

LA RÉPARTITION DES FONDS SOUS-MARINS AU LARGE DE ROSCOFF (FINISTÈRE)

par

Gilbert Boillot

Laboratoire de Géographie Physique et de Géologie Dynamique de la Faculté des Sciences, Paris.

Résumé

Un travail océanographique a été entrepris dans la Manche, au large de Roscoff (Finistère). L'auteur résume ses observations sur les fonds rocheux et sédimentaires dont il a dressé une carte à l'aide de 900 dragages. Il montre que les fonds meubles sont actuels ou quaternaires, et que les fonds rocheux sont parfois calcaires (éocènes). La répartition des dépôts du littoral vers le large est décrite, et les mécanismes de la sédimentation analysés. Les remaniements de roches anciennes sont importants, mais actuellement les apports d'origine biologique le sont encore plus, au-delà du « prisme littoral ». Ce sont les courants de marée qui répartissent les dépôts suivant leur force, en transportant les grains depuis les zones productrices, privées de sédiment, vers les zones d'accumulation, qui sont parfois de vastes dunes hydrauliques.

Abstract

An oceanographic research program was undertaken in the Channel area off Roscoff coast (Finistere). A sedimentary chart was drawn. It shows that rock grounds are sometimes calcareous (eocene) and that soft sediments are pleistocene or recent. The author studies the sedimentary patterns and the mechanisms of deposition. The reworking of old rocks is important, but more important is the biological sedimentation off the "littoral prism". The main transportation agents are the tidal currents that carry away the grains from the production area to accumulation regions, sometimes characterized by hydraulic dunes.



Les géologues ont longtemps admis que les dépôts sont répartis du plus grossier au plus fin quand on s'éloigne de la côte vers le large. C'est poser comme principe que les matériaux viennent du continent et du littoral, et que la mer ne fait que les trier selon l'éloignement du rivage et la profondeur. Mais les observations océanographiques n'ont pas toujours confirmé ces idées, bien au contraire. En Manche, par exemple, tout se passe autrement. Les sédiments fins sont littoraux, localisés au fond des baies ou dans les estuaires ; puis se trouvent des sables, et enfin, au large, des graviers et des cailloutis. Faut-il admettre que l'origine de ces sédiments est en mer et que les courants les répartissent vers la côte ?

La Manche est une mer épicontinentale, comme le furent autrefois le bassin parisien et le bassin de Londres, dont elle faisait alors partie. De nos jours, elle seule est revenue au domaine maritime. Depuis combien de

temps ? Les dépôts actuels sont-ils comparables à ceux du Bassin de Paris, par exemple, formés au cours du Tertiaire ?

Les réponses à ces questions sont encore très incomplètes. La Manche est mal connue malgré de multiples recherches, et y entreprendre ce nouveau travail n'était sans doute pas inutile. La première partie en est achevée et m'a permis de dresser une carte précise des fonds dans une région délimitée. Cette carte doit sans doute intéresser les écologistes, à la recherche des différents milieux de vie, et c'est pourquoi je la présente ici.

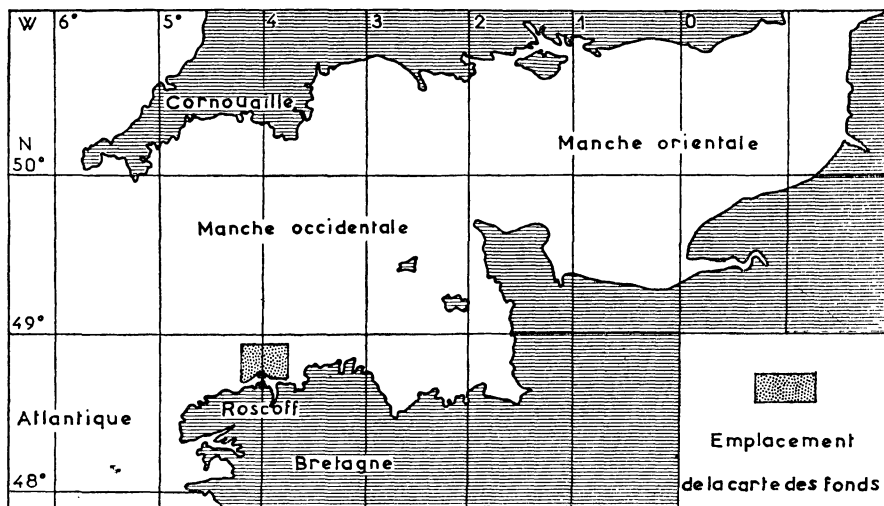


FIGURE 1

Situation géographique de Roscoff et emplacement de la carte des fonds.

Pour ces recherches, Roscoff est un centre très favorable (fig. 1). L'Université de Paris y possède un beau laboratoire et un solide bateau de 22 m, « le Pluteus ». Les biologistes, qui aident et continueront mon travail au point de vue écologique, y sont à demeure. C'est ainsi que L. Cabioch fut chargé de décrire la faune là où je prélevais des sédiments, et dessinera une carte des populations animales sur la carte des fonds. Ces renseignements, à leur tour, me seront très utiles pour localiser l'origine des débris organogènes qui forment beaucoup de dépôts.

Enfin, la Bretagne est un pays peu élevé, où les rivières ont un débit faible et régulier qui ne perturbe pas les phénomènes marins. Elles traversent des terrains hercyniens, surtout granitiques et schisteux, jamais calcaires. Leurs apports sont à la fois réduits et de nature homogène, ce qui simplifie l'étude de la sédimentation.

J'ai donc trouvé à Roscoff de très bonnes conditions, qui ont favorisé mon étude. C'est un plaisir pour moi de remercier mon Professeur, J. Bourcart, qui m'a conseillé d'y travailler, et le Directeur de la Station, G. Teissier, qui m'en a ouvert les portes, mettant à ma disposition tout ce dont j'avais besoin. C'est sous sa direction que l'étude de la faune a été entreprise par un biologiste pendant que je m'occupais des fonds. Nous avons formé en mer, zoologiste et géologue, avec les marins du « Pluteus », cette équipe de travail sans laquelle rien n'aurait été fait. Je suis heureux de remercier tous ces précieux collaborateurs.

HISTORIQUE

Les cartes marines publiées par le Service Hydrographique portent toujours des indications lithologiques des fonds. De nombreux auteurs ont utilisé ces précieuses données en y ajoutant leurs observations personnelles. Le premier fut Delesse en 1871. Il a décrit les sédiments de la Manche : ce sont des sables, des graviers, des cailloux, selon la force des courants ; toujours d'après Delesse, les cailloux sont privés de sable par les mouvements de l'eau. Quant aux graviers, dont le contour est inexplicable par le jeu des courants actuels, ils sont anciens, « remaniés du Crétacé ». Ces idées sont très importantes. Il s'y mêle des erreurs, comme par exemple l'origine crétacée des graviers, mais le moteur de la sédimentation dans la Manche, les courants de marée, est déjà reconnu.

A Roscoff même, c'est G. Pruvot, en 1897, qui fit les premières recherches sur la répartition des fonds sous-marins. Son but était en réalité d'étudier la géographie des organismes. Mais à ce propos il eut à décrire les milieux biologiques et on lui doit une carte lithologique qui s'étend à trois milles au N de Batz, autant à l'W de Roscoff et à plus de 6 milles à l'E.

Dans le mémoire qui accompagne cette carte, Pruvot sépare nettement la région émergée à marée basse de la zone toujours sous-marine. Mais il semble plus intéressé par la première de ces zones que par la seconde, où ne sont distinguées que des régions rocheuses et des fonds de gravier ou de sable. Pour cette partie, ses tracés ne coïncident pas avec les miens. On peut en conclure que les fonds se sont déplacés depuis soixante ans. Mais le vocabulaire des marins roscovites les désigne par des noms précis, qui se transmettent par la tradition depuis bien plus longtemps. Il est plus probable que Pruvot s'est fié aux indications portées sur les cartes marines, lesquelles sont trop dispersées pour établir des contours.

Il n'en reste pas moins que, pour la zone intercotidale et même la région sous-marine qui s'étend jusqu'à 30 m de profondeur, la carte de Pruvot est un document très précieux. Les biologistes de Roscoff l'utilisent encore. Pour la région située plus au large, ce sont surtout ses idées qu'il faut retenir. Comme Delesse, il insista sur le rôle des courants de marée dans la répartition des fonds. A son avis, ce sont ceux-ci qui ont transporté les coquilles accumulées en certains points et qui empêchent le dépôt de la vase en conservant leur propreté aux sables.

L'étude de la zone intercotidale fut ensuite continuée dans la même région, mais toujours du point de vue écologique, par P. de Beauchamp et ses élèves. De cette étude est né le beau livre : *Les grèves de Roscoff*, qui n'a cessé de faire autorité depuis sa parution en 1914. On peut y lire la description des différentes plages et le rôle des limons et des sables dans leur édification. C'est à cette époque que J. Bourcart commença à travailler à Roscoff. Il y reviendra souvent par la suite et j'aurai à citer son nom de nombreuses fois à propos d'autres études.

En Angleterre, un travail un peu analogue à celui de Pruvot fut entrepris par E. Allen en 1899. Il fut ensuite continué par E. Ford

(1923), J. Smith (1932), H. Ververs (1951), et récemment par N. Holme (1955). Comme Pruvot autrefois, ces auteurs se sont surtout intéressés aux populations animales et, incidemment, à la nature des fonds. Mais on doit y ajouter les observations de L. Crawschay (1908) et de H. Worth (1908), qui sont plus géologiques. Dans le mémoire de Holme, qui résume les précédents en y ajoutant de nouvelles observations, il est décrit 80 prélèvements environ, trop dispersés pour permettre le tracé d'une carte. D'après les échantillons de sédiments qui sont analysés, les fonds semblent moins grossiers près des côtes anglaises qu'aux abords de Roscoff.

