

LA RÉPARTITION DES FONDS SOUS - MARINS DANS LA MANCHE OCCIDENTALE

par

Gilbert Boillot

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

Résumé

L'auteur décrit dans cet article les sédiments de la Manche occidentale et leur répartition. Certains sont organogènes et calcaires ; ils se différencient par leur teneur en Bryozoaires, particulièrement abondants au voisinage de l'Atlantique et dans les régions où les courants sont forts. D'autres sont terrigènes et siliceux ; ils proviennent des remaniements sous-marins de roches anciennes. A ce propos, l'étude géologique des fonds rocheux est abordée. Enfin, les terrains quaternaires, continentaux ou marins, forment certains fonds résiduels ; ils permettent d'évoquer l'histoire récente de la Manche et des plateaux continentaux voisins.

Les recherches de géologie et de morphologie sous-marines ont depuis longtemps montré l'unité et l'originalité du « plateau continental ». Un peu partout, dans toutes les mers du globe, les terres émergées sont entourées par des régions, parfois immenses, où la profondeur moyenne n'excède pas 200 m. Les fonds y sont plats et monotones ; puis, brusquement, au large, cette plate-forme cesse par une pente souvent rapide qui conduit aux grands fonds océaniques.

Pour expliquer ce plateau, les hypothèses furent nombreuses. Mais toujours l'intérêt s'est porté sur sa nature géologique et sur son origine. Il pose cependant d'autres problèmes dignes d'attention : on a comparé avec justesse les mers qui le recouvrent actuellement aux anciennes mers épicontinentales ; mais on a rarement fait l'étude inverse, qui consiste à observer les dépôts actuels pour les comparer aux anciens. Cela doit cependant permettre de préciser la notion de faciès « néritique », et, par-là, peut-être, de mieux connaître la paléogéographie de certaines régions, objet final de la géologie stratigraphique.

Pour cela, la Manche occidentale est très favorable. C'est typiquement une mer épicontinentale. Ses fonds, qui dépassent rarement — 100 m, sont en continuité avec ceux du plateau continental celtique, à peine plus profonds ; mais elle s'en sépare en s'enfonçant entre la

France et l'Angleterre, ce qui y limite les influences de l'Océan Atlantique. Par ces caractères, la Manche est comparable à ce que furent nos « bassins » comme celui de Paris ou celui d'Aquitaine.

Toutes ces raisons ont conduit à y étudier la sédimentation actuelle. Dans deux précédents articles (1960 a, 1961), j'ai décrit la répartition des fonds meubles au large de Roscoff et dans ses envi-

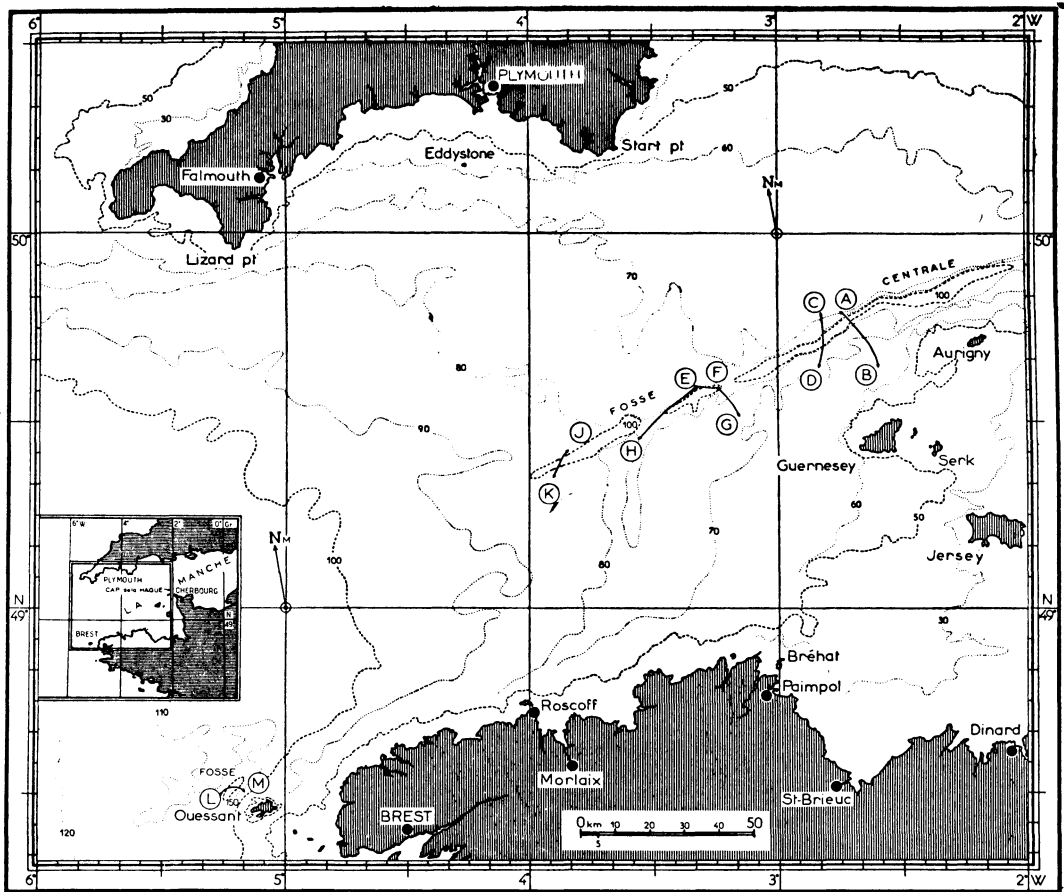


FIGURE 1

Topographie de la Manche occidentale, d'après les cartes du Service Hydrographique de la Marine. On a porté les emplacements des profils de la figure 6.

