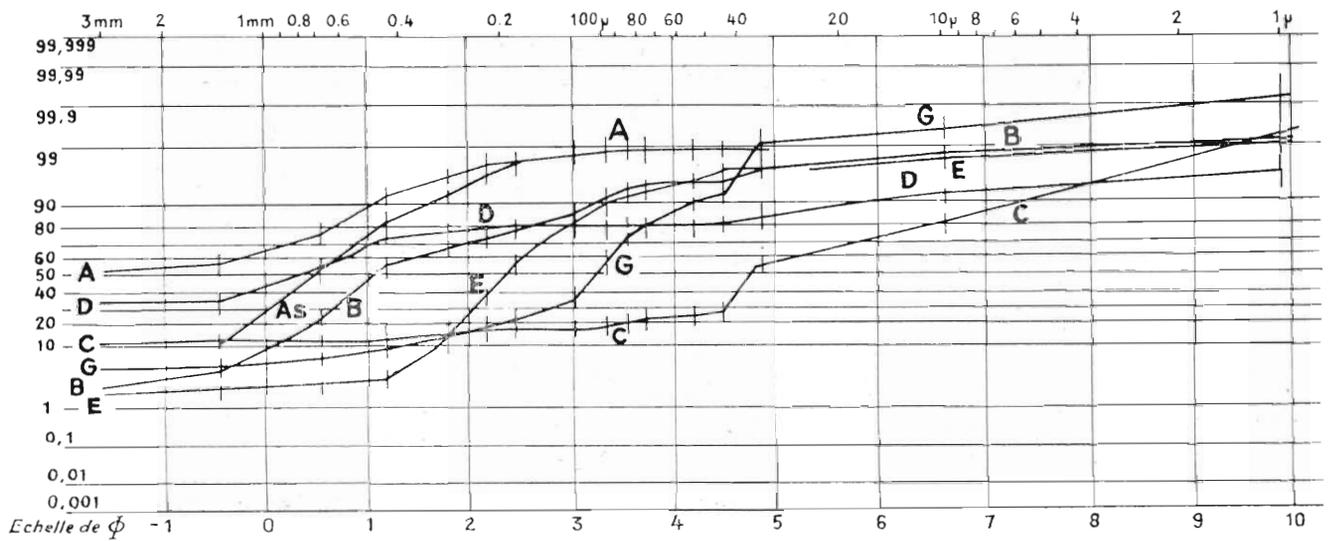
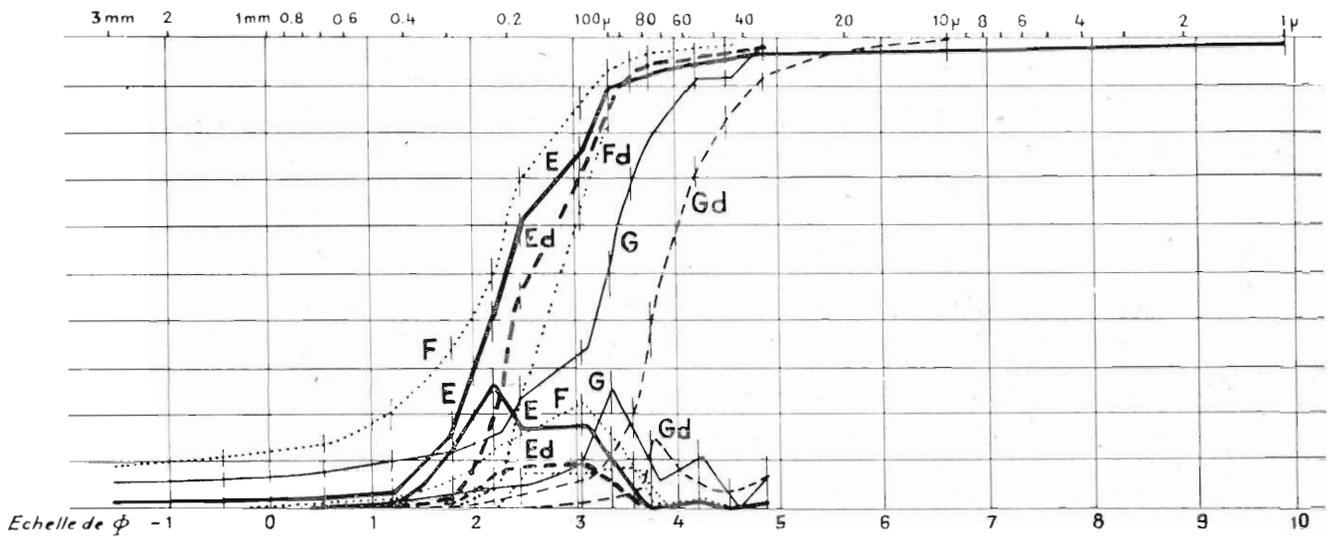
FIG. 2. — Courbes de fréquence : D, C, D et C entiers.

Dd, Cd, D et C décalcifiés. Da : D privé de ses cailloux et de ses éléments plus petits que 0,75.

Courbes cumulatives : D, C, D et C entiers ;

Dd %, Cd %, D et C décalcifiés recalculés pour 100.

Da %, voir Da, recalculé pour 100.



Pl. III — FIG. 1. — Courbes granulométriques des sédiments E, F, G Mêmes coordonnées que pour Pl II  
 Courbes de fréquence : E, F, G, E, F, G entiers, Ed, Fd, Gd, E, F, G décalcifiés.  
 Courbes cumulatives : E, F, G, E, F, G entiers, Ed %, Fd %, Gd %, E, F, G décalcifiés

FIG. 2. — Courbes cumulatives des sédiments A, B, C, D, E, G, en ordonnée de probabilité Mêmes abscisses que pour les figures précédentes

mité des fonds plus grands : à mi-marée, on aura des fonds de 8 m. par exemple à 1 mille 1/2 du large, tandis qu'au point F ces mêmes fonds seront à 4 milles 1/2 ; c'est donc là que briseront les grandes vagues ou les houles de quelque importance ; la preuve, du reste, en est donnée par l'ampleur des rides façonnées par ces vagues. L'ablation du matériel fin ou moyen (plus petit que 0,4) sera le fait des courants de translation créés à la base des vagues déferlantes, qui, se passant « en relai » le matériel, pourront le transporter très loin.

A ces trois types fondamentaux se rattachent plus ou moins directement les quatre autres échantillons.

B, sable obtenu au laboratoire par désagrégation des tubes d'Hermelles (Pl. II, fig. 1) présente de nombreux caractères d'analogie avec A : du reste, il semble évident qu'il provient d'un choix fait par les Annélides parmi les matériaux mis en suspension par la mer, à partir d'un sable qui est probablement le sable A lui-même. Il est alors instructif de voir que B est beaucoup plus pauvre que A en matériel insoluble (27,74 % au lieu de 48,82, soit la moitié moins) : les Hermelles ont une préférence nette pour le sable calcaire. A la dimension correspondant au diamètre moyen, il y a 6 fois moins de matériel siliceux que de calcaire ; au total, le matériel siliceux fait à peu près 1/4 du sédiment entier. La différence est due aux poudres et aux sables très fins, qui sont presque entièrement insolubles. Le triage se manifeste par le fait que le diamètre moyen est à 0,46 au lieu de 0,72 et que 30 % du sédiment sont compris entre 0,45 et 0,8 mm. Le reste de la courbe semble correspondre à une répartition quelconque : c'est, en ordonnée de probabilité, une droite presque parfaite, tant pour le décalcifié que pour le sédiment total. C'est ce qui explique les divergences d'indice entre les courbes A et B : B est manifestement moins trié. On pourrait imaginer qu'en dehors de son choix préférentiel entre 0,45 et 0,8 mm., l'animal a fixé n'importe quoi — la lévigation qui joue pour la genèse du sable A ayant évidemment peu de sens ici.