Ces travaux ont été faits à partir des stations biologiques et à faible distance. D'autres sont consacrés à la Manche dans son ensemble, ou même à des sujets plus généraux encore. C'est le cas des recherches de J. Thoulet, qui publia en 1922, à la suite de Delesse, une carte lithologique sous-marine des côtes de France, où se trouvent décrits les principaux fonds sédimentaires. Cette carte couvre en particulier la région maritime de Roscoff, mais elle est difficilement utilisable. Thoulet n'a pas pris garde aux changements de fonds qui sont parfois rapides. Si son travail est précieux pour avoir une idée de la nature des fonds dans une mer comme la Manche, il ne peut servir de base à une carte à plus petite échelle.

Par la suite, deux bateaux océanographiques français ont consacré de nombreuses campagnes géologiques à la Manche. Le *Pourquoi Pas* avant 1936 et le *Président Théodore Tissier* à partir de 1935.

Les observations faites à bord du *Pourquoi Pas* sont réunies dans l'important travail de L. Dangeard (1928). La plus grande partie est consacrée au substratum rocheux de la Manche, mais l'étude des sédiments quaternaires et actuels n'a pas été négligée pour autant. Très souvent, le *Pourquoi Pas* a dragué des cailloutis. Beaucoup sont considérés par l'auteur comme des fragments de roche provenant d'affleurements submergés. Mais à son avis, certains autres, qui sont de nature pétrographique variée et sans rapport avec la géologie du tréfonds, ont probablement été transportés au Quaternaire par des glaces flottantes. La mer les a remaniés par la suite : « Il est probable qu'une partie des graviers dragués au large provienne du remaniement des terrains quaternaires » (p. 195). Ces terrains peuvent avoir été cimentés. Dangeard a dragué dans le Golfe de Gascogne des morceaux de Poudingue et il pense que, par leur démantèlement, ces poudingues pourraient fournir des graviers aux sédiments actuels. Il généralise cette hypothèse à la Manche, mais localise le phénomène aux seules lignes de rivage.

Par la suite, c'est à bord du *Président Théodore Tissier*, navire océanographique de l'Office des Pêches, que se poursuivirent ces recherches (L. Furnestin, 1937 ; L. Berthois et L. Furnestin, 1938 ; J. Bourcart, 1955 ; L. et C. Berthois, 1955). Une carte montrant la répartition des fonds fut ébauchée par J. Bourcart. Elle indique au large de Roscoff de vastes surfaces pierreuses qui s'étendent jusqu'au milieu de la Manche. Quand les dépôts sont sableux, ils ont surtout une origine biologique (débris coquilliers, Bryozoaires, etc.). Leur granulométrie est en rapport avec les courants qui se font sentir profondément et déposent des grains de tailles différentes selon leur force (L. Berthois),

Ces idées ont été reprises et développées à l'occasion des études préliminaires à la construction de la grande usine marémotrice du Mont-Saint-Michel (J. Bourcart, 1957 ; J. Bourcart et G. Boillot, 1959). Toute l'étendue de la Baie, entre les Iles Chausey, Cancale et Granville, a été prospectée par 320 dragages et une carte précise de la répartition des sédiments a pu être dessinée. Elle a montré que les dépôts deviennent plus fins et plus calcaires quand on approche de la côte, en même temps que les courants de marée perdent de leur énergie. Ce sont d'abord des graviers, entre Chausey et Cancale, puis des sables biogènes, enfin de la tange, qui est une poudre calcaire littorale. Tous les apports viennent du large, mais actuellement, ils sont surtout organogènes et calcaires.

De l'Angleterre enfin, les géologues ont commencé au cours de ces dernières années, de nouvelles recherches dans la Manche. Mais elles concernent surtout le tréfonds rocheux et non la sédimentation actuelle (W. King, 1954).

Avant de commencer mon travail, je disposais donc d'idées générales nombreuses. Mais les travaux monographiques, à l'exception de la carte du Mont-Saint-Michel, sont plus rares. Mon premier souci a donc été de récolter un très grand nombre d'échantillons, en des points rapprochés, pour tracer les limites exactes de la répartition des sédiments.

MÉTHODES

Il fallait pour mener à bien ce travail deux conditions : calculer sa position avec exactitude, choisir un moyen de prélèvement satisfaisant. Pendant la campagne de 1958 et au début de la première campagne 1959, j'ai utilisé pour faire le point un cercle hydrographique. C'est assurément un moyen précis, mais qui nécessite au moins trois repères sur la terre ferme pour mesurer les angles sous lesquels on les voit du bateau. Cela suppose une bonne visibilité et une courte distance à la terre.

Depuis le printemps 1959, le *Pluteus* a été doté d'un récepteur Decca qui a définitivement remplacé le cercle hydrographique. Le progrès a été considérable. Avec autant de précision (30 mètres), mais sans qu'il soit besoin de voir la côte, par simple lecture sur des cadrans, on calcule en un temps très court sa position à chaque arrêt.

Pour les prélèvements j'ai utilisé la drague Rallier du Baty (fig. 2). C'est un instrument très solide qui peut s'accrocher sur les fonds rocheux sans trop de dommage, et d'un excellent rendement. 90 % au moins des coups de drague sont productifs. Mais les échantillons ne sont pas récoltés en un point précis. La drague traîne nécessairement sur les fonds, parfois sur plus de 50 m, et peut les mélanger. Il arrive souvent que le gravier, par exemple, soit plus ou moins sableux dans un même échantillon. En fait, ce qui est un défaut pour le sédimentologue devient un avantage en cartographie. Un ramasseur Léger donnerait un échantillon prélevé en un point précis, mais on n'aurait aucune idée de l'hétérogénéité des fonds.

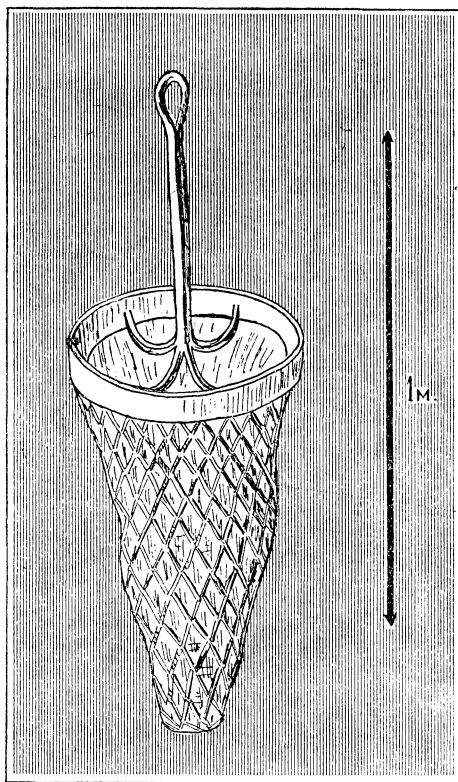


FIGURE 2

Drague Rallier du Baty
(le filet de la drague est doublé intérieurement d'un sac de toile).

Au total, nous avons réalisé près de 900 dragages, régulièrement répartis sur une surface de 600 km² (fig. 3). Leur espacement moyen est de 900 m. On remarquera sur la figure les alignements des prélèvements dans la partie Nord, grâce au réseau Decca, alors que dans la partie SE, les points de dragage sont irrégulièrement répartis, quand le point se faisait au cercle hydrographique.

Chaque échantillon a été défini par sa granulométrie. Cailloux, gravier, sable grossier et sable moyen et fin ont été séparés. Dans les graviers, on a trié à la main les coquilles et les éléments minéraux. Dans les sables, la quantité de calcaire a été mesurée par pesée avant et après attaque à l'acide chlorhydrique (échantillons secs). Il ne s'agit donc pas d'une étude statistique, qui ne se justifiait pas en raison du mode de prélèvement trop imprécis, mais d'une granulométrie plus simple, permettant une définition des sédiments dans un cadre assez large (1). Le tableau suivant résume ces définitions :

(1) Les mesures ont été faites en grande partie par Mlle S. Boncens, aide-technique au Laboratoire de Géographie Physique, que je remercie.