rons immédiats. Il restait à placer ces études dans leur cadre général. A cet effet, le « Pluteus II » a effectué, au cours du printemps et de l'été 1960, plusieurs missions (1) qui ont permis de récolter par dra-

(1) Je remercie les collègues et les étudiants qui ont participé successivement à ces missions et qui m'ont considérablement aidé dans le travail en mer, en particulier MM. Carbonnel, L'Hardy, Pautot et Van Mol, ainsi que MM. Bouillon, Boutler, Cabioch, Cantacuzène, Grua, Hinschberger, Moign, Toulemont, Vanney, Vasserot. Je remercie également l'équipage, commandé par M. Creignou, dont la sympathique collaboration a beaucoup facilité ma tâche.

gages près de 200 échantillons de sédiments, répartis selon un quadrillage régulier dans toute la Manche occidentale et sur le plateau continental atlantique (2) (fig. 2).

Les fonds observés sont très variés. Ce sont tantôt des cailloutis, tantôt des sables, et les sables sont parfois siliceux, plus souvent calcaires. Il a donc fallu adopter une classification qui rende compte au

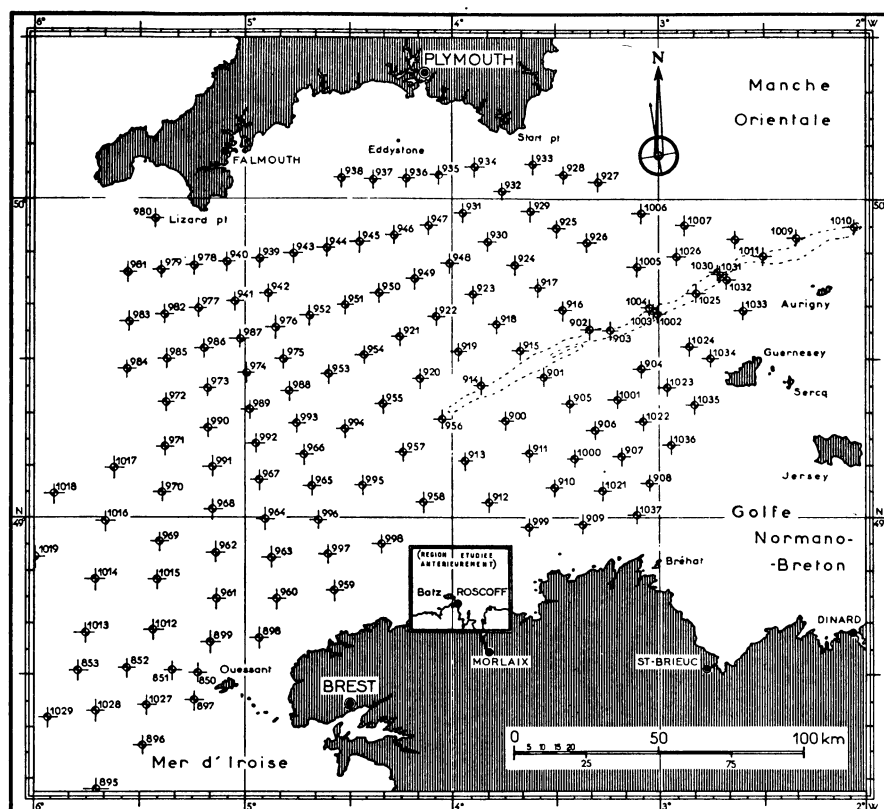


FIGURE 2

Emplacement des prélèvements dans la Manche occidentale (le calcul de la position s'est fait par système Decca).

mieux de la diversité d'origine de ces sédiments et de leurs différences pétrographiques. A l'échelle de ce travail, je ne pouvais définir que de grands ensembles, ce qui m'a conduit à éliminer dans les définitions tous les caractères des sédiments qui varient rapidement. Si l'on excepte la « bande côtière », dont je parlerai plus loin, trois grandes

(2) Les dragages furent réalisés avec une drague Rallier du Baty de 45 cm de diamètre. La navigation et le calcul de la position du bateau à chaque station se sont faits par système Decca, dont la précision moyenne en mer est de l'ordre de 100 m, quand les conditions météorologiques sont bonnes. Entre les dragages, nous avons constamment sondé à l'aide d'un sondeur par ultra-sons à enregistrement continu, en notant la position du navire toutes les cinq minutes.

zones ont des limites précises et leur unité est assez évidente : ce sont les cailloutis, les sables quartzeux et les sables organogènes. Mais ces sables organogènes, qui sont très répandus dans la Manche, doivent être différenciés.