Les sables E et G (Pl. III, fig. 1) sont très proches de F. E n'en diffère que par l'absence complète de gros graviers et la présence d'un stock important de grains de 0,25 mm. Le matériel décalcifié est un peu moins fin (diamètre moyen 0,17 au lieu de 0,13 mm. pour F).

G est franchement plus fin : pour le décalcifié, le diamètre moyen est de 0,07, la moitié de celui de F ; l'indice de classement est à peu près le même que pour F ; l'indice d'asymétrie, négatif, beaucoup plus fort que celui de F, mais presque égal à celui de E, traduit bien le fait que le triage est meilleur dans les portions situées au-dessus de la moyenne que dans celles situées au-dessous.

Pour le sable total, les indices sont également voisins ; il y a un apport considérable de grains calcaires de 0,15 à 0,08 mm. ; de plus, la teneur en sable très fin (inférieure à 0,06) est un peu plus élevée. Il est possible que G et F soient en réalité le même sédiment dont seule la partie supérieure soit habituellement agitée par les vagues, ce qui permet une lente descente de matériel très fin dans les couches inférieures du sédiment (7) à peine effleurées par cette agitation — en même temps qu'une ablation de ce même matériel par l'eau dans les couches supérieures. Les deux processus conduiraient à la disparition des grains de cette dimension dans le sable F (33).

Enfin, le cas le plus curieux est celui de l'échantillon D (Pl. II, fig. 2) prélevé non loin du Banc, dont il constituerait le substratum ainsi que celui de certains récifs.

Les deux courbes, sédiment entier, sédiment décalcifié, sont parfaitement identiques : les éléments calcaires et non calcaires ont subi les mêmes actions — sauf pour les poudres, un peu plus abondantes dans le sédiment entier. Courbes de fréquence et cumulatives montrent un maximum à 0,45 mm., un autre dans les poudres. L'analogie évidente de la

partie « sable » de la courbe (au-dessus de 0.06 mm.) avec la courbe de A nous a incité à construire la cumulative de cette portion du sédiment rapportée à 100 : l'identité de la courbe obtenue avec celle de l'échantillon A est parfaite : les deux sédiments sont identiques. La même construction, faite pour l'autre portion du sédiment, montre, malgré l'arbitraire des diamètres choisis pour représenter poudres et argile, une très bonne correspondance avec le sédiment C. Ainsi, D peut être considéré comme un sédiment mixte, fait de 80 % de sable identique à A, et 20 % de vase identique à C — ou plutôt à la partie fine de C. Mélange dans des conditions difficiles à imaginer, puisqu'il faudrait intégrer un matériel fin à un gravier grossier ; sédiment originel, dont peut-être le sable A pourrait n'être que la partie supérieure, brassée par les vagues et privée par lévigation de son matériel fin selon le même processus que pour F, naissant aux dépens de G ; ou encore sédiment originel, sans relation avec A : il est difficile de se prononcer.

### III. — CARACTERES CHIMIQUES.

Pour les déterminations chimiques :

— l'azote total a été dosé par le procédé Kjeldahl ;

— les éléments  $\text{Fe}^2\text{O}^3 + \text{Al}^2\text{O}^3$ ,  $\text{P}^2\text{O}^5$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}^2\text{O}$ ,  $\text{Na}^2\text{O}$  ont été dosés après attaque du sédiment par l'acide nitrique concentré bouillant pendant 5 heures selon la méthode préconisée par le Comité consultatif des Stations agronomiques, ou méthode aux acides forts ;

— le pH a été mesuré au pH mètre avec un rapport sol/solution de 1/2,5 (mesure dans l'eau distillée bouillie) ;

— les sels solubles ont été mesurés en faisant percoler, sur de l'ouate, trois fractions de 50 cc. d'eau distillée à travers 20 g. de terre ; 100 cc. de solution obtenue ont été évaporés en capsules au bain de sable, puis à l'étuve à 105° jusqu'à poids constant.

Les données chimiques relatives aux sédiments étudiés sont groupées dans le tableau 7.

La recherche de corrélations entre ces différents résultats a conduit à construire un certain nombre de courbes, qui n'ont de valeur qu'en tant que procédé de visualisation des caractères corrélatifs (Pl. IV). Notons immédiatement qu'il a fallu mettre à part les chiffres afférant aux tubes d'Hermelles (échantillon B) : l'intervention des animaux et le choix qu'a imposé leur instinct constructeur a donné à cet échantillon des caractères parfaitement aberrants. Il en sera question à part, à la fin de ce chapitre.

Les relations les plus évidentes lient les teneurs en  $\text{Al}^2\text{O}^3 + \text{Fe}^2\text{O}^3$  et le diamètre moyen — ou la teneur en matériel très fin (de 0,05 mm. à 1 micron : sables très fins, poudres, précolloïdes). Elles sont du reste normales : ces sédiments sont peu ferrifères, l'alumine du sédiment est évidemment celle de ses produits argileux — dont certains ont pu être directement observés au microscope.

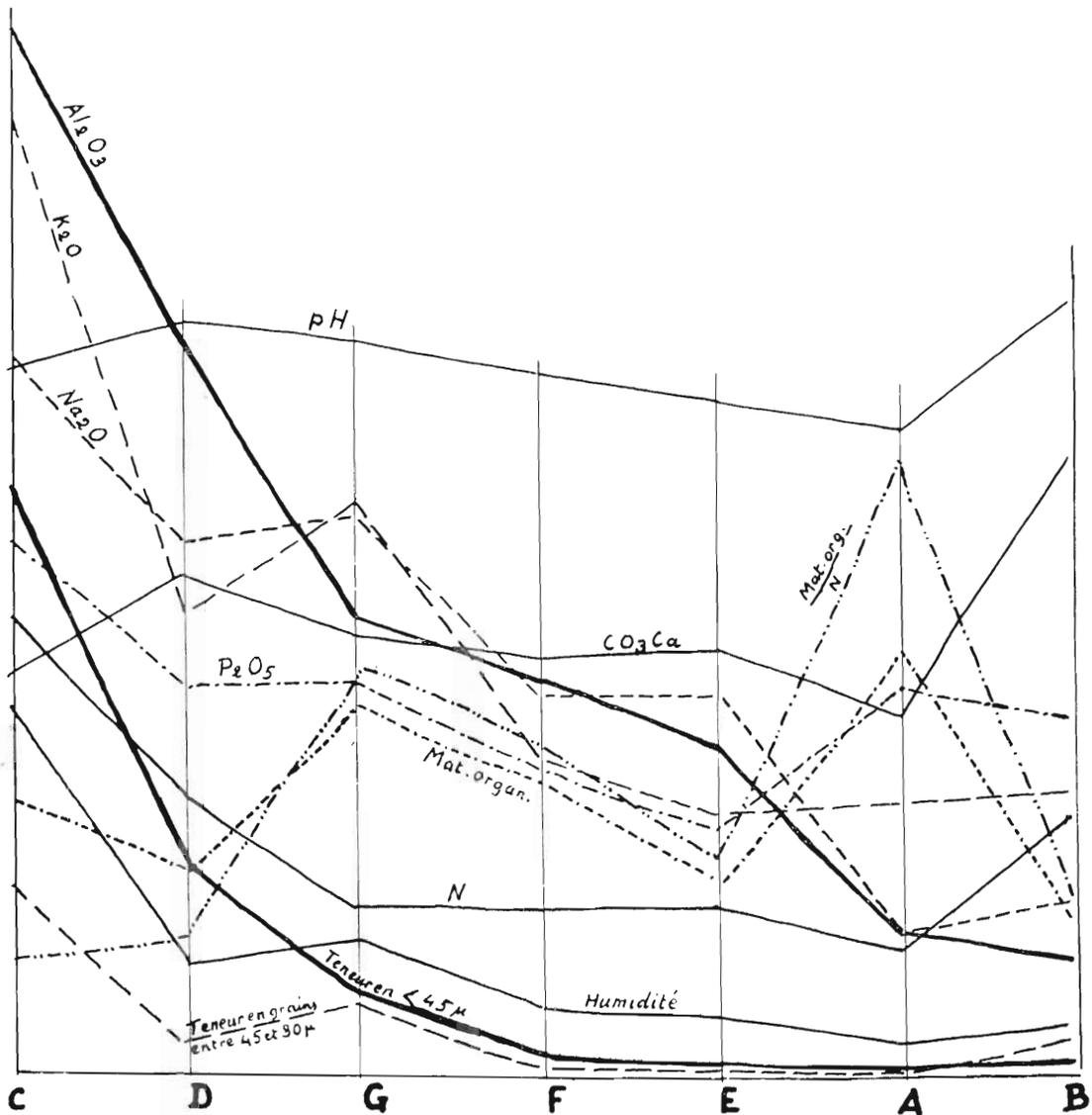
Plusieurs autres caractères suivent, à quelques détails près qui seront interprétés plus bas, le sort de l'alumine et de l'argile : ce sont la teneur du sédiment séché à l'air en eau éliminée à 105° jusqu'à poids constant ; les teneurs en  $\text{Na}^2\text{O}$ ,  $\text{K}^2\text{O}$ ,  $\text{P}^2\text{O}^5$  qui ne sont que des modes de représentation des teneurs en ions sodium, potassium, phosphore ; enfin, sans doute, teneurs en azote organique ?