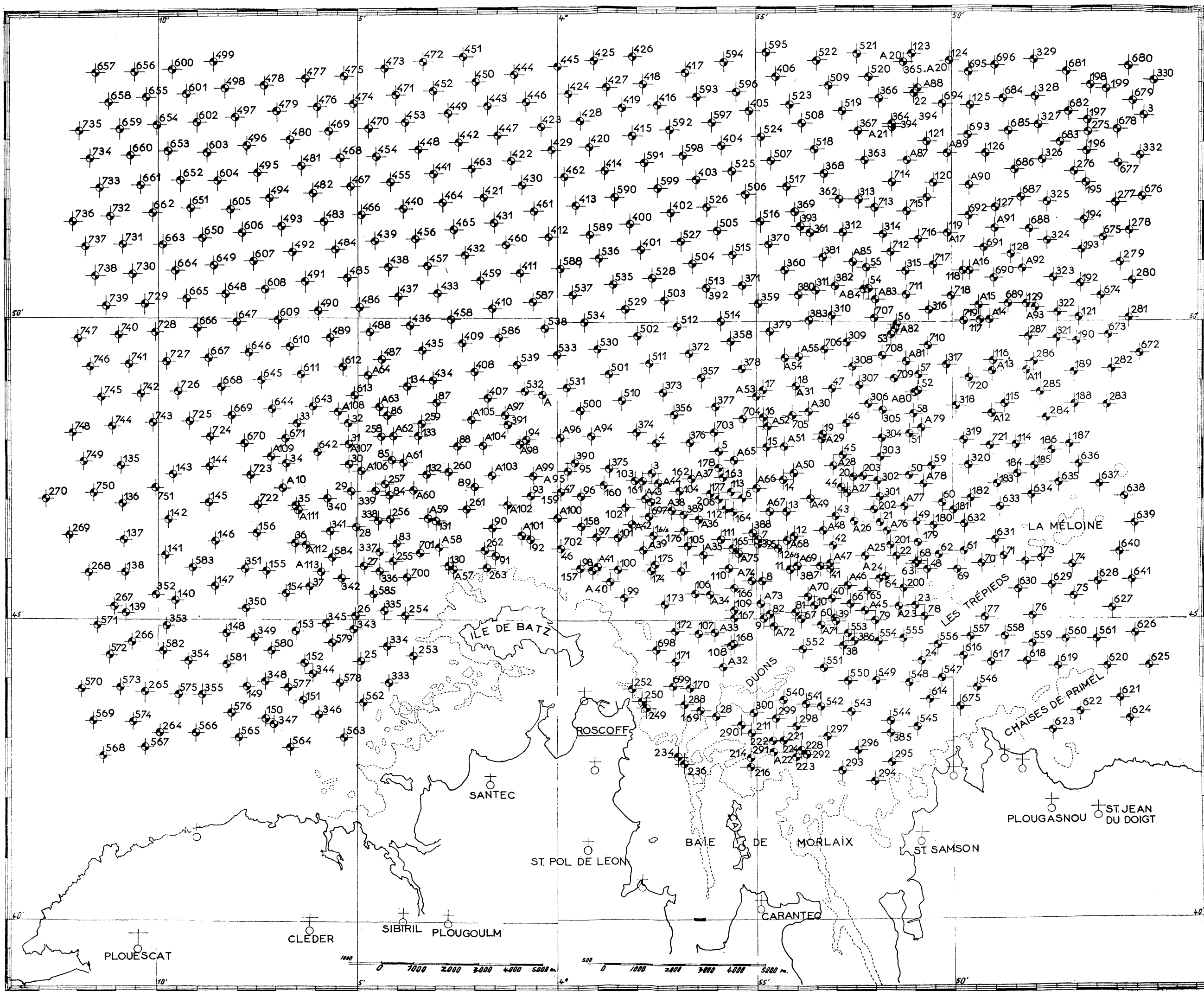


FIGURE 3
Emplacement des prélèvements

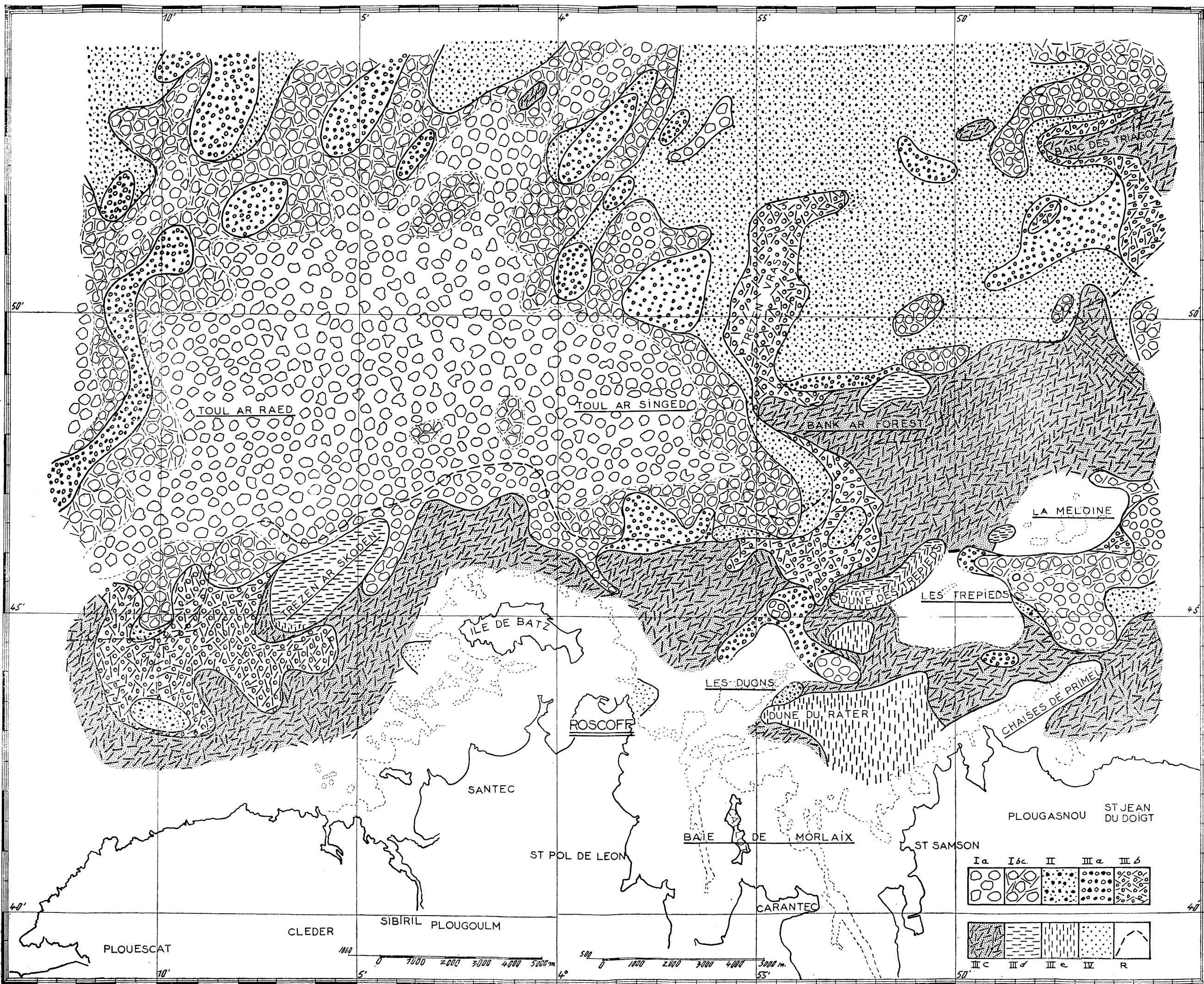


FIGURE 4

Schéma de la répartition des sédiments au large de Roscoff (pour la légende, voir tableau de la page 9 ; les tirets indiquent la limite Nord du plateau rocheux).

A - Les zones du large

- I. — Plus de cailloux que de sable et de gravier. Zone I : Cailloutis
 — de 100 à 70 % de cailloux Ia
 — moins de 70 % de cailloux Ib
 Précisions éventuelles : voir notes g', k, kk, r, s', v, vv.
- II. — Plus de gravier que de cailloux ou de sable. Zone II : Gravier
 Précisions éventuelles : voir notes : cc, c, k, kk, l, r, s, v, vv.
- III. — Plus de sable que de cailloux ou de gravier. Zone III : Sables
 (ces sables sont calcaires à plus de 70 %)
 — de 40 à 15 % de cailloux IIIa Sables caillouteux
 — moins de 15 % de cailloux
 — entre 30 et 4 % de gravier IIIb Sables graveleux
 — moins de 4 % de gravier
 indice de triage (2) supérieur à 1,6 IIIc Sables hétérogènes
 indice de triage inférieur à 1,6 :
 médiane supérieure à 1 mm IIId Sables grossiers dunaires
 médiane inférieure à 1 mm IIle Sables fins dunaires
 Précisions éventuelles : voir notes : b, c, g, k, l, ll, m r, t, v, x.

B - Zones littorales et infralittorales

Précisions éventuelles : voir notes.

C - Zones rocheuses

Le substratum rocheux affleure souvent dans les régions peu éloignées du littoral. Dans ce cas, il a été cartographié avec un figuré spécial, qui se surimpose aux précédents. Hors de ces zones, les pointements rocheux isolés sont signalés par la lettre R.

Notes

b	plus de 10 % de plaques de Balanes
c	présence de cailloux
cc	plus de 25 % de cailloux
g	entre 15 et 30 % de gravier
g'	gravier plus abondant que le sable (Zone Ib)
k	présence de cailloux calcaires
kk	cailloux calcaires abondants
l	entre 10 et 20 % de débris coquilliers supérieurs à 0,5 mm ou de coquilles
ll	plus de 20 % de débris coquilliers supérieurs à 0,5 cm ou de coquilles
m	moules brisées
R	roche
r	cailloux ou gravier sous forme d'éclats non émoussés (éclats de schiste en particulier)
s	moins de gravier que deux fois la quantité de sable.
s'	sable plus abondant que le gravier (Zone Ib)
t	plus de 20 % de sable quartzeux
v	présence de vase
vv	plus de 2 % de vase
x	sable graveleux (plus de 4 % de gravier) (seulement dans le cas où les zones IIIb et IIIc ne sont pas distinguées).

(2) L'indice de triage, ou écart interquartile géométrique, est la racine carrée du rapport entre le troisième et le premier quartile.

A l'aide de ces échantillons et de leur analyse, j'ai dessiné la carte des fonds. La précision théorique des contours n'excède pas en principe l'espacement entre deux dragages, c'est-à-dire 900 m. En fait, il faut espérer que les erreurs sont beaucoup moins grandes. Mais il est néanmoins certain que des corrections seront apportées au cours des prochaines années, à l'aide de tous les nouveaux dragages qui se feront à partir de la Station. La carte actuelle est nécessairement provisoire.