J'aurais pu adopter pour cela la granulométrie. Mais cette méthode se heurte, dans ce cas, à de grandes difficultés. Selon leur origine biologique, en effet, la forme et la taille des grains sont très différentes. Quand, par exemple, les Bryozoaires jouent un rôle important, le tamisage devient très difficile à cause de leur forme en baguette (*Cellaria*). Deux dragages rapprochés récoltent des sables dont la granulométrie est rarement la même. Dans un cas, l'échantillon, accidentellement sans doute, est plus riche en cailloux ; dans un autre, en coquilles ou en graviers. On s'aperçoit rapidement, quand on multiplie ces analyses, qu'il est nécessaire, si l'on veut pouvoir les interpréter, de s'adresser à un matériel homogène, c'est-à-dire au quartz. Mais classer les sédiments par leur partie siliceuse quand le calcaire domine n'est pas satisfaisant.

La presque totalité de ce calcaire est d'origine biologique. Mais les organismes qui le produisent sont variés et ne vivent pas tous dans les mêmes conditions. Les sédiments en subissent les conséquences dans leur partie organogène, et c'est là sans doute qu'il faut chercher un moyen de les différencier quand cette partie est la plus importante.

La distinction écologique qui semble alors la plus significative, lorsque les dépôts sont produits par des organismes benthiques, est celle de faune « fixée » et de faune « libre ». La faune fixée indique en effet la proximité d'un support stable (roche, cailloux, graviers, par exemple), qui ne soit pas détruit, ensablé ou envasé. Cela suppose un fond en équilibre, où les courants sont assez forts pour entraîner les particules de vase et les grains de sable qui sont produits à leur mort par les organismes à squelette calcaire, mais sont incapables d'érosion sous-marine. La faune libre — endofaune ou épifaune — n'a pas de semblables exigences et s'accommode mieux, en particulier, des sédiments en voie d'enrichissement par apport continu de nouveaux matériaux.

Dans la Manche occidentale, cette distinction est assez simple, si l'on ne considère que les restes calcaires et si l'on élimine ceux qui ne jouent pas de rôle quantitatif important : la faune fixée se réduit

FIGURE 3
(au recto, ci-contre)

Carte géologique schématique de la Manche occidentale, expliquant les remaniements de roches anciennes qui s'observent dans les sédiments actuels. (Carte dessinée d'après les travaux de L. Dangeard, 1928, W.B.R. King, 1954, D. Curry, 1960, G. Boillot et Y. Le Calvez, 1961.) Les simples croix indiquent l'emplacement des dragages où il n'a pas été constaté de remaniements importants.

FIGURE 4
(au verso, ci-contre)

Carte schématique de la répartition des sédiments dans la Manche occidentale (pour plus de précision dans la légende, voir le tableau page 192.)