L'humidité est normalement fonction de la porosité du sédiment ; elle est conjuguée avec la teneur en sels marins qui, subsistant dans l'échantillon, augmentent la rétention de l'eau lors de la dessiccation à l'air.

La potasse est partie intégrante de l'argile, qui selon toute vraisemblance est une illite, et du mica effectivement présent.

Le phosphate, au moins pour la partie qui suit la même loi que l'argile, pourrait être de l'apatite.

Le cas de l'azote est plus difficile à comprendre : il semble parfaitement lié dans ses variations à la phase argileuse du sédiment.



Pt. IV. — Graphique des corrélations entre les diverses propriétés chimiques des sédiments étudiés

Mais les valeurs afférentes à l'humidité, à  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  et  $\text{P}_2\text{O}_5$  présentent des anomalies notamment pour l'échantillon G, et, quant à  $\text{K}_2\text{O}$  et  $\text{P}_2\text{O}_5$ , pour l'échantillon A.

Humidité et  $\text{Na}_2\text{O}$ , anormalement abondantes en G, le doivent sans doute à la grande richesse du sédiment en sable très fin (60 %) de diamètre compris entre 0,05 et 0,1 mm.

Cette partie fine augmentant les effets de surface doit accroître considérablement la faculté de rétention de l'eau et des sels dissous.

Pour les anomalies de  $K^2O$  et  $P^2O^5$ , il faut faire intervenir d'autres facteurs : sans doute existe-t-il d'autre potasse et d'autre phosphate que ceux liés aux argiles ; on notera que, tant pour G que pour A, les maxima nets de  $K^2O$  et  $P^2O^5$  sont associés à ceux, probablement corrélatifs, de la matière organique.

Pour G, c'est probablement encore le résultat de la porosité plus grande. Pour A, matériel brassé par l'eau, les deux seules sources de matière organique qu'on puisse envisager sont, d'abord la matière organique animale : conchyoline des coquilles (voir plus bas), restes du protoplasme des organismes vivants dans le sédiment ou morts peu de temps avant la prise d'échantillon ; surtout les débris végétaux assez abondants et peu décomposés qu'y a révélé l'analyse au microscope et qui, d'autre part, expliqueraient les hautes valeurs du rapport matières organiques sur azote.

La teneur en carbonate de calcium semble tout à fait indépendante de celle de l'argile : c'est assez la conclusion à laquelle nous a conduit l'analyse granulométrique et la comparaison des sédiments entiers et des sédiments décalcifiés. Mais elle paraît varier à l'inverse de la teneur en matières organiques ; maximum pour D et pour E, qui présentent des minimum de la teneur organique ; minimum au contraire pour C, G et A, ce qui laisse penser que le rôle de la conchyoline, évoqué plus haut, doit être très faible. Il y a corrélation entre la teneur de  $CO^3Ca$  et le pH ; les sédiments spécialement riches en  $CO^3Ca$  alcalinisent légèrement l'eau d'expérience par dissolution d'un peu de carbonate ; les autres l'acidifient légèrement par l'action de leur matière organique.

Les *tubes d'Hermelles* (B) réalisent un ensemble très original, par rapport aux autres sédiments, au point de vue chimique. Haute teneur en matériel calcaire, hautes valeurs du pH ; très basses teneurs en aluminium,  $K^2O$ ,  $Na^2O$ , forte teneur en N,  $P^2O^5$ , malgré la très petite quantité de matière organique présente ; les teneurs en azote et en phosphore, apparemment peu différentes de celles des autres sédiments, prennent une valeur toute particulière si on note que ces corps ne peuvent provenir que de la matière organique, puisque les produits minéraux susceptibles de rendre compte, notamment, de la teneur en phosphate, sont presque inexistantes. Il faut alors supposer qu'il existe là une matière organique particulièrement riche en azote et en phosphore : cadavres desséchés de micro-organismes restés dans les interstices des grains de sables des tubes, ou, peut-être, ciment des tubes eux-mêmes, secrétés par nos Sabelles ?

#### IV. — CARACTERES MINERALOGIQUES.

L'étude minéralogique n'a pu être poussée aussi loin qu'il eût été désirable. Il n'a pas été fait de séparation de minéraux lourds. Cependant, l'examen au binoculaire des fractions restées sur tamis a montré que la composition des matériaux détritiques, insolubles à l'acide, était très homogène dans l'ensemble des sables étudiés. On y trouve des graviers de granite — d'aplite fine —, de micaschistes, de phtanite, des cristaux de quartz parfois en prisme pyramidé ; des grains de quartz anguleux, ou émoussés et brillants, parfois arrondis et mats ; des grains même très fins (0,2 à 0,5 mm.) peuvent être ainsi dépolis.

En A et D, on observe, en assez grande quantité, des Alvéolines, des Orbitolites et des Miliolites fossiles, en calcaire dur, jaunâtre, très usées, provenant du Tertiaire sous-marin du golfe normano-breton (23, 25, p. 139).

Dans les matériaux très fins observés en frottis au microscope, on peut voir d'abondantes baguettes d'amphibole verte, du zircon, — parfois très beau avec ses faces cristal-

lines et des cristaux négatifs allongés, et de la tourmaline brune ou bleutée. La glauconie est assez fréquente en grains verts peut-être remaniés et en boudins, souvent décolorée (attaque de la glauconie par l'acide ayant servi à décalcifier le sédiment?), parfois d'un beau vert, représentant le remplissage (24, 25, p. 205), de perforations irrégulières assez larges probablement dues à l'action d'Eponges (Cliones) sur les débris coquilliers.

Notons enfin, dans le matériel très fin décalcifié de l'échantillon A, des éventails de petits cristaux allongés, terminés en biseau, apparemment tricliniques, et paraissant identiques au minéral qui constitue d'autre part des paillettes hexagonales, très peu biréfringentes, présentant des associations de cristaux sans doute mâclés, distribués selon trois directions, parallèlement aux côtés de l'hexagone. Il s'agit évidemment d'un matériel phylliteux, probablement une argile, mais la détermination n'a pu être poussée plus loin.

## V. — CARACTERES ORGANIQUES.

Enfin, l'étude de la composition organique (ou biologique) faite sur les différentes fractions sableuses restant sur chaque tamis, au binculaire pour les parties grossières et au microscope polarisant pour les parties les plus fines, a montré encore que tous ces sédiments font partie d'un ensemble homogène.