Le fond topographique est celui du Service Hydrographique de la Marine. Roscoff est à la limite entre deux feuilles (966 et 5 950), dont le parallèle moyen et l'échelle ne sont pas tout à fait les mêmes ($\frac{1}{45\ 260}$

et $\frac{1}{45\ 500}$). On aurait pu les redessiner, mais la superposition de la carte des sédiments avec les cartes marines serait devenue impossible. Cela aurait été gênant dans l'utilisation pratique, pour la navigation, et j'ai préféré conserver le léger décalage que l'on peut voir sur la carte des sédiments entre la partie Est et la partie Ouest.

Enfin, j'ai réalisé des sondages à l'aide du sondeur du *Pluteus*. Les profils m'ont donné d'utiles renseignements sur la nature des fonds en permettant de repérer les zones rocheuses accidentées, les rides sableuses et les fonds plats.

LES APPORTS CONTINENTAUX OU LITTORAUX LA ZONE CORALLIGÈNE

Le « prisme littoral »

Les apports terrigènes peuvent provenir au bord de la mer soit des cours d'eau et de l'érosion continentale, soit des actions littorales et de l'érosion marine. La région de Roscoff est bien placée pour étudier en Bretagne l'importance respective de ces deux facteurs. Il s'y jette deux petits fleuves, la rivière de Penzé et la rivière de Morlaix, et leurs estuaires ont fait l'objet d'études approfondies (Cl. Francis-Bœuf, 1947).

Le débit de ces cours d'eau est actuellement très régulier et assez faible. Leur possibilité de transport est donc limitée au matériel fin. En fait, les apports sont réduits à la vase des estuaires, localisée dans la zone intercotidale et pour une part d'origine alluviale, et à du sable de quartz fin. Ce sable n'est pas sans importance. Il se mélange aux apports marins à l'embouchure de la rivière de Morlaix jusque dans une proportion de 30 % et en change complètement l'aspect. Au lieu du sable fin, jaune et oxydé, calcaire à 90 %, de la zone III, sur lequel nous aurons à revenir, on récolte un sable de granulométrie comparable qui appartient encore par sa composition globale à la zone III ; mais il est de couleur grise, parfois même noirci en-dessous de la couche superficielle et très thixotropique.

Mais les rivières de Bretagne n'ont pas été toujours aussi calmes. Dans la Baie de Morlaix, par exemple, surtout dans les zones peu profondes que ne couvre pas ma carte, on drague fréquemment des cailloux, soit anguleux, soit arrondis. Certains peuvent être le produit de l'érosion littorale. Mais la plupart sont d'origine continentale, de nature parfois différente des roches qui affleurent à la côte, et datent du Quaternaire. Je n'insisterai pas sur ce problème, qui a été étudié en 1947 et 1948 par J. Bourcart. Nous y reviendrons à propos de la discussion générale sur les cailloutis du large.

Les apports fluviaux sont donc actuellement réduits. Il n'en va pas de même pour les apports littoraux. Les côtes bretonnes subissent l'assaut continu de la mer, et chaque fois qu'elles sont formées d'une roche meuble, elles reculent d'une façon sensible. Tous les vieux marins se souviennent d'étendues côtières qui ont disparu au cours de ces dernières décades. Le matériel érodé se retrouve sur l'estran des plages. Il s'agit du sable quartzéux blanc et pur des dunes quaternaires, ou des cailloutis et du sable grossier des limons continentaux et des arènes de décomposition granitique. Quand c'est de la roche saine qui borde la mer, elle subsiste sous la forme d'écueils ou de pointes. En général, il s'agit de granite et de granulite, mais des schistes apparaissent à l'embouchure de la rivière de Morlaix et sur les rochers des Duons (fig. 5).

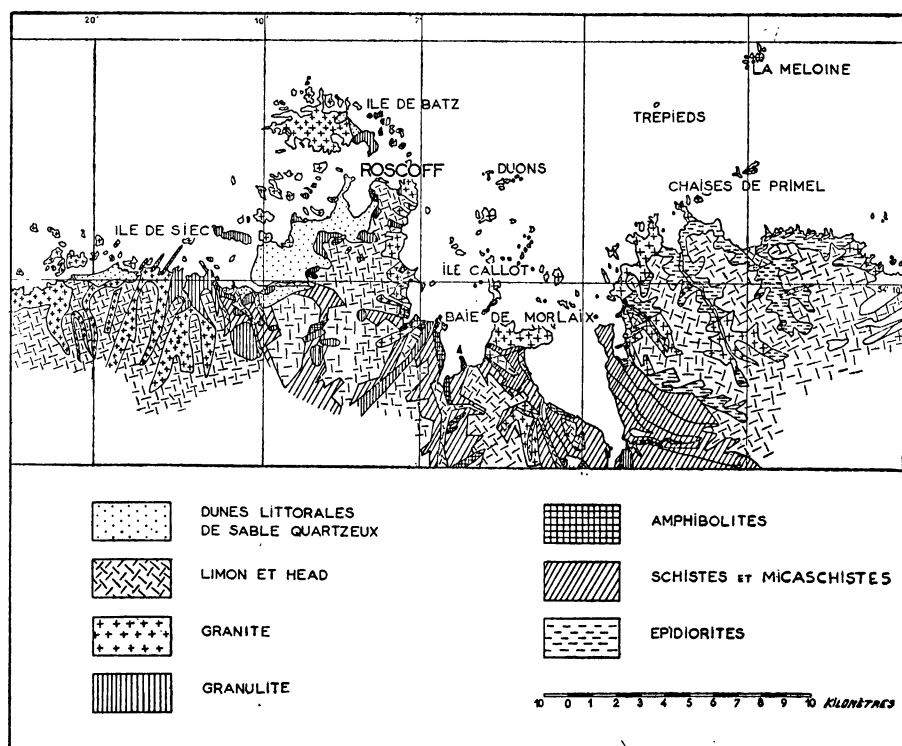


FIGURE 5

Géologie de la côte à proximité de Roscoff, d'après la carte géologique au 80.000°.

La fraction d'origine biologique est moins importante que la fraction terrigène. Déjà Pruvot avait remarqué que les dépôts de la zone intercotidale sont moins calcaires que ceux qui se trouvent en-dessous des plus basses mers. En fait, le taux de calcaire des sédiments de l'estran dépasse très rarement 50 % et, en général, est beaucoup plus faible. Dans l'Aber de Roscoff, par exemple, F. Rullier (1959) n'en trouve pas plus de 15 %. Seuls les dépôts de « tange » font exception. Ils sont assez rares (Baie du Mont-Saint-Michel, Baie de Goulven...). En général, la zone intercotidale est extrêmement terrigène et présente même des caractères constants d'une plage à l'autre (M. Prenant 1958). Elle a été de ce point de vue fort étudiée ces dernières années (Cl. Francis-Bœuf, J. Bourcart, S. Duplaix, 1949 ; M. Prenant, 1955 et 1958 ; A. Guilcher, 1958 ; F. Rullier, 1959 ; M. Lafon, 1953 ; M. Auzel, 1957, pour la Bretagne et la Normandie).

Dans mes dragages, je n'ai eu que rarement l'occasion de retrouver sous la mer ce type de sédiment. Mais, dans certaines conditions, le ressac et les courants de marée peuvent reprendre ce que les actions littorales ont érodé et le déposer au-dessous des plus basses mers. C'est le cas dans le chenal de l'Île de Batz, en face de Roscoff, où les riverains vont chercher des matériaux de construction. Près de la balise de Blosson et près de celle de la Basse Plate, aux deux extrémités du chenal, il s'est formé aux dépens de ces sables deux petites dunes hydrauliques comparables aux accumulations décrites par A. Guilcher dans l'archipel de Molène.

Pour un écologiste, il est probable que tous ces dépôts à forte proportion d'éléments terrigènes méritent d'être différenciés. Mais pour un géologue, ils ont de nombreux caractères communs qui permettent de les réunir. C'est pourquoi, sur la carte, ils sont classés ensemble dans la zone IV (prisme littoral), qu'il s'agisse d'apports fluviaux ou littoraux. Ils sont d'ailleurs localisés dans les zones où j'ai peu travaillé et ne sont cartographiés que rarement.

La zone coralligène

A partir de quelques mètres de profondeur, et jusqu'à 35 m environ, commence une autre zone. Au point de vue biologique comme au point de vue géologique, elle est caractérisée principalement par des algues calcaires. Les fonds de « maërl » sont les plus typiques. Mais il faut y joindre les fonds plus ou moins caillouteux et graveleux encroûtés de *Lithothamnium*. Dans ce cas, les débris rocheux proviennent soit d'anciens dépôts quaternaires soit, plus rarement, de l'érosion littorale. La limite n'est donc pas absolument tranchée avec la zone intercotidale. Mais les encroûtements d'algues indiquent qu'actuellement la sédimentation terrigène est très ralentie. Les apports calcaires d'origine organique sont plus importants. Il n'y a guère qu'autour des écueils (Rochers des Duons, des Trépieds, de la Méloine, Châises de Primel) que s'y ajoutent des éclats arrachés par la mer aux roches qui émergent.

La définition de la zone coralligène est simple. Mais le substrat des algues est très varié et appartient aux autres zones définies par leur granulométrie ou leur origine. Pour dessiner la carte, il me

fallait choisir entre ces deux critères : présence des algues ou nature du fond. Ce choix est simple quand les dépôts sont formés uniquement de maërl. Mais quand les algues ne font qu'encroûter des cailloux ou des graviers, j'ai préféré baser la cartographie sur leur substrat qui est souvent en continuité avec des zones plus profondes que j'ai davantage étudiées.