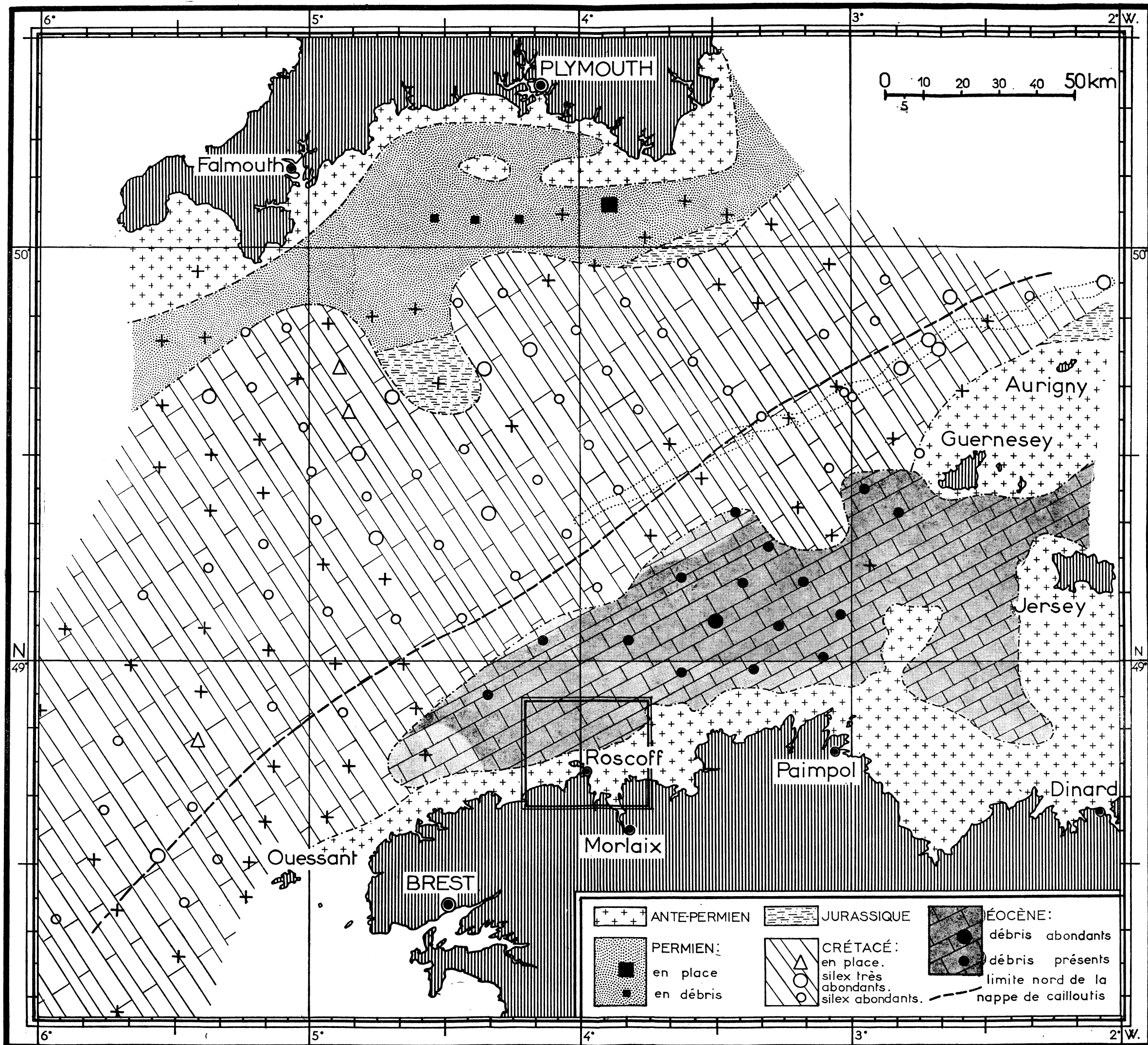


FIG. 3

alors pratiquement aux Bryozoaires, la faune libre aux Lamellibranches ; et les Bryozoaires sont surtout représentés par des articles de *Cellaria* (3). L'étude s'est donc ramenée à celle de la teneur en *Cellaria* des sables, et de cette façon j'ai pu très aisément différencier les dépôts organogènes que j'ai récoltés en trois catégories : sables coquilliers, sables coquilliers à Bryozoaires, sables à Bryozoaires. Cette méthode a un autre avantage : elle doit permettre des comparaisons faciles avec les roches consolidées étudiées en lames minces, où les Bryozoaires et les autres débris organiques se reconnaissent sans difficulté, alors que la granulométrie devient inutilisable du fait de la cimentation définitive des grains.

En dehors de la vaste zone des sables organogènes, les fonds sont parfois des cailloutis, qui sont un dépôt résiduel très ancien ; d'autres fois, près de l'Angleterre, des sables quartzeux actuels. Même dans les sables les plus calcaires, il existe du quartz ou des cailloux, souvent mêlés à du gravier. Ces apports terrigènes font revenir à la géologie classique.

Les sédiments actuels sont en effet peu épais : selon W.B.R. King, ils dépassent rarement 50 cm. La roche affleure souvent et, plus souvent encore, on récolte en même temps que les sables actuels des cailloux, en particulier des silex quand on se trouve dans des régions crayeuses. Ces silex sont parfois volumineux, et ne peuvent être éloignés de la roche-mère. Il faut donc connaître, pour interpréter ces remaniements, la carte géologique de la Manche (4) (fig. 3). Il faut aussi connaître son histoire au cours du Quaternaire, où la mer s'est parfois retirée au-delà du plateau continental, abandonnant aux influences aériennes la Manche tout entière. Cela nous conduira, au cours de cet article, à mêler constamment la biologie et la géologie. C'est, je crois, le sort de tous ceux qui étudient la sédimentation sur le plateau continental, où l'activité des organismes est très importante quand la mer s'y trouve, mais dont l'histoire est fréquemment troublée par des régressions qui portent à l'air libre les dépôts marins fraîchement formés.

*
**

Voici, compte tenu de toutes ces remarques, les définitions des zones sédimentaires qui s'observent dans la Manche occidentale. Ces définitions ont permis d'établir la carte des sédiments reproduite figure 4. Les caractères variables des fonds y sont portés également, mais par des « notes » inscrites à l'emplacement de chaque dragage (5).

(3) Il existe, dans la Manche, plusieurs espèces de *Cellaria* (en particulier : *C. fistulosa* et *C. sinuosa*) qui se distinguent par leur taille, mais que l'on trouve généralement ensemble. Cette différence de dimension les rend sensibles, à leur mort, au triage granulométrique par les courants. Si bien que, selon le diamètre moyen du sable, qui peut varier rapidement avec les conditions locales, les débris de telle ou telle espèce sont plus ou moins abondants dans les échantillons. Mais ces différences de détail ne semblent pas avoir une grande importance.

(4) Cette figure a été dessinée d'après les travaux de L. Dangeard (1928) et W.B.R. King (1954), corrigés par D. Curry (1960), G. Boillot et Y. Le Calvez (1961).

(5) Définitions granulométriques de J. Bourcart (1941).