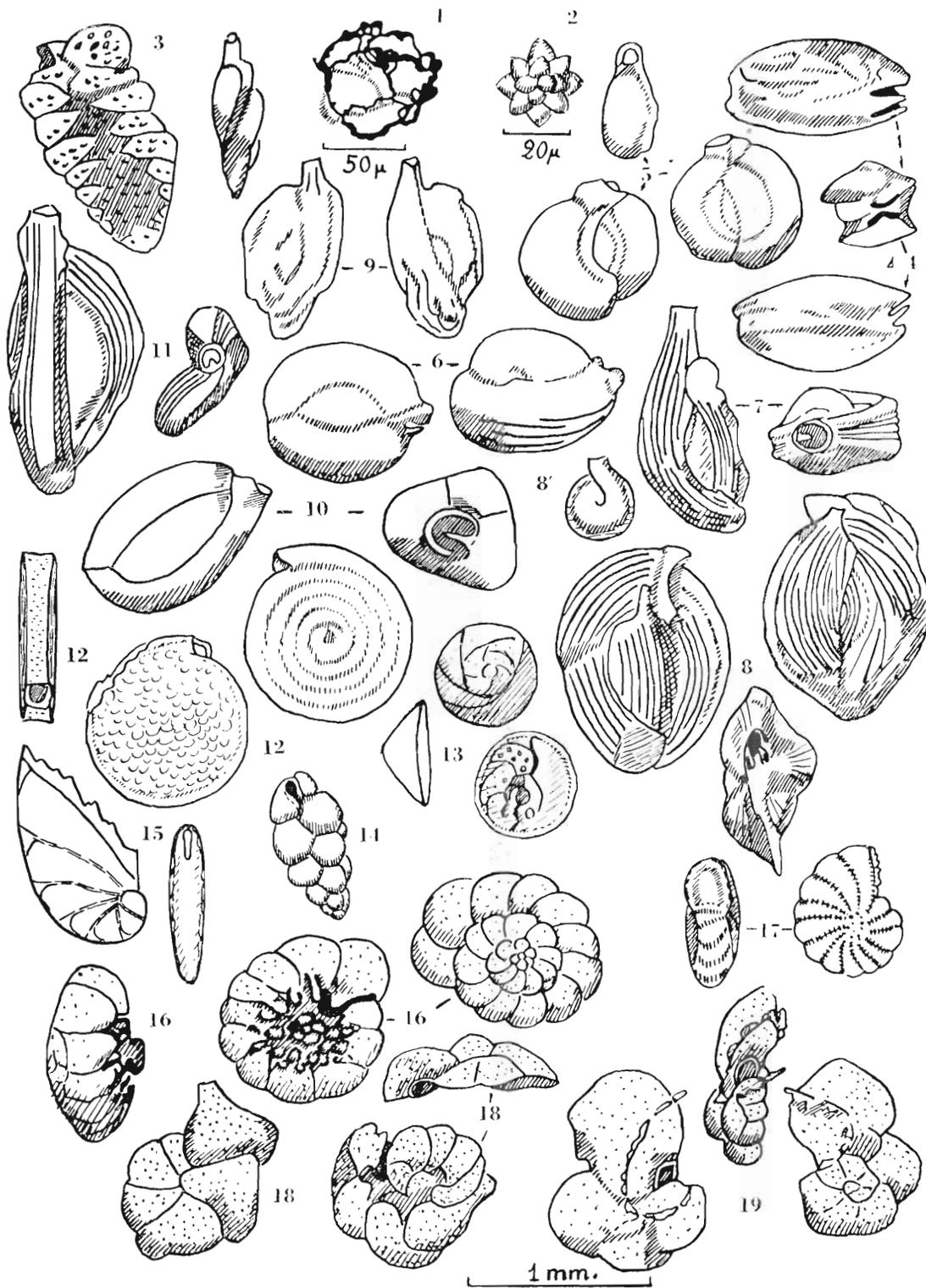
Tous les échantillons présentent (de 0,2 à 2 mm.) une grande abondance de pièces coronales ou de pièces operculaires de petites espèces de *Balanes* (Pl. VI, fig. 6-7). Il ne s'agit probablement pas de *Chtamalus stellatus*, car la surface externe des pièces coronales est tout à fait lisse.

Les coquilles de *Lamellibranches* et *Gastéropodes* sont aussi très fréquentes partout, en coquilles intactes assez rares, ou surtout en débris cassés, usés, parfois corrodés, notamment par des Cliones. On y reconnaît des *Nucula*, *Glycymeris*, *Pecten*, *Chlamys varia*, *Hinnites distortus*, des *Anomya* abondantes, des *Cardium* lisses (gr. de *C. norvegicum*), *Cardium exiguum*, *Cardium edule* (surtout en D, E, F); *Venus ovata* et d'autres *Venus*, *Tapes rhomboideus*, des *Mactra* (*M. subtruncata*); des *Tellina* (*T. planata*, etc.); comme Gastéropodes, *Emarginula rosea* (2 échantillons usés dans les tubes d'Hermelles B), *Calyptra sinensis*, *Bela rufa*, des *Trochus*, *Turbonilla*, *Bittium reticulatum*, *Nassa*, *Murex*, et, dans les tubes d'Hermelles, plusieurs opercules libres. Il semble que la faune des Gastéropodes soit plus riche en A, B et D, c'est-à-dire à proximité des récifs et dans les graviers agités par les vagues, tandis que la faune des Lamellibranches est surtout prospère en F et G, dont les sables très fins constituent pour beaucoup d'entre eux un habitat plus tranquille. L'échantillon G est du reste spécialement intéressant par sa richesse (0,4 à 0,5 mm.) en très petits Lamellibranches intacts; on a pu y reconnaître notamment *Nucula*, *Lima*, *Anomya*, *Cardium*, *Mactra*: c'est du naissain, manifestement, donc un élément planctonique, le principal et peut-être le seul de toutes ces faunes.

Les organismes les plus fréquents, après les Balanes et les Mollusques, sont les *Calci-sponges*, représentées par des spicules triaxones ou tétraxones, voire même monaxones, faits d'un cristal unique de calcite (0,5 à 0,05 mm.) (Pl. VI, fig. 8).