Les débris de Moules

Les apports calcaires sont en réalité de plusieurs sortes. En même temps que les algues, vivent de nombreux mollusques dont on retrouve les coquilles. Mais certains fonds sont formés uniquement par l'accumulation de coquilles brisées de moules, qui proviennent de niveaux plus élevés, sur les rochers exposés aux vagues. Ces fonds sont très bien individualisés par rapport aux fonds à Lithothamnium, mais très mêlés aux sédiments du large, dont je ne les ai pas distingués autrement que par un indice (m).

La granulométrie en est très variable. Au pied des rochers, on trouve un sédiment hétérogène qui contient des coquilles entières ou de fins débris, avec quelques éclats rocheux. Un peu plus profondément, il se fait un tri, et l'on aboutit finalement au « sable de moules », décoloré, très bien classé et purement calcaire. Il s'agit alors d'un sable coquillier typique.

*
**

En tant que faciès géologique, ces zones proches du littoral présentent des caractères bien particuliers. Apports terrigènes, algues calcaires et moules sont faciles à distinguer dans les formations récentes comme dans les anciens dépôts. Mais la cartographie en est très difficile. Ils se situent parmi des rochers et des hauts-fonds, et les courants qui circulent dans cette topographie mouvementée varient rapidement en direction et en intensité. En même temps, les fonds changent et il faudrait, pour en dresser une carte précise, faire des prélèvements très rapprochés, ce que je n'ai pas fait. C'est pourquoi les figurés de la carte s'arrêtent avant d'atteindre le rivage.

LES FONDS SÉDIMENTAIRES ANCIENS ET LES ZONES DU LARGE PRODUCTRICES DE SÉDIMENTS

A partir des zones précédentes, on pourrait s'attendre vers le large à l'amenuisement des matériaux sédimentaires. Il n'en est rien, bien au contraire. Quand le bateau s'éloigne du port vers le Nord, en sondant de façon continue, il traverse d'abord des régions où les pointements rocheux sont nombreux et se marquent sur la bande d'enregistrement du sondeur par des ressauts brutaux. Puis, la topographie devient plus douce, mais avec encore des pentes et même des contre-pentes. On se trouve dans la région des sables biogènes où percent encore, ça et là, des rochers. Enfin, commence la « plaine ». Le sondage indique des fonds très plats, à peine inclinés vers le Nord, qui évo-

quent un nivellement par remplissage (3). Ce sont les graviers et les cailloutis.

Pour la commodité de l'exposé, je commencerai par décrire les cailloutis (zone I de la carte, I, si les galets composent plus de 70 % des échantillons recueillis, I, s'il s'y mêle du gravier et du sable mais que le pourcentage des cailloux est encore supérieur à celui des éléments moins grossiers).

La taille des cailloux est assez variable. Les plus petits ne mesurent que 4 ou 5 cm, les plus gros 25 à 30 cm. Mais il est probable qu'il existe aussi des blocs plus volumineux, que la drague ne peut ramener à cause de son ouverture trop réduite (25 cm de rayon). La forme est cependant comparable, quelle que soit la dimension. Il s'agit presque toujours de galets assez peu émoussés et fortement dissymétriques. Font seulement exception de rares débris rocheux complètement altérés, dont il faut rechercher l'origine dans un galet désagrégé, des débris calcaires, et quelques cailloux éclatés par le gel.

Toujours ces galets sont de nature pétrographique très variée. Pour Ch. Vélain (1886), L. Dangeard (1928) et G. Dubois (1929), ils ont été transportés par des glaces flottantes détachées de la côte à une époque froide du Quaternaire. Leur source est dans le limon pierreux qui recouvre la Bretagne du Nord, une partie de la Normandie et les régions plus nordiques. Pour J. Bourcart (1938), ce limon s'est déposé dans la Manche à une époque de régression médio-quaternaire. La mer n'a fait que le remanier et le trier, en façonnant ses éléments, à son retour sur le Plateau continental. Dans ces deux hypothèses, l'âge des cailloux est celui des limons, c'est-à-dire moustérien (Ch. Barrois, 1897), ou encore celui du « head » pierreux qui est plus récent (L. Guillaume, 1936).

Plusieurs observations fondamentales m'ont permis de préciser ces idées. Si la plupart des cailloux se montrent parfaitement nus, à part les encroûtements d'organismes actuels, et semblent donc appartenir à une formation meuble, certains possèdent encore la trace d'un ciment calcaire qui les a réunis autrefois. J'ai même recueilli des échantillons de conglomérats dont les éléments grossiers présentent les mêmes caractères que les galets ou les graviers meubles. Le plus souvent, il s'agit d'un poudingue de graviers, mais parfois des cailloux s'y trouvent inclus.

Le calcaire se présente aussi sous une autre forme qu'un simple ciment. Il contient alors des débris d'organismes marins. Mais en réunissant ces cailloux, il a parfois permis de conserver leur gisement. Par exemple, j'ai trouvé à plusieurs reprises des galets éclatés par le gel dont les fragments légèrement disjoints étaient cimentés. Il est donc certain que leur gélivation s'est faite sous un climat continental froid et humide, sur le lieu même du dépôt. Sans cela, les fragments éclatés auraient été séparés. Cette conclusion est très importante (4).

(3) Une semblable hypothèse a été émise tout récemment par J. Bourcart à propos du Plateau continental méditerranéen (1959).

(4) Ceci ne doit sans doute pas être étendu aux très gros blocs qui parsèment çà et là la Manche, et dont on comprend mal un transport par des fleuves ou par des coulées boueuses. L'hypothèse des glaces flottantes leur convient mieux, mais ils seraient alors postérieurs aux cailloutis proprement dits. De même, les galets que l'on drague aux abords de la côte ont sans doute une autre origine que les cailloutis du large, comme semble l'indiquer leur morphologie différente. Nous y reviendrons.

Les cailloutis ne sont pas un dépôt marin et, de plus, ils sont antérieurs au dépôt du calcaire qui les a cimentés.

Il ne faut pas non plus envisager un remaniement important par la mer transgressive. Nombreux sont les galets gélivés dont les arêtes ne sont pas émoussées. Ils sont restés à la place où les fleuves et les coulées boueuses les ont déposés lors de la brusque fusion des glaces à la fin d'une époque froide. Seuls les graviers ont pu être repris parmi les cailloux, émoussés et mêlés aux apports biogènes calcaires de leur ciment.

Cette formation consolidée, les conglomérats coquilliers à ciment calcaire, a été décrite en 1942, sur les côtes de Vendée (J. Bourcart, P.-H. Fischer, P. Marie, 1942). Elle a été retrouvée en 1948 par J. Bourcart près du Château du Taureau, dans la Baie de Morlaix : « La roche offre l'aspect du béton ou d'un mortier dont l'agrégat est formé de graviers ou de granules de quartz... le tout cimenté par un calcaire fin » (p. 185). C'est exactement sous ce faciès que je l'ai récoltée de nouveau, entre la Méloine et Primel tout d'abord, sous un faciès littoral, avec des Littorines, des Gibbules et des Huîtres, plus au large ensuite, avec des Bryozoaires, des plaques de Balanes et des coquilles (*Pectunculus*, *Venus casina*, etc.). La micro-faune des conglomérats récoltés au Château du Taureau a été étudiée par P. Marie. Elle a vécu sous un climat plus chaud que l'actuel, ce qui permet de dater le dépôt du Quaternaire ancien et de le rapprocher du Tyrrhénien méditerranéen. Du même coup, l'âge des cailloutis se trouve précisé. Ils ne datent pas de la dernière époque froide, qui est post-tyrrhénienne, mais d'une autre régression, plus ancienne. Il ne faut pas les comparer aux limons de Bretagne.

Mais le calcaire n'a pas seulement un intérêt stratigraphique. Il joue aussi un grand rôle dans la sédimentation actuelle. De nombreux organismes travaillent à sa destruction, Annélides, Cliones ou Cryptogames en particulier. La circulation continue de l'eau sur le fond en active la dissolution, et le résultat global est de libérer tous les éléments qui se trouvaient cimentés. Ce peut être du gravier, mais aussi des coquilles ou des débris calcaires, et même du sable de quartz (on le distingue du sable côtier parce qu'il est généralement émoussé luisant).

La conséquence de ce phénomène est très importante. Par exemple, le conglomérat, une fois désagrégé, est trié par les courants. Les galets volumineux restent en place et forment les cailloutis ; les graviers sont entraînés, et avec eux, les éléments plus fins qui les accompagnent ; et tout cela va alimenter les sédiments actuels dans les zones d'accumulation. Les cailloutis sont un sédiment résiduel. Là où ils affleurent, toute leur couverture tyrrhénienne a été enlevée et dispersée. Plus qu'un hard-ground, c'est un fond érodé.

Le Quaternaire n'est pourtant pas le seul dépôt ancien remanié. J. Bourcart a signalé (in P. Lemoine, 1912, et P. Lemoine et R. Abrard, 1922) au NW de Roscoff un affleurement de calcaire éocène. A deux reprises au moins, nous avons dragué en place ce calcaire et, sur une large surface au N de Batz, il fournit de multiples débris. C'est un grès calcaire à ciment calcaire, formé de Foraminifères (Alvéolines, en particulier) et de débris biogènes variés, très friable contenant par-

fois des algues calcaires. Plus encore que le Tyrrhénien, il est démantelé sous la mer par les Mollusques perforant, les Cliones, les Polydora, etc. Tout autour des affleurements, entre les cailloux, on récolte un sable brun clair, entièrement fait de débris de cette roche. Nombreux sont les auteurs qui ont trouvé des Alvéolines ou des Nummulites, dans les sables sous-marins actuels et même sur les plages (J. Bourcart, 1958). Leur lieu de production est encore parmi les cailloutis où pointe parfois la roche en place et où se désagrègent des galets calcaires.