- | | |
|---|----------------------------------|
| A. — Plus de 50 % de cailloux dans les sédiments | Cailloutis |
| B. — Plus de 50 % de sable quartzeux dans les sédiments (après avoir prélevé les cailloux) | Sables quartzeux |
| C. — Moins de 50 % de sable quartzeux dans les sédiments (après avoir prélevé les cailloux) | Sables organogènes |
| — plus de 200 articles de <i>Cellaria</i> dans 1 cm ³ de sable | Sables à Bryozoaires |
| — de 100 à 200 articles de <i>Cellaria</i> dans 1 cm ³ de sable | Sables coquilliers à Bryozoaires |
| — moins de 100 articles de <i>Cellaria</i> dans 1 cm ³ de sable | Sables coquilliers |

Notes

- | | |
|-----|--|
| c | cailloux présents (moins de 10 %) |
| cc | entre 10 et 25 % de cailloux |
| ccc | entre 25 et 50 % de cailloux |
| f | entre 50 et 100 articles ou fragments d'articles de <i>Cellaria</i> par cm ³ de sédiment sableux. |
| g | plus de 15 % de gravier (par rapport au sédiment sans les cailloux) |
| g' | gravier plus abondant que le sable |
| l | entre 10 et 20 % de coquilles ou de fragments de coquilles supérieurs à 0,5 cm (par rapport au sédiment sans les cailloux) |
| ll | plus de 20 % de coquilles ou de fragments de coquilles supérieurs à 0,5 cm (par rapport au sédiment sans les cailloux) |
| s' | sable plus abondant que le gravier |
| ss | plus de 40 % de sable et de gravier |
| t | entre 20 et 30 % de sable quartzeux (par rapport au sédiment sans les cailloux) |
| tt | entre 20 et 50 % de sable quartzeux (par rapport au sédiment sans les cailloux) |
| v | présence de vase |
| vv | plus de 2 % de vase |
| x | entre 4 et 15 % de gravier (par rapport au sédiment sans les cailloux) |

I. — LES CAILLOUTIS

Description des cailloutis. - Leur répartition et leur rôle sédimentaire actuel. Leur âge antéquaternaire et l'histoire quaternaire de la Manche occidentale.

Dans toute l'étendue de la Manche, on récolte des cailloux (L. Crawshay, 1908; L. Dangeard, 1928; L. Berthois et J. Furnestin, 1938; J. Bourcart, 1947 et 1955; L. et C. Berthois, 1955). Au nord d'une ligne qui longe la fosse centrale et qui la continue à l'ouest (fig. 3), ce ne sont en général que des silex. Ils proviennent de la craie qui

forme le soubassement des sédiments actuels. Mais au sud de cette ligne, la nature pétrographique des galets change et devient très variée. On y trouve encore quelques silex, ou des débris de calcaire quand l'Eocène affleure en dessous des cailloux ; la plus grande partie cependant est composée de roches anté-permiennes, où dominent les grès et les granites. Ce sont les « cailloutis » au sens strict. Ils viennent presque tous de la Bretagne et de la Normandie et recouvrent partout le fond rocheux de la Manche, dont la nature géologique est absolument différente (calcaires éocènes ou craie du Crétacé supérieur).

Ces cailloutis occupent au large de Roscoff de grandes étendues et j'en ai déjà longuement parlé (1960 a). Mais leur importance est telle dans la Manche tout entière qu'il n'est pas inutile d'y revenir en résumant ce qui a été dit. Ils forment en effet, depuis le Cap de la Hague jusqu'à l'Île d'Ouessant, une bande continue qui longe les côtes françaises sans interruption. Leur aspect est partout le même : c'est une accumulation de galets faiblement émoussés et dissymétriques, souvent éclatés par le gel, dont la taille est très variable. Les plus volumineux qu'ait récoltés le « Pluteus » atteignent 35 cm. Mais J.-M. Graindor a signalé, dans la Baie du Mont-Saint-Michel, des blocs dont le diamètre dépassait 1 m.

Par endroits, cette formation est recouverte par les sables organogènes actuels et les dragages ne récoltent que quelques galets. Mais au S, le long des côtes de la Bretagne et de la Normandie, les cailloux forment presque seuls le fond de la mer, avec un peu de sable et de gravier. Parfois, les échantillons sont plus sableux. Mais c'est une exception. Il faut donc distinguer nettement la « nappe » des cailloutis et les « fonds » de cailloutis plus restreints, qui occupent les régions où la « nappe » affleure continuellement, sans être masquée par les dépôts récents.

Ces différences dans l'importance des sédiments actuels proviennent de la force variable des courants. La figure 7, dessinée d'après les cartes du Service Hydrographique de la Marine, le montre clairement. On voit que les fonds de cailloutis se rencontrent là où les courants de surface atteignent ou dépassent 2,5 nœuds de vitesse en marée de vive eau. Ailleurs, là où les courants sont plus faibles, du sable peut se déposer et recouvrir les galets. Les fonds de cailloutis sont donc partout des « fonds durs », balayés par les courants, comme au large de Roscoff. Cela a de multiples conséquences dans les phénomènes de la sédimentation actuelle.