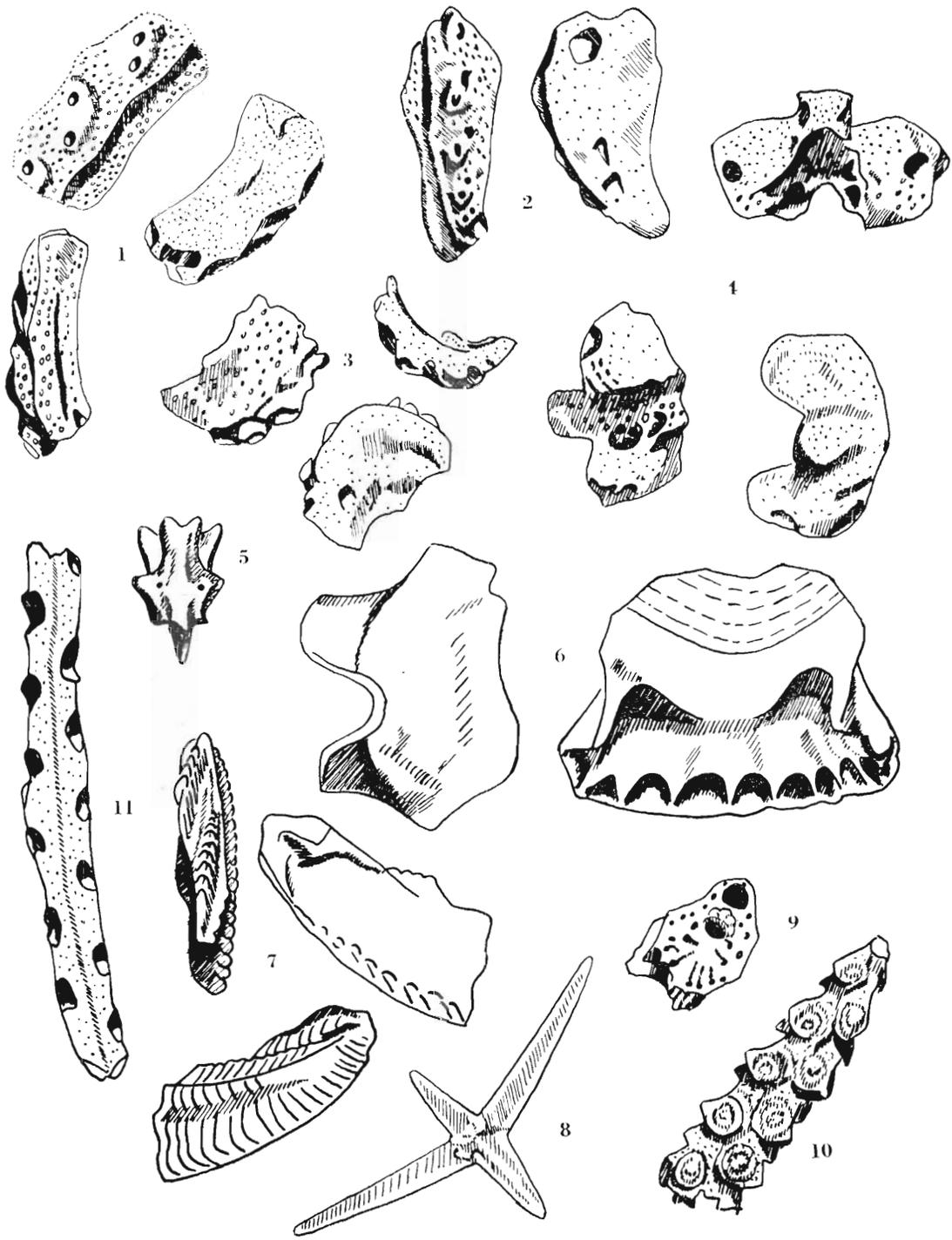
Certains sont bien limpides; d'autres marqués de petites cupules, d'où partent de fines perforations d'abord rectilignes ou presque, qui évoluent en s'élargissant, se multipliant, et deviennent très irrégulières, remplissant presque entièrement le spicule; ce sont vraisemblablement des *Champignons perforants*.

Il est difficile de classer par ordre d'abondance les autres organismes. Les *Foraminifères*, tous benthiques, sont surtout bien représentés dans les sables F et G, où on a reconnu



Pl. V. — Microorganismes principaux des sables F et G

- |  |  |
|--|--|
| 1. Bulle de mazout ou scorie?                        | 10. <i>Triloculina trigonula</i> (LAMARCK)                   |
| 2. Spicule de Didemnidé.                             | 11. <i>Tr</i> ( <i>Sigmoulima</i> )?                         |
| 3. <i>Textularia</i> sp.                             | 12. <i>Spirillina limbata</i> BRADY H. B.                    |
| 4. Miliole usée, peut-être fossile.                  | 13. <i>Discorbis</i> aff. <i>bertheloti</i> (D'ORB).         |
| 5. <i>Quinqueloculina subrotunda</i> (MONTAGU).      | 14. <i>Virgulina</i> sp.                                     |
| 6. <i>Q</i> cf <i>brongniarti</i> D'ORBIGNY.         | 15. <i>Astacolus crepidula</i> V. REUSS.                     |
| 7. <i>Q. pulchella</i> D'ORB.                        | 16. <i>Streblus beccarii</i> (LINNÉ).                        |
| 8. <i>Q. (Adelosina) bicornis</i> (WALKER et JACOB). | 17. <i>Elphidiella</i> cf. <i>arctica</i> (PARKER et JONES). |
| 8a. Embryon d' <i>Adelosina</i> .                    | 18. <i>Cibicides</i> cf. <i>lobatulus</i> (WALKER et JACOB). |
| 9. <i>Q. (Ad.) duthiersi</i> SCHLUMBERGER.           | 19. <i>Planorbulina mediterraneensis</i> (D'ORB).            |



Pl. VI. — Organismes des sables F et G.

- 1, 2, 3 : pièces brachiales latérales d'Ophiures
- 4, 5 : vertèbres brachiales d'Ophiures.
- 6 : pièce coronale de Balane.
- 7 : pièce operculaire de Balane.
- 8 : spicule de Calcisponge.
- 9 : loge de Bryozoaire cheilostome.
- 10, 11 : fragments de colonies de Bryozoaires.

(Pl. V) (1) *Textularia* sp., *Quinqueloculina subrotunda* (MONTAGU), *Q.* cf. *brongniarti* (D'ORB), *Q. pulchella* (D'ORB), *Q.* (*Adelosina*) *bicornis* (WALKER et JACOB), *Q.* (*Ad.*) *duthiersi* (SCHLUMBERGER), *Triloculina trigonula* (LAMARCK), *Triloculina* (*Sigmoilina*)?. *Dentalina guttifera* (D'ORB), *Spirillina limbata* (H. B. BRADY), *Discorbis* aff. *bertheloti* (D'ORB), *Virgulina* sp., *Astacolus crepidula* (V. REUSS), *Streblus beccarii* (LINNÉ), *Elphidium crispum* (LINNÉ), *Elphidiella* cf. *arctica* (PARKER et JONES), *Cibicides lobatulus* (WALKER et JACOB), *Planorbulina mediterraneensis* (D'ORB).

C'est surtout des Miliolidés qu'on retrouve en G ; *Str. beccarii* est fréquent partout, tandis que les autres formes à test perforé : *Elphidium*, *Cibicides*, etc., se rencontrent sur-

TABLEAU 8. — Répartition des Foraminifères des sables.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
<i>Quinq subrotunda</i> . . . . .	+	+	+	+				+	
<i>Q cf. brongniarti</i> . . . . .				+					
<i>Q pulchella</i> . . . . .	+	+	+			+			
<i>Q. bicornis</i> . . . . .	+	+	+	+	+	+	+		
<i>Q duthiersi</i> . . . . .									
<i>Tr trigonula</i> . . . . .	+	+	+	+	+	+			
<i>Dent. guttifera</i> . . . . .		+							
<i>Spri limbata</i> . . . . .	+								
<i>Disc. aff. bertheloti</i> . . . . .	+			+					
<i>Ast crepidula</i> . . . . .	+	+	+		+		+		
<i>Str beccarii</i> . . . . .	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Elph. crispum</i> . . . . .	+	+	+		+			+	
<i>Elph. cf. arctica</i> . . . . .	+	+							
<i>Cibic. lobatulus</i> . . . . .	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Pl mediterraneensis</i> . . . . .	+		+	+	+	+	+		

I : Océan atlantique, arctique, Scandinavie (21, 30, 38).  
 II : Plages de Dunkerque (44).  
 III : Roscoff (1, 27).  
 IV : Belgique (22).  
 V : Golfe de Gascogne (17).  
 VI : Rance (37).  
 VII : Tangué (31).  
 VIII : Argile des polders (18).  
 IX : Bassins à flot de Saint-Malo (36).

tout dans les échantillons B, D, E, F ; A et C ont paru très pauvres en Foraminifères, l'un sans doute parce que trop grossier, l'autre trop fin.

Il y a assez peu d'analogie entre cette faune et celle signalée, de la tangué, par J. JACQUET : 5 espèces communes (tableau 8), et, en plus, des espèces différentes de 5 genres. On notera qu'il n'y a qu'une Miliole commune, qui est la seule Quinqueloculine de la tangué,

(1) L'étude des Foraminifères, confiée à M. TIENTANT, sera publiée ultérieurement. La liste que nous donnons ne comporte que les formes les plus fréquentes.

alors qu'il y a 5 Quinqueloculines dans les sables étudiés ici. La même remarque s'appliquera aux argiles des polders néerlandais.