Enfin — mais ce n'est pas leur moindre rôle — les galets toujours balayés par les courants sont peuplés d'une très abondante faune fixée ou libre : Bryozoaires, Balanes, Eponges, certains Lamellibranches, Ophiures, etc... A leur mort, ces organismes sont entraînés eux aussi par les courants. Ils forment d'abord une faible couche sur les cailloutis (cailloutis sableux), puis s'accumulent dans des dunes hydrauliques (voir plus loin).

*
**

Les cailloutis sont donc, par excellence, une zone productrice de sédiments. Ils fournissent aussi bien du matériel détritique, remanié de l'Eocène et du Quaternaire, que des débris organogènes actuels. Leur répartition est celle des forts courants de fond, capables de toujours les nettoyer et, par là, de préparer une lacune stratigraphique. Ils dessinent sur la carte une sorte de gant, dont les doigts sont sans doute les chenaux de ces courants.

LES FONDS DE GRAVIER ET DE SABLE CALCAIRE ET LES ZONES D'ACCUMULATION DE SÉDIMENTS

Au large, les zones d'accumulation sont les fonds de graviers et de sables biogènes. On en trouve au milieu des cailloutis. Mais dans les zones que j'ai étudiées, la couche n'est jamais très épaisse. Au contraire, leur importance grandit quand on approche de la côte, en même temps que les sédiments deviennent plus fins. Ce sont d'abord les graviers. Ensuite, commencent les sables, mal classés, riches en coquilles et graviers, puis mieux triés mais grossiers, et enfin parfaitement classés et très fins.

Les graviers (zone II)

Les graviers sont très rarement purs. Souvent, ils contiennent du sable, comparable aux sables organogènes des dunes hydrauliques et un peu de vase (5 à 7 % au maximum). Ils occupent au NE de Roscoff des étendues considérables mais correspondent à des fonds plats, en continuité avec les zones de cailloutis. Souvent on drague en

même temps qu'eux des galets, trop volumineux pour avoir été déplacés par les courants de marée, et qui appartiennent plutôt au substatum caillouteux affleurant par places. Leur épaisseur doit être très faible.

La source de ce sédiment était dans le conglomérat quaternaire. Le façonnement des graviers est ancien, soit continental, soit marin, antérieur ou contemporain de la transgression tyrrhénienne. Mais cette source est actuellement tarie. Ce n'est que très accidentellement qu'on retrouve dans les cailloutis des témoins de poudingue. Les graviers meubles ne reçoivent plus d'apports nouveaux, si ce n'est le sable en voie de déplacement et la vase qui les colmatent. Ils diffèrent en cela des sables biogènes, qui continuent à s'enrichir par la production ininterrompue et la mort de nouveaux organismes. Chaque gravier se peuple même d'une épifaune, plus réduite que sur les cailloux, mais cependant capable de produire des fragments calcaires. Les graviers sont ainsi à la limite de la zone de production proprement dite et de la zone d'accumulation actuelle, surtout calcaire.

Les sables calcaires

Les fonds de sables calcaires se remarquent facilement dans la topographie sous-marine. A l'opposé des précédents, ils forment souvent des rides, qui sont des dunes hydrauliques. L. Berthois (1959) en a décrit à l'entrée de la Manche ; il en existe aussi aux environs de Roscoff, mais en général localisées près de la côte, dans les endroits où commencent les pointements rocheux, qui ont sans doute permis leur formation en gênant les courants et en favorisant par là le dépôt des grains qu'ils transportaient. J'en ai trouvé quatre, assez bien individualisés (fig. 4). Au NE, la dune des Triagoz, « à l'ombre » de l'écueil du même nom (fig. 6), puis le Banc de la Forêt, la dune des Trépieds et du Rater, et le Trezen ar Skoden, à l'W de l'Île de Batz. Il faut y ajouter le Trezen Vraz, qui n'est pas une dune, mais une accumulation sableuse peu épaisse, qui ne rompt pratiquement pas la monotonie des fonds plats de cailloux et de gravier.

La plus belle de ces dunes est le Trezen ar Skoden, qui s'étend sur une longueur de 4,5 km (fig. 7). Entre sa base et son sommet, la dénivellation dépasse 15 m. La dune est entièrement faite de débris calcaires et, dans tous les échantillons récoltés, le classement granulométrique est excellent (supérieur à 1,5) (5). Il serait encore meilleur si, au lieu d'utiliser un fractionnement mécanique des sables, on les triait par un courant d'eau. L'influence de la forme des grains serait éliminée. On constate par exemple que les Bryozoaires en articles (*Cellaria*) fournissent des effectifs aux fractions granulométriques les plus fines, alors que les fragments coquilliers se retrouvent dans les fractions plus grossières. Il est certain que cette séparation est due aux plus grandes facilités de transport des coquilles plates que des *Cellaria* allongées ; au point de vue dynamique, ces deux groupes de débris sont équivalents.

(5) Sorting coefficient de Trask, ou écart interquartile géométrique, ou coefficient de triage.

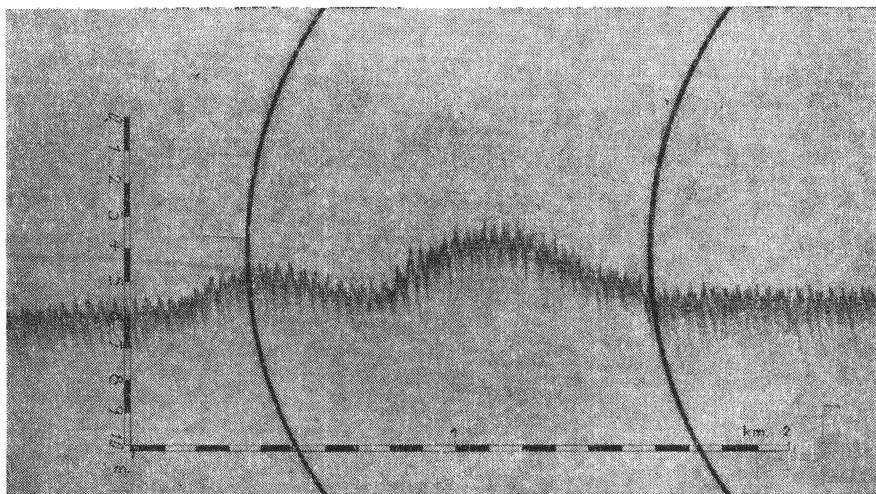


FIGURE 6

Morphologie de l'extrémité ouest du Banc des Triagoz (enregistrement de sondages).

De plus, le Trezen ar Skoden n'est pas toujours formé des mêmes sables. De son bord Nord à son bord Sud, leurs dimensions moyennes diminuent. Sur tout le versant marin, et sur une partie du versant « aval », les grains sont grossiers. (Zone III_d). Ils sont alors faits de 50 % de fragments coquilliers et de débris calcaires non reconnaissables (quaternaires et éocènes pour une part), 25 % de plaques de Balanes (*B. crenatus*), 20 % de Bryozoaires (*Cellaria* surtout), et 5 % de débris d'Ophiures. Ces débris proviennent de zones caillouteuses et du benthos fixé sur les galets.

Sur le banc Sud, les sables sont plus fins (Zone III_e). Les plaques de Balanes ont disparu ; toujours autant de Bryozoaires, mais ce sont des articles de *Cristia*, dont la taille naturelle est petite ; beaucoup plus de spicules d'Ophiures, et encore 50 % de débris coquilliers. L'origine est la même que pour les sables grossiers. Mais, par suite du triage granulométrique, la nature des grains est un peu différente.

Le Trezen ar Skoden est une dune typique, par sa morphologie, par le bon triage des sables et leur répartition du plus grossier au plus fin, par l'origine de ses grains enfin, transportés par des courants depuis les zones caillouteuses productrices. On ne peut s'empêcher de songer aux déserts, où alternent les vastes étendues pierreuses balayées par le vent (regs) et de grandes dunes sableuses, continuellement vanées mais toujours stables.

Le Banc de la Forêt présente les mêmes caractères. Celui des Trépieds-Rater également. Mais ils se complètent mutuellement, le premier étant fait de sables grossiers et le second de sables fins. La dune du Rater forme l'élévation qui sépare du large par une barrière de 12 m la fosse des Cochons Noirs, dans la Baie de Morlaix. Enfin, le Banc de Triagoz ne fait qu'apparaître sur la carte. Ses dépôts sont grossiers, mais sa morphologie est bien dunaire.

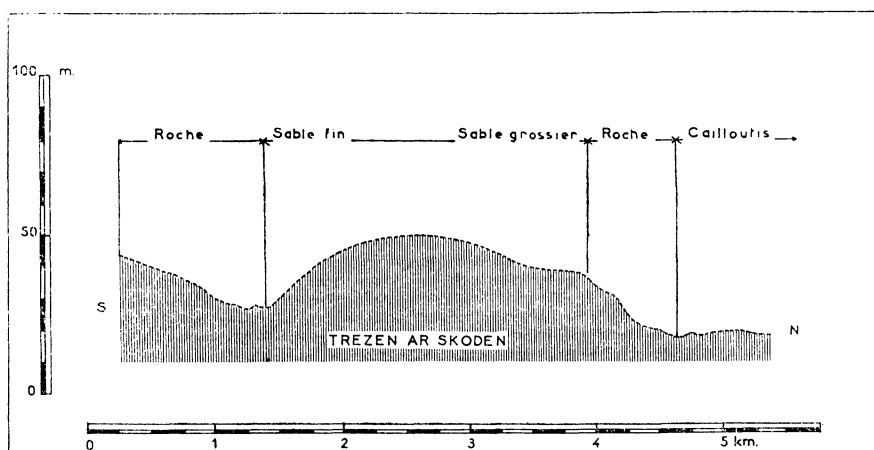


FIGURE 7

Morphologie du Trezen ar Skoden, d'après un enregistrement de sondages.