Tout d'abord, la faune fixée peut y vivre et, selon les régions, elle montre une richesse tout à fait remarquable (L. Cabioch, 1961). J'y reviendrai à propos des sables organogènes. Ensuite, les cailloutis sont lentement remaniés. J'ai pu montrer, au large de Roscoff, que les galets sont en fait ce qu'il restait sur place après érosion d'un conglomérat à ciment calcaire. Cela s'observe ailleurs : par endroits, on retrouve sur les galets des traces du ciment, qui retiennent encore des coquilles anciennes ou des graviers. L'active circulation de l'eau sur le fond dissout le calcaire, avec l'aide des organismes perforants, et libère les éléments du conglomérat, dont les plus petits sont entraînés. C'est ainsi que s'expliquent les accumulations de gravier qui occupent parfois de grandes étendues entre les cailloutis proprement dits et les

sables de la région côtière (Baie du Mont Saint-Michel, J. Bourcart et G. Boillot, 1960 b ; large de Roscoff, G. Boillot, 1960 a).

Le calcaire du conglomérat coquillier dont proviennent les cailloux était connu ailleurs : il est tout à fait semblable au calcaire décrit par J. Bourcart, P.-H. Fischer et P. Marie au sud de la Bretagne. Ces auteurs ont montré, en 1942, que son âge était quaternaire moyen (Tyrrhénien de la Méditerranée). Je n'ai malheureusement pas retrouvé dans la Manche la richesse de la faune fossile qu'ils décrivent. Mais l'aspect est le même, et les organismes qui ont pu

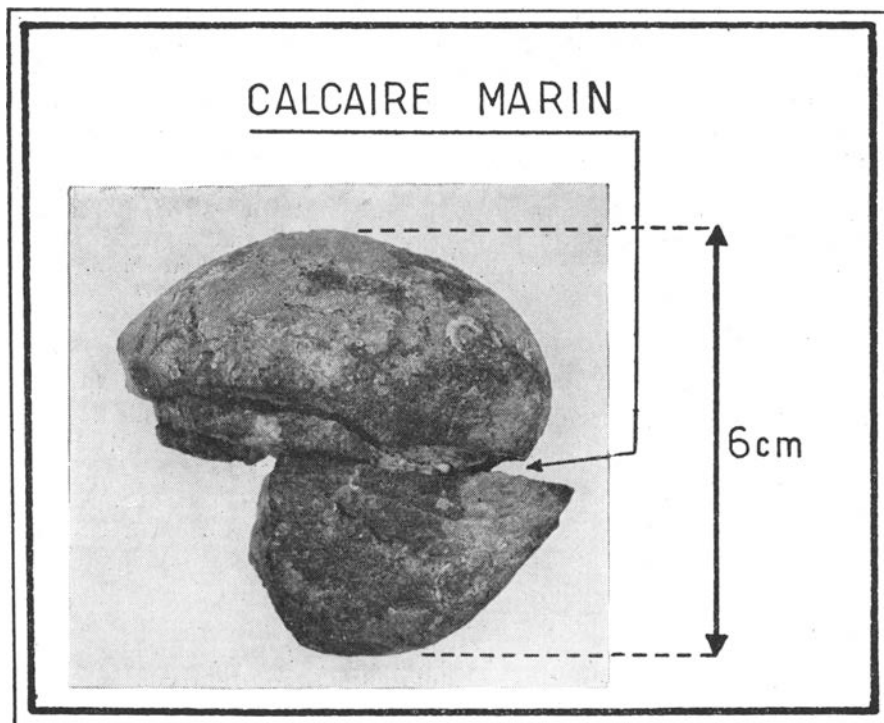


FIGURE 5

Galet éclaté par le gel, dont les fragments sont cimentés par un calcaire marin d'âge quaternaire.

être identifiés n'infirmant jamais cette comparaison (6). En particulier, on n'y a jamais trouvé aucune espèce de Foraminifère pliocène, et l'aspect très consolidé des échantillons, malgré l'érosion active qu'ils subissent de nos jours, élimine l'hypothèse d'une formation actuelle. Mais, bien qu'ils aient constitué un conglomérat coquillier, les galets ne sont pas d'origine marine. Certains sont éclatés par le gel, et j'ai décrit des cas où des fragments légèrement séparés l'un de l'autre étaient réunis par ce même calcaire qui a cimenté le conglomérat (fig. 5). Les galets ont donc été gélivés *sur place*, à une période

(6) Je remercie Mme Y. Le Calvez qui a bien voulu observer mes échantillons et identifier les rares Foraminifères qui s'y trouvent.

de régression antérieure au Quaternaire moyen, où le climat était rigoureux. Seul, le Quaternaire ancien répond à cette définition. J'en avait conclu, très imprudemment, que la mise en place des cailloutis datait de la même époque. Mais elle est certainement plus ancienne.

En effet, il existe, au nord-ouest de Roscoff, au milieu des cailloutis, dans une région où le tréfonds rocheux est constitué par une dalle de calcaire éocène, des dépressions isolées dont la profondeur peut localement dépasser 15 mètres. Par leur forme et leur répartition, ces dépressions évoquent les dolines d'un karst submergé. Les cailloutis, qui ne les ont pas comblées, ont nécessairement été mis en place avant la formation de ce karst.

Au fond de la doline la plus profonde (Trou Santic), j'ai récolté en abondance une roche argileuse rouge qui forme le soubassement de l'Eocène et qui affleure en cet endroit grâce au karst (1960 b). Certains fragments argileux sont réunis par le même calcaire qui a cimenté ailleurs les cailloux éclatés par le gel. Le karst existait donc déjà lors de la transgression tyrrhénienne. Sa formation doit dater du Quaternaire ancien, de la même époque climatique que l'éclatement des cailloux. Mais leur mise en place, qui suppose un régime hydrologique très différent, avec une circulation phréatique superficielle et non pas souterraine, est plus ancienne et peut dater du Pliocène supérieure, ou même du Miocène.