En cherchant des comparaisons plus générales, on constate que, sur 15 espèces reconnues, 12 sont signalées de l'Océan atlantique et des mers arctiques et scandinaves (21, 30, 30), 10 des plages de Dunkerque (44) ; les 9 espèces communes à ces deux régions sont aussi citées dans les eaux de Roscoff (1, 27) ; 8 se retrouvent en Belgique (21), 7 dans le Golfe de Gascogne (17) et la Rance (37), 5 dans la tange (31), 4 dans l'argile des polders (18) ; une seulement, et des plus banales (*Cibicides lobatulus*), a été rencontrée dans les bassins à flot de Saint-Malo (36) (tableau 8).

Les *Bryozoaires* sont abondants partout ; ce sont des *Cyclostomes*, notamment des *Hornca* (0,4 mm. et au-dessous) et aussi des *Crisia*, et des *Cheilostomes*, *Cellepora* abondants en petits fragments (2 à 0,5 mm.), *Cellaria* en fins articles cylindriques (0,5 à 0,2 mm.), portions de colonies de type *Membranipora* (0,5 à 0,08 mm., échantillons A, E, F, G, surtout) (Pl. VI, fig. 9 à 11). Les *Annélides* sont représentées par des tubes de *Serpules* : portions fixées, à section trigone, ou dressées, circulaires, en A (0,5 mm.), B (0,08 mm.), D (1,4 mm.), E et F (0,3 mm.) ; des *Spirorbis* (B, 0,5 mm.), et des fragments de tubes d'Hermelles (D, 1,4 mm ; F, 0,5 mm.) ; en E, nous avons déjà noté l'existence de tubes de *Lanice*.

Les *Echinodermes* sont nombreux et variés. Les *Oursins* sont représentés par des fragments de plaques, mais surtout des tronçons de radioles, appartenant soit au type morphologique « *Echinus* », ici sans doute *Strongylocentrotus*, présent dans tous les échantillons (1,4 à 0,15 mm.), soit de type morphologique « *Spatangus* », oursins de sable, sans doute *Echinocardium*, beaucoup plus rares (C, E et F, 0,5 mm., G, 0,09 mm.). Des vertèbres et des piquants d'Ophiures (Pl. VI, fig. 4 et 5) existent dans toutes les stations, dans les refus de tamis de 0,8 à 0,2 mm., et, en D, dans des fractions bien plus fines (0,09 mm.) ; des pièces brachiales latérales (Pl. VI, fig. 1 à 3), avec leurs tubercules biperforés qui supportent les piquants, sont fréquentes entre 0,6 et 0,4 mm. dans A, E, F et G notamment. Les fractions très fines (au-dessous de 0,1 mm.) sont souvent assez riches en spicules d'Holothuries, soit en plaques ovales d'une seule épaisseur de mailles, soit en petites sphères muriformes (*Cucumaria* ?) (B, D, E, F, G).

De façon assez générale aussi, et uniquement dans le matériel très fin (au-dessous de 0,1 mm.), on rencontre des spicules d'Alcyonaires courts, portant de nombreux tubercules eux-mêmes épineux, peut-être un *Alcyon* (tous les échantillons, sauf C) ; d'autres, en baguettes fines, allongées, simples et unies, sont des spicules de *Pennatulidées*, des apports du large par conséquent (A, C), à moins qu'il ne s'agisse de piquants de Chiton — mais aucune plaque de ces Amphineures n'a été observée.

Les Crustacés sont représentés presque partout par des débris de pinces ou de carapaces, à aspect finement mammelonné — et surtout par de nombreuses valves d'Ostracodes lisses ou ponctuées, dans les portions de 0,5 à 0,1 mm. — surtout en D et G, mais aussi en B, E et F. Enfin, on rencontre assez exceptionnellement (E, G, 0,2 à 0,1 mm.) des spicules monaxones de Silicisponges — ainsi que dans les parties très fines, décalcifiées, de F, de fines aiguilles indéterminées percées de trous, faites de silice, et, cependant, rappelant par leur forme et leur dimension certaines épines de larves plutéennes d'Oursins. Enfin, en D, dans la fraction sableuse plus fine que 45  $\mu$ , nous avons pu observer un spicule de *Didemnidé* (Pl. V, fig. 2).

Le règne végétal est représenté par des débris de bois assez fréquents, très petits, des Lithothamniées recollées, très rares (F), ou en mince placage sur des graviers siliceux (A) par les Champignons corrodants déjà décrits dans les spicules de Calcisponges ; enfin par

de très nombreuses Diatomées, surtout visibles naturellement dans les portions fines du matériel décalcifié : ce sont des *Centrisques* (*Coscinodiscus* : A, F ; *Triceratium* : D) ou des Pennées (notamment *Biddulphia*, surtout en C).

Enfin nous citerons la présence de sortes de petites cages noires, grossièrement sphériques, faites d'un treillis très lâche de filaments irréguliers (Pl. V, fig. 1). Ces objets, que MM. HOLLANDE et CACHON nous ont fait observer en très grande abondance dans le plancton des environs d'Alger, pourraient peut-être s'interpréter, à la lumière de ce qu'ils nous ont montré, comme de la matière charbonneuse non brûlée entourant les bulles de gaz de combustion des moteurs marins, ou, selon la suggestion de M. DURCHON, comme des bulles de scorie. En ce cas, cela pourrait devenir un excellent « fossile caractéristique » des sédiments du xx<sup>e</sup> siècle, si, comme il le semble, puisqu'on les retrouve, au Mont Saint-Michel, dans des résidus de tamisage, ces objets à l'aspect de dentelles sont susceptibles d'une certaine solidité.

Dans l'ensemble, les éléments organiques de ces sédiments ont une origine littorale ou intercotidale, qui s'accorde parfaitement avec les conclusions de J. JACQUET (31). C'est, du reste, à peu près uniquement sur les Mollusques et sur les Foraminifères (1) qu'on peut baser une telle conclusion, les autres groupes n'ayant fourni aucun reste caractéristique à ce sujet.

## CONCLUSIONS

Au terme de la description des sédiments étudiés, il nous faut d'abord les comparer avec ceux qui sont connus déjà dans la région, c'est-à-dire ceux décrits par J. JACQUET, à l'occasion de son étude très poussée sur la *Spartina Townsendi*, Graminée des prés salés et de leur voisinage immédiat.

Les coquilles trouvées par J. JACQUET (31) dans la *tangue*, qu'il a spécialement étudiée, sont, dans l'ensemble, les mêmes que celles que nous avons relevées ; les ressemblances sont si nombreuses qu'il vaut mieux signaler plutôt les dissemblances : nous n'avons rien vu qui rappelle *Barnea candida*, ni les *Sertulaires* si nombreux en placage sur la tangue, ni *Helix*, ni otholithes de poissons osseux ou de raies. Mais, si à part cela l'ensemble faunique semble bien le même, il ne faut pas oublier — et J. JACQUET y a insisté — que ces coquilles sont des épaves amenées de loin : du large ou de Cherrueix, dans la tangue ; comme dans nos sédiments, leur association est, non pas une « biocœnose », mais une « thanatocœnose », une association de cadavres, qui n'a pas de sens biologique ou bionomique marqué ! Or, à côté des très grandes analogies qui en résultent, nous devons noter, entre les tangues et nos sédiments, une très grande dissemblance granulométrique. Les tangues étudiées par J. JACQUET présentent à ce sujet des caractéristiques absolument typiques et constantes : trois maximum, 0,2, 0,085, 0,002 mm., séparés — J. JACQUET le spécifie — par des intervalles où il n'y a pratiquement rien. C'est, naturellement, la traduction des extraordinaires conditions de sédimentation de cette tangue. Rien de pareil dans nos sédiments. La répartition en est beaucoup plus continue. Et il n'y a pas ces maximum brutaux ; les maximum qui existent ne se correspondent pas entre eux, et ne correspondent pas à ceux de la tangue. Ainsi, malgré l'impression première, les dissemblances l'emportent sur les ressemblances, et nos sédiments, même les plus fins (C), ne sont absolument pas des tangues ni des sédiments apparentés à celles-ci. Notons, au reste, que les ressemblances portent sur un matériel qui, dans les deux cas — mais encore bien plus pour la tangue —, est allogène. Insistons un peu sur les différences organiques : on trouve dans la tangue des *Barnea* qui viendraient du Nord (21, p. 182), des *Sertulaires*, du Nord aussi, sans doute, où sont les

rochers couverts de goémon ; des *Helix*, de la terre. Tout compte fait, nos sédiments se sont déposés entre le lieu d'origine de la plus grande partie du matériel organique de la tanque — le golfe, au delà de la ligne des plus basses mers — et le lieu où se forme la tanque — et leurs caractères le traduisent exactement.