Vers le large et entre ces dunes, se trouvent des zones mixtes. Ce sont les « sables hétérogènes » (zone III_c et b). On y trouve, en même temps que les débris qui seront triés et déposés selon leur taille à tel ou tel emplacement des dunes, des graviers et des coquilles qui resteront sur place à cause de leur taille. Le Trezen Vras en est fait. C'est en somme une dune ébauchée, mais située dans une zone trop ventilée pour pouvoir s'élever.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Paléogéographie

Après la découverte d'un affleurement de craie dans l'Aber de Roscoff, rias déjà au Crétacé, J. Bourcart (1945), avait pensé que le rivage breton était un trait fort ancien de la géographie. Les documents nouveaux des campagnes du *Pluteus* ne peuvent que confirmer cette idée. A quelques milles au N de Roscoff, l'Eocène affleure sous la mer avec, çà et là, les Algues calcaires du rivage tertiaire. Entre la Méloine et Primel, le Tyrrhénien, en place aussi, contient des *Littorines*, des *Gibbules* et des *Huîtres* côtières. Ces rivages anciens ne furent presque jamais dépassés.

Mais ils furent souvent abandonnés. Deux grandes régressions ont modifié la géographie quaternaire. Elles sont liées aux époques froides et aux glaciations. La première est celle des cailloutis du large (— 150 m au moins). Au Tyrrhénien, la mer est ensuite revenue sur le Plateau continental. Elle a remanié faiblement les cailloutis en triant leurs éléments les moins grossiers et les a mêlés à des coquilles

et à la fine boue calcaire qui, plus tard, formera leur ciment. L'eau s'est alors retirée une nouvelle fois. Les témoins sous-marins de cette période ne sont pas connus, sauf dans les régions peu profondes. Ce sont les cailloutis de la zone infralittorale, qui jalonnent le cours submergé des rivières actuelles. Sans doute à cette époque, les dépôts tyrrhéniens ont été cimentés. Sur la Bretagne proprement dite, se déposaient les limons d'abord, puis, à la fin de la période froide, au moment où commençait la fusion des glaces, le head pierreux.

Enfin, la mer est revenue au Flandrien. Sur la côte, alternent tourbes et sables, dont les derniers forment les dunes littorales qui donnent aux plages leur beau sable blanc. Sous la mer, la sédimentation organogène a repris, mais, en même temps, l'érosion du dépôt tyrrhénien a commencé. Les graviers qui en proviennent furent mis en place ; et, de nos jours, ce remaniement est pratiquement terminé, laissant la place à la sédimentation normale.

Pourquoi la mer revient-elle toujours au même endroit ? On peut l'expliquer par la stabilité du relief. Mais alors la Manche ne se serait pas approfondie, et les couches sédimentaires successives du Tertiaire et du Quaternaire n'auraient pu s'accumuler sans la combler. Il est plus probable que la stabilité des lignes orogéniques directrices en est la cause. Le rivage actuel coïncide avec une flexure. Cette flexure a toujours rejoué au même endroit. S'il faut peut-être expliquer par l'eustatisme les grandes transgressions et les grandes régressions du Quaternaire, les mouvements secondaires du rivage sont certainement dus à ces mouvements tectoniques (J. Bourcart, P. Roa-Morales, 1957).

Sédimentation actuelle

Les sédiments actuels ont deux sources. Près de la côte, ils sont alimentés par l'érosion littorale et par les débris d'organismes littoraux ou infralittoraux, en particulier par les *Lithothamnium* et les Moules. Au large, ils reçoivent les débris d'organismes qui ont vécu sur les cailloutis et les éléments désagrégés des roches éocènes ou quaternaires.

Les deux sortes de sédiments s'opposent complètement. Jamais je n'ai retrouvé au-delà de 40 m de profondeur des débris de *Lithothamnium*. La dispersion invoquée par A. Rivière pour d'autres régions semble ne pas jouer un grand rôle aux environs de Roscoff. Au large, les sédiments sont très calcaires (les graviers datent très probablement du Flandrien). Ils contiennent des débris de la faune fixée (Bryozoaires, plaques de Balanes, spicules d'Eponges, etc.), avec des débris d'Ophiures, de Lamellibranches ou d'autres animaux qui vivent dans les mêmes conditions. Au contraire, ceux des zones littorales et infralittorales sont souvent terrigènes et siliceux, à l'exception des sables de Moules, et contiennent des débris d'Algues et d'assez nombreux Gastéropodes.

Dans les zones du large, la sédimentation est très discontinue. Les courants de marée, qui se font sentir sur le fond, répartissent les dépôts comme ils se répartissent eux-mêmes. Là où ils sont forts, ils ne laissent rien subsister de meuble sur le fond, à part les galets trop

volumineux pour être transportés. A ces endroits, il n'y a pas de sédiments actuels, mais de la roche ou des cailloutis. Ailleurs, lorsque la vitesse des courants décroît, aux approches de la côte en particulier, ils accumulent sur les dunes tous les débris qu'ils transportaient.

On imagine facilement un ancien dépôt formé dans ces conditions. Il montrera des lacunes de sédimentation, des stratifications entrecroisées, des grès calcaires dont les grains seront rigoureusement calibrés dans chaque niveau, mais de nature très variée, transportés parfois de fort loin, comme par exemple les débris de Bryozoaires qui n'auraient pas pu vivre sur du sable ; dépôt du Plateau continental néritique, mais où les courants violents érodent et remanient sans cesse ce qu'ils ont déposé. Comment ne pas penser à certains faciès du Lutétien dans le Bassin de Paris ?

Programme de recherches

Cette étude est préliminaire. Elle comporte des hypothèses ou des inconnues que l'avenir doit confirmer ou combler. Il faudra établir une relation moins qualitative entre les courants et les fonds, par des mesures précises de courantométrie et de granulométrie, rechercher systématiquement les affleurements rocheux à l'aide d'une drague spéciale, trouver des corrélations plus certaines entre les dépôts quaternaires. Mais, surtout, je me propose dans les prochaines campagnes d'étendre mes observations pour pouvoir les replacer dans le cadre plus général de la Manche. Déjà, cet automne, L. Cabioch a réalisé les dragages entre les côtes anglaises et bretonnes. Les fonds qu'il a trouvés sont assez semblables à ceux de la mer au large de Roscoff. Mais, vers les côtes anglaises, les cailloux disparaissaient progressivement et les dépôts sont plus fins. Les coefficients de marée sont plus faibles au N qu'au S, sans doute du fait de l'accélération de Coriolis. Tout ceci mérite néanmoins vérification. La carte elle-même, publiée ici, subira des corrections. J'espère donc revenir un jour devant les lecteurs qui m'ont fait l'honneur de prêter attention à ces pages. D'ici là, qu'ils considèrent avec indulgence le caractère parfois provisoire de mes observations.

OUVRAGES CITÉS

Service hydrographique de la Marine.

Côtes Nord de la France : de l'Île de Batz aux Sept Îles et de Pontusval à l'Île de Batz. (5950 S.T.) (966).

Carte Géologique de la France au 1/80.000^e.

Feuille 41 (Lannion). Notice de Ch. Barrois.

ALLEN, E.J., 1899. — On the fauna and bottom deposits near the thirty-fathom line from the Eddystone to start point.

Jour. Mar. Biol. Assoc., vol. 5, pp. 365-542.

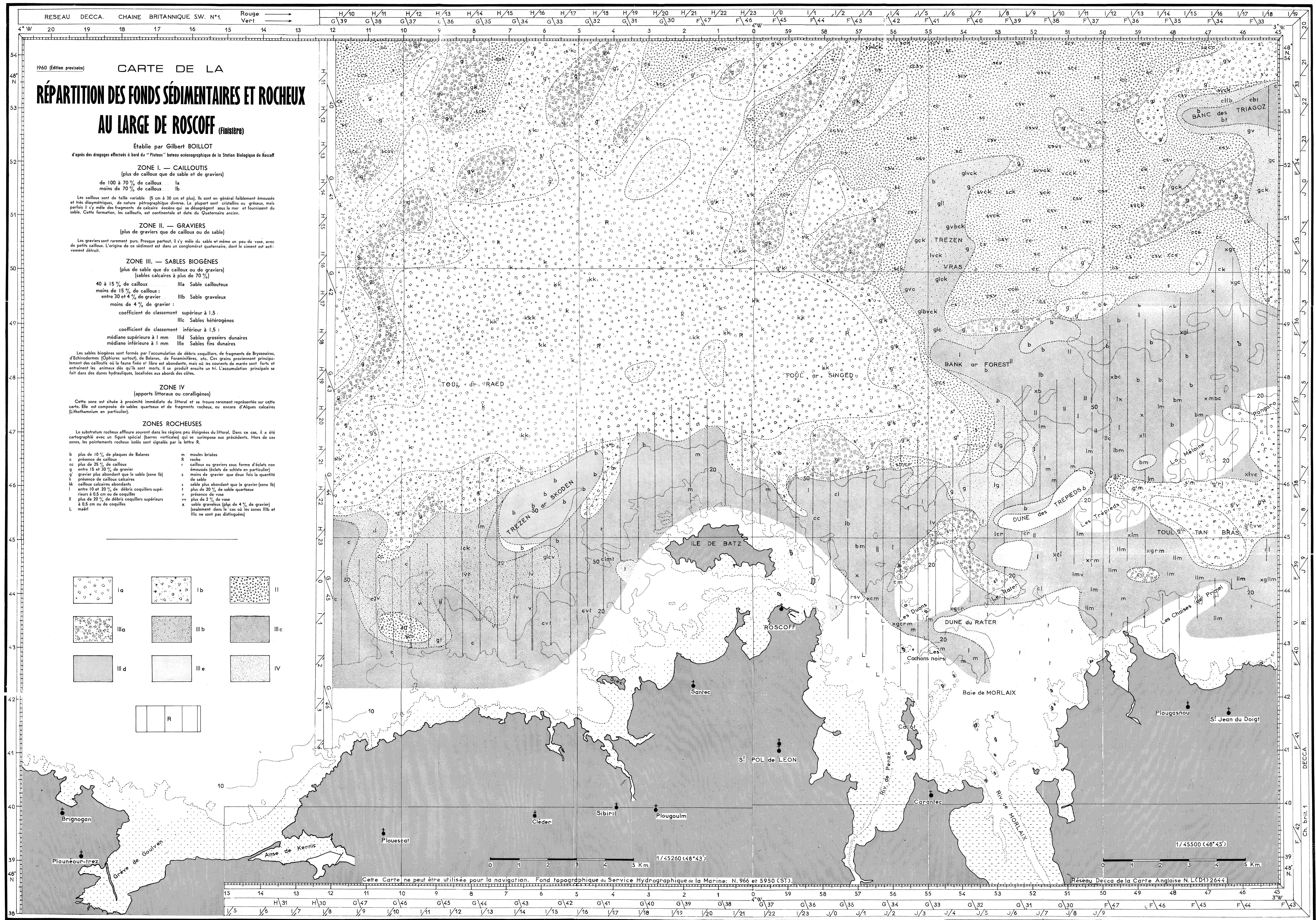
AUZEL, M., 1957. — Matériaux pour l'étude des plages de Normandie.