Il existe dans la Manche occidentale d'autres dépressions, mais beaucoup plus grandes que celles de Roscoff (fig. 1). La plus importante est la fosse centrale qui s'étend depuis le Cap de la Hague sur une distance de plus de 150 km. En fait, ce n'est pas une fosse unique, mais une série de dépressions alignées, séparées par des étranglements un peu moins profonds. Tout autour de la Fosse centrale et des autres dépressions (Fosse de la Hague, Fosse d'Ouessant), le Crétacé supérieur affleure et forme une immense surface structurale à peu près plane. L. Dangeard avait pensé que les fosses sont des régions d'affaissements, « sorte de fossé effondré entre failles » (fosse centrale). S'il en était ainsi, cet effondrement serait récent. Les cailloutis, en effet, se sont nécessairement déposés avant tout creusement, puisqu'ils n'ont pas comblé les fosses et n'en ont même pas suivi le cours (fig. 3). Le phénomène tectonique serait donc quaternaire, ce qui est assez étonnant dans ces régions très stables. D'autre part, il reste parfois, au milieu de la fosse centrale, des « interfluves » qui la séparent en deux branches et qui sont difficilement explicables par un effondrement (fig. 6, profil EH).

Il semble plus normal de voir dans ces dépressions des formes d'érosion. Les profils morphologiques de la figure 6 évoquent assez bien des vallées karstiques. Si l'on raisonne par analogie, en comparant à ce qui s'observe au large de Roscoff, l'époque de creusement est le Quaternaire ancien. La régression correspondante a nécessairement dépassé — 180 m en dessous du niveau actuel, qui est la profondeur maximum de la fosse centrale. Le littoral était alors au rebord du plateau continental, et il faut imaginer une différence de niveau entre la mer de cette époque, à plus de 150 km au-delà d'Ouessant, et le fond de la fosse, au large du Cap de la Hague, pour expliquer la circulation phréatique souterraine responsable de son creusement. La régression du Quaternaire ancien semble donc avoir été très importante, de l'ordre de — 250 m.

Ce niveau marin était le même au moment de la mise en place des cailloutis. Il existe en effet, sur la pente continentale atlantique, au large de la Bretagne, des cailloux tout à fait comparables à ceux