Avec les sables grossiers décrits par J. JACQUET, il y a une grande analogie granulométrique. Mais nous n'avons naturellement jamais trouvé ni les grosses Nasses (*Nassa reticulata nitida*), ni les Scrobiculaires, des faciès saumâtres. Les analogies sont purement mécaniques, les deux sables étant déposés dans des milieux différents, sous l'action dominante des brisants.

Nous avons tenté aussi des comparaisons avec des sables marins divers, notamment ceux étudiés par L. BERTHOIS (3, 4). Les comparaisons sont assez difficiles et souvent décevantes. La fraction sableuse de A, ou le sable E, ne sont pas sans ressemblance avec les sables dont les stations 320, en Méditerranée, 441, en Atlantique, sont de bons exemples : 441 provient d'une profondeur de 70 mètres entre Belle-Ile et Penmarc'h, à la bordure supérieure d'un talus assez marqué ; 320, de 50 à 60 mètres, sur la côte de Provence.

Par contre, il y a des ressemblances nettes entre A, E et certains des sables de la plage du Portzic, près de Brest (7). L. BERTHOIS insiste sur le fait que les conditions géographiques très diverses influent sur la granulométrie du sable, qui est très variée, et ne permet pas de mettre tel type de sable sous la dépendance de tel ou tel phénomène mécanique.

Enfin, nous avons essayé de rapprocher les sables du Mont Saint-Michel de ceux étudiés par nous-mêmes dans les environs de Concarneau (34). Seuls, A et F du Mont Saint-Michel d'une part, et 2-3-4 de Concarneau d'autre part, se sont prêtés à ce rapprochement. Les courbes cumulatives de 2-3-4 CC et F sont presque superposables, avec des diamètres moyens très comparables : 0,25 pour F, 0,28 pour 2 et 3, 0,15 pour 4 ; A donne aussi une courbe presque superposable, mais après translation (diamètre moyen 0,7). Les courbes de fréquence indiquent, au contraire, une différence importante. Dans les sables A et F du Mont Saint-Michel, le maximum de fréquence coïncide à peu près exactement avec le diamètre moyen, tandis que dans 2, 3, 4 de Concarneau, le maximum de fréquence correspond à des diamètres franchement inférieurs au diamètre moyen. Pour faire ressortir cette différence, il faudrait calculer l'indice d'asymétrie, non pas systématiquement sur le diamètre moyen, mais d'après le point de la courbe cumulative qui correspond au maximum de la courbe de fréquence, quel que soit ce point. Ainsi apparaîtrait, dans le cas des sédiments concarnois cités, une très forte asymétrie que ne traduisent pas les coefficients habituellement utilisés.

Du reste, les sables 2, 3, 4 de Concarneau eux-mêmes correspondent à des milieux très divers : plage très côtière, au voisinage des rochers, pour 2 ; fonds plus franchement marins, littoraux mais non côtiers (3 et 4), dans un milieu agité de courants de marée, agité aussi par les fortes vagues des tempêtes qui sévissent durement dans ces parages. Le seul caractère commun entre ces sables concarnois et les échantillons A et F du Mont Saint-Michel est donc le fait qu'ils ont vraisemblablement tous subi une lévigation ; encore est-il que cette lévigation a eu des résultats différents dans les deux cas.

### **Conclusions générales.**

Nous avons vu l'importance que, d'après L. BERTHOIS, peuvent avoir les conditions locales sur les caractères d'un sable. Il est donc intéressant d'essayer d'étudier les sables marins dans un milieu aussi uniforme que possible, c'est-à-dire sur de grandes étendues où

les accidents susceptibles de modifier localement les conditions sont le plus rares, le plus éloignés ou le plus négligeables possible. Il semble que l'estran de la Baie du Mont Saint-Michel, au bas des marées de vives eaux, réponde assez bien à ces *desiderata*. Mis à part les constructions des Hermelles, les bancs de graviers coquilliers, les ravins creusés par les courants de jusant, il n'y a pas d'accidents majeurs : rochers ou ligne côtière sont situés à des kilomètres de là, leur action perturbatrice ne peut être qu'insensible. Les courants de jusant, outre leur action érosive locale, entraînent vers le large les argiles et les colloïdes divers : tangues ou apports fluviaux qui se déposent sur l'estran (31, p. 208) et peuvent ultérieurement s'intégrer au sédiment en formation. Les vagues, qui déferlent surtout à la bordure externe de la grève (A) ou à l'accorre des bancs, ne brisent ailleurs que sous l'action du vent qui les force, la profondeur restant trop faible pour permettre la propagation simple de la houle ; l'agitation qui en résulte se traduit par l'existence, notamment, de courants de translation, probablement assez constants quant à leur vitesse maximum, et explique bien ainsi l'ablation des fines que nous avons notée.

Un élément de diversité subsiste : l'activité constructrice des Hermelles. Encore ne peut-on trop insister sur ce point ; en effet, ces récifs sont répandus sur d'immenses étendues, et on ne peut dire qu'ils apportent une perturbation au milieu : ils sont, localement, un des caractères essentiels du faciès géologique de cet estran, indissociable des sables voisins, dont ils sont faits et qu'ils contribuent à fixer, ou même, par leur destruction plus ou moins complète, à régénérer.

Aussi, étant donné l'uniformité, toute relative, mais cependant sensible, des facteurs mécaniques et organiques en présence, on peut espérer que les sables de la Baie devraient pouvoir servir d'étalons de comparaison, beaucoup plus que ceux recueillis dans des sites aux conditions plus complexes. C'est dans cet espoir que nous en avons donné ici une analyse qui, nous l'espérons, pourra être utile à d'autres chercheurs dans l'interprétation de cas analogues ou même plus complexes, en attendant que des prélèvements plus nombreux permettent une connaissance plus approfondie de cette Baie exceptionnelle.

## BIBLIOGRAPHIE

1. AUROUZE (G.). — Etude de Foraminifères actuels de la Manche au voisinage de Roscoff. Diplôme Et Sup., 1952, Lab. Géol. Appl. Sorbonne.
2. BERNARD (F.), LÉCAL (J.), CODYMAT (R.). — Etude des sédiments marins au large d'Alger, teneur en azote et carbone organique. *Bull. Inst. océanogr.*, Monaco, n° 963, 1950, 11 p., 4 fig.
3. BERTHOIS (L.) — Contributions à l'étude des sédiments de la Méditerranée occidentale. *Ann. Inst. océanogr.*, nouvelle série, **20** (1), 1939, 50 p., 7 fig.
4. BERTHOIS (L.). — Recherches sur les sédiments du Plateau continental atlantique. *Ibid.*, **23** (1), 1946, 63 p., 9 fig.
5. BERTHOIS (L.). — Remarques sur la statistique granulométrique dans l'étude des sables. *Circulaire C.R.E.O., R.T.B.*, n° 3, 1949.
6. BERTHOIS (L.). — Contribution à l'étude de l'érosion marine et la formation des galets. *Bol. Soc. Geol. Portugal*, **8**, 1949, 55 p., 33 fig.
7. BERTHOIS (L.). — Granulométrie comparée de quelques sables marins. *Bull. Soc. Sc. Bretagne*, **25**, 1950, p. 31-62.
8. BERTHOIS (L.). — Genèse et caractère des galets argileux en Loire. *C. R. somm. S. G. P.*, 1952, p. 264-266.