Thèse. Paris.

BARROIS, Ch., 1897. — Sur l'extension des limons quaternaires en Bretagne.

Ann. Soc. Géol. du Nord, t. XXVI, pp. 33-34.

- BEAUCHAMP, P. de, 1914. — Les grèves de Roscoff.
Paul Lechevalier, éd., Paris.
- BERTHOIS, L., 1955. — Etude lithologique des sédiments récoltés par le « Président Théodore Tissier » en rade de Brest et en Manche (campagne 1949).
Rev. Trav. Inst. Pêch. Mar., 19, (4), pp. 467-499.
- BERTHOIS, L., 1959. — Remarques sur les rides sous-marines.
Rev. Trav. Inst. Pêch. Mar., 23, (2).
- BERTHOIS, L. et FURNESTIN, J., 1938. — Etude des sédiments dragués par le « Président Théodore Tissier ».
Rev. Trav. Off. Pêch. Mar., 11 (3), pp. 381-424.
- BIGOT, A., 1936. — Bibliographie analytique des travaux sur les plages suspendues et les dépôts de solifluxion dans le Massif Armoricaïn et dans les îles anglo-normandes.
Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dyn., 1^{re} série, t. IX, pp. 197-208.
- BOURCART, J., 1938. — La marge continentale, essai sur les régressions et les transgressions.
B.S.G.F., t. VIII, pp. 393-474.
- BOURCART, J., 1945. — Sur l'existence de la craie blanche, en place, dans l'Aber de Roscoff (Finistère).
C.R. Ac. Sc., 303-305, 10 septembre.
- BOURCART, J., 1947. — La sédimentation dans la Manche.
Sess. Extr. Soc. Belge Géol., 19-26 sept., Bruxelles.
- BOURCART, J., 1948. — Le Quaternaire des grèves de Roscoff (Finistère).
B.S.G.F., 5^e, t. XVIII, pp. 181-197.
- BOURCART, J., 1955. — Etude des échantillons récoltés en juillet-août 1946, par le « Président Théodore Tissier ».
Rev. Trav. Inst. Pêch. Mar., 19, (4).
- BOURCART, J., 1957. — Premier rapport sur les fonds meubles de la baie du Mont Saint-Michel.
Bull. C.O.E.C., t. 9, pp. 325-336.
- BOURCART, J., 1958. — Les calcaires éocènes de la Manche et leur contribution aux sables de plages.
Ecl. Geol. Helv., sous presse.
- BOURCART, J., 1959. — Le Plateau continental de la Méditerranée occidentale.
C.R.S. Ac. Sc., t. 249, pp. 1380-1382.
- BOURCART, J. et BOILLOT, G., 1959. — Sedimentation conditions in the Bay of Mont-Saint-Michel.
International Oceanographic Congress. Am. Ass. Adv. Sciences, Washington, pp. 602-605.
- BOURCART, J., FISCHER, P.H. et MARIE, P., 1942. — Sur un grès quaternaire à faune chaude recueilli sur la plage de La Baule.
C.R. Som. S.G.F., 2, pp. 10-11.
- BOURCART, J. et ROA-MORALÈS, P., 1957. — Les dépôts vaseux de la Rance maritime et de la Baie du Mont-Saint-Michel.
B.S.G.F., (6), VII, pp. 545-552.
- CRAWSCHAY, L.R., 1908. — On rock remains in the bed of the english Channel. An account of de dredgings carried out by S.S. « Githona » in 1906.
Jour. of the Mar. Biol. Ass., new series, VIII, 2, p. 99 et sq.
- DANGEARD, L., 1928. — Observations de géologie sous-marine et d'océanographie relatives à la Manche.
Ann. Inst. Océanogr., N. série, VI, fasc. 1.
- DELESSE, 1871. — Lithologie des mers de France.
Paris.
- DUBOIS, G., 1923. — Répartition et origine des galets exotiques dans les formations quaternaires marines au Nord de la France.
Ann. S.G.N., XLVIII, p. 188.
- FRANCIS-BŒUF, Cl., 1947. — Recherches sur le milieu fluvio-marin et les dépôts d'estuaires.
Thèse, Paris, Masson éd.
- FRANCIS-BŒUF, Cl., BOURCART, J. et DUPLAIX, S., 1949. — La couverture sédimentaire de l'Aber de Roscoff (Finistère).
Sédimentation et Quaternaire, France. Led Sam éd. Bordeaux, 1951.
- FORD, E., 1923. — Animal communities of the level sea-bottom in the crater adjacent to Plymouth.
Jour. Mar. Biol. Ass., vol. 13, pp. 164-224.
- FURNESTIN, J., 1937. — Compte-rendu des dragages géologiques de la quatrième croisière du « Président Théodore Tissier » (8 mai-11 juillet 1935),
Rev. Trav. Off. Pêch. Mar., 10, (2), pp. 233-258.



- GUILLAUME, L., 1936. — Observations sur les dépôts quaternaires de Saint-Côme-de-Fresné et Asnelle-Belle-Plage (Calvados).
Bull. Soc. Nor., 8^e s., VIII, pp. 63-70.
- GUILCHER, A., 1958. — Les accumulations sous-marines du plateau de Molène et de la chaussée de Sein (Finistère).
Coll. Intern. C.N.R.S., LXXXIII : « La topographie et la géologie des profondeurs océaniques. »
- HOLME, N.A., 1953. — The biomass of the bottom fauna in the english Channel off Plymouth.
Jour. Mar. Biol. Ass., vol. 32, pp. 1-49.
- KING, W.B., 1954. — The geological history of the english Channel.
Quart. Jour. Geol. Soc. of London, CX, pp. 77-102.
- LAFON, M., 1953. — Recherche sur les sables côtiers de la basse Normandie et sur quelques conditions de leur peuplement zoologique.
Ann. Inst. Océanogr., t. 17, fasc. 3.
- LEMOINE, P., 1912. — La géologie du fond des mers, Manche et Atlantique.
Ann. de Géographie, n° 120, XXI^e année, pp. 385-392.
- LEMOINE, P. et ABRARD, R., 1922. — Contribution à l'étude géologique du fond de la Manche, d'après les documents du D^r J.B. Charcot.
B.S.G.F., (4), t. XXII, pp. 3-10.
- PRENANT, M., 1955. — Position des maxima caractéristiques dans les graphiques granulométriques de fréquence établis pour les sables de la zone des marées sur les côtes bretonnes.
C.R.S. Ac. Sc., t. 241, pp. 162-164.
- PRENANT, M., 1958. — Ecologie des sables intercotidaux et traduction approximative des données granulométriques en nombre de grains.
C.R.S. Ac. Sc., t. 246, pp. 1582-1585.
- PRUVOT, G., 1897. — Essai sur les fonds et la faune de la Manche occidentale.
Arch. de Zool. exp. et gén., 3^e série, t. V, p. 511.
- RIVIÈRE, A., 1959. — Sur la notion de dispersion littorale.
C.R.S. Ac. Sc., t. 249, n° 19, pp. 1920-1923.
- RULLIER, F., 1959. — Etude bionomique de l'Aber de Roscoff.
Trav. Stat. Biol. Roscoff, N. série, t. X.
- SMITH, J.E., 1932. — The shell gravel deposits and the infauna of the Eddystone ground.
Jour. Mar. Biol. Ass., vol. 18, pp. 243-278.
- THOULET, J., 1922. — Carte lithologique sous-marine des côtes de France.
Paris, Chalamel éd. (feuilles 9 et 10).
- VELAIN, Ch., 1886. — Note sur l'existence d'une rangée de blocs erratiques sur la côte normande.
B.S.G.F., (3), t. 14, pp. 569-574.
- VEVERS, H.G., 1951. — Photography of the sea floor.
Jour. Mar. Biol. Assoc., vol. 30, pp. 101-111.
- WORTH, R.H., 1908. — The dredgings of the marine biological association (1895-1906) as a contribution to the knowledge of the geology of the english Channel.
Jour. Mar. Biol. Ass., N. séries, VIII, 2.