9. BERTHOIS (L.). — Contribution à l'étude lithologique de l'Archipel des Açores. *Commun. Serv. Geol. Portugal*, **34**, 1953, 195 p., 29 tabl., 49 fig., 13 pl. dessins et photo.
10. BERTHOIS (L.). — Remarques sur la granulométrie des sables de plage de Saint-Quay. *Bull. Soc. Lin. Normandie*, 9<sup>e</sup> série, **6**, 1951-53 (1954), p. 30-34.
11. BOURCART (J.). — Essai d'une classification raisonnée des matériaux meubles. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, **5**, XI, 1941, p. 117-153.
12. BOURCART (J.), JACQUET (J.). — Sur la répartition des sédiments dans la Baie du Mont-Saint-Michel. *C. R. Ac. Sci.*, **222**, 1946, p. 1507-1508.
13. BOURCART (J.), JACQUET (J.), FRANCIS-BŒUF (Cl.). — Sur la nature du sédiment appelé tangué. *C. R. Ac. Sci.*, **218**, 1944, p. 469-470.
14. BOURCART (J.), JACQUET (J.), FRANCIS-BŒUF (Cl.). — Sur les conditions de dépôt de la tangué dans la Baie du Mont-Saint-Michel. *Ibid.*, **218**, 1944, p. 763-764.
15. BOURCART (J.), JACQUET (J.), FRANCIS-BŒUF (Cl.). — La tangué de la Baie du Mont-Saint-Michel. *C. R. somm. Soc. Biogéogr.*, n° 178-179, 1944, p. 43-46.
16. BOURCART (J.), ROMANOWSKY (Vs.). — Sur les propriétés physiques d'ensemble du sédiment appelé tangué. *C. R. Ac. Sci.*, **219**, 1945, p. 74-76.
17. VAN DEN BRÛEK (E.). — Liste des Foraminifères du Golfe de Gascogne. *Fonds de la Mer*, **2**, 1874, p. 146-153.
18. VAN DEN BRÛEK (E.). — Note sur les Foraminifères de l'argile des polders. *Ann. Soc. belge de Microscopie*, **3**, 1876-77, p. 1-10.
19. BRUET (E.). — Contribution à l'étude de certaines concrétions des lacs et cours d'eau de l'Amérique du Nord. *Bull. S. G. F.*, **5** (12), 1942, p. 3-14, pl. 1.
20. CAILLEUX (A.). — Limites dimensionnelles et noms des fractions granulométriques. — *Bull. S. G. F.*, **6**, IV, 1954, p. 643-646.
21. CUSHMAN (J. A.). — The Foraminifera of the Atlantic Ocean. *Smith. Inst., U. S. Nat. Mus., Bull.*, 1918-1931.
22. CUSHMAN (J. A.). — Recent Belgian Foraminifera. *Inst. Royal Sci. Nat. Belg., mém.* 111, 1949, 59 p., 10 pl.
23. DANGEARD (L.). — Documents géologiques concernant les dragages du « Pourquoi Pas ». Première partie de la croisière (juin-juillet 1926). *Bull. Soc. Géol. Min. Bretagne*, **7** (3-4), 1927, p. 198-200.
24. DANGEARD (L.). — Glauconie actuelle dans la zone néritique. *C. R. Ac. Sci.*, **183**, 1926, p. 1346-1348.
25. DANGEARD (L.). — Observations de géologie sous-marine et d'océanographie relatives à la Manche. *Ann. Inst. océanogr.*, **6** (1), 1929, 296 p., 8 pl., 18 cartes.
26. DEMOLON (A.). — La dynamique du sol. Principes d'agronomie. I. Dunod, Paris, 1932.
27. DOUVILLE (Fr.). — Foraminifères de Roscoff. *Trav. St. biol. Roscoff*, **14**, 1936, 9 p.
28. DUCHAUFOUR (Ph.). — Pédologie. Centre de Docum. Universit., 171 p. ronéotypées.
29. GALAINE (C.), HOULBERT (C.). — Les récifs d'Hermelles de la Baie du Mont-Saint-Michel. *C. R. Ac. Sci.*, **162**, 1916, p. 613-614.
30. GOES (A.). — A Synopsis of the Arctic and Scandinavian recent marine Foraminifera hitherto discovered. *Kungl. Svenska Vetensk. Acad. Handlingar*, Bd. 25, N. 9, 1892, 128 p., 25 pl.
31. JACQUET (J.). — *Spartina Townsendi*, GROVES (H. et J.). — 1881. Anatomie. Répartition géographique. Ecologie. Paris, Lechevalier, 1949, 374 p., 69 fig., très importante bibliographie.
32. KERFORNE (F.). — Sur la disparition des récifs d'Hermelles de la Baie du Mont-Saint-Michel. *P. P. Soc. Géol. Min. Bretagne*, **4** (4), 1923, p. 301.

33. KING (C. A. M.). — Depth of disturbance of sand on sea beaches by waves. *J. Sed. Petrol.*, **21** (3), 1951, p. 131-140.
  34. LEFEBVRE (P.), LUCAS (G.). — Etude de quelques sédiments marins des environs de Concarneau (Finistère). *Bull. Inst. océanogr.*, Monaco, n° 1062, 1955, 35 p., 6 fig., 1 pl.
  35. LUX (R.). — Sur la teneur en matière organique des sédiments marins à Monaco et à Concarneau. *Ibid.*, n° 760, 1938.
  36. MARIE (P.). — Sur les Foraminifères des bassins à flot de Saint-Malo. *Bull. Labor. Marit. Dinard*, **18**, 1938, p. 31-33.
  37. MARIE (P.). — Sur la faune de Foraminifères de l'estuaire de la Rance. *Ibid.*, **20**, 1938, p. 68-86.
  38. PARQUER (W. K.), JONES (T. R.). — On Some Foraminifera from the North Atlantic and Arctic Oceans, including Davis Straits and Baffin's Bay. *Phil. Trans.*, **155**, 1865, p. 325-442, pl. 12-19.
  39. PETITJOHN (F. J.). — Sedimentary rocks. Harper and B<sup>r</sup>, New York, 1949, 526 p., 131 fig., 40 pl.
  40. PRENANT (M.). — Sur quelques types de sables littoraux. *C. R. somm. Soc. Biogéogr.*, 13<sup>e</sup> année, 1936, p. 1-3.
  41. RIVIÈRE (A.). — Expression analytique générale de la granulométrie des sédiments meubles. *Bull. S. G. F.*, **6** (2), 1952, p. 155-167.
  42. RIVIÈRE (A.). — Méthode d'interprétation de la granulométrie des sédiments meubles. *Rev. Inst. Fr. Pétrole*, numéro spécial, 1953, p. 102-107, 2 fig.
  43. SCHLUMBERGER (C.). — Note sur le genre *Adelosina*. *Bull. Soc. Zool. Fr.*, **11**, 1886, p. 91-104, pl. 16.
  44. TERQUEM (O.). — Essai sur le classement des animaux qui vivent sur la plage et dans les environs de Dunkerque, Paris, 1875, 143 p., 17 pl.
  45. TWENHOFEL (W. H.), TYLER (S. A.). — Methods of study of sediments, New-York et Londres, Mac Graw-Hill, 1941, 183 p., 15 fig.
-