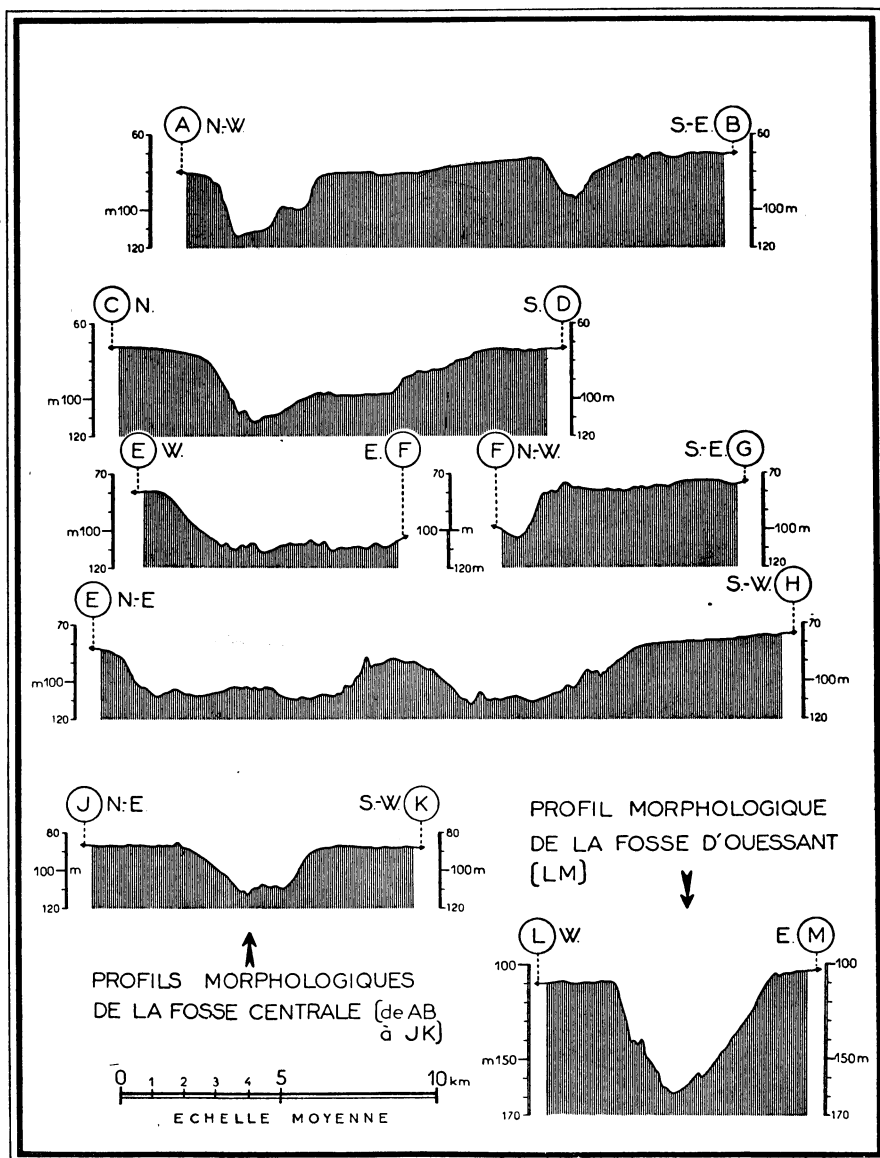


FIGURE 6

Profils morphologiques des fosses de la Manche occidentale, d'après des enregistrements de sondages (voir les emplacements des profils dans la Manche sur la figure 1).

des « cailloutis » de la Manche avec les mêmes traces de gélivation à l'air libre, sous un climat froid, et même quelques traces de calcaire à leur surface. Plusieurs fois signalés, ces cailloux ont surtout été décrits par L. Berthois et Y. Le Calvez (1959). Après une étude pétro-

graphique et morphoscopique, ces auteurs donnent comme explication possible parmi d'autres : « un cours d'eau d'origine bretonne s'est avancé jusqu'au bord du plateau continental pendant l'une des phases de retrait de la mer ». J'ai retrouvé ces cailloux à plusieurs reprises au sud-ouest de la Bretagne, à 220 m de profondeur. Ils forment jusqu'à 50 % du sédiment actuel. L. Berthois et Y. Le Calvez les ont même trouvés à — 740 m. Il est possible alors qu'ils glissent sur la pente continentale assez raide ; mais, dans ce cas, ils ne peuvent

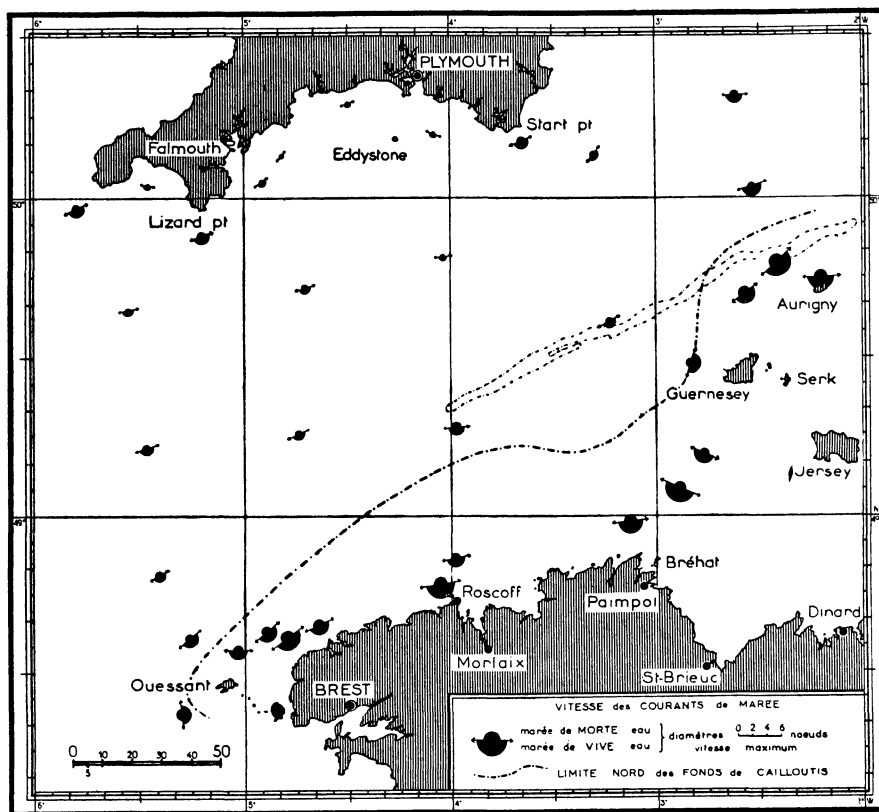


FIGURE 7

Répartition des courants dans la Manche occidentale et leur rapport avec les fonds de cailloutis (d'après les cartes du Service Hydrographique de la Marine).

provenir que du plateau qui surplombe et dont le rebord est à — 200 m. En 1937 déjà, J. Furnestin, qui avait trouvé des cailloux sur le plateau continental atlantique, écrivait : « La présence à peu près constante de blocs n'ayant pas subi l'action des vagues... tendrait à faire croire, malgré leur profondeur déjà considérable, à des formations continentales, sublittorales, indice probable de vastes régressions et de très anciennes lignes de rivage... en dessous de l'isobathe — 170 m ». Ailleurs, il pense cependant que « beaucoup de ces matériaux ont dû être véhiculés par les glaces flottantes », rejoignant par là les opinions de Ch. Vélain (1886), L. Dangeard (1928) et G. Dubois (1929). Cette explication, avons-nous vu, doit être abandonnée. Les

cailloutis ont été mis en place à l'air libre, avant le Quaternaire froid, par un réseau de cours d'eau qui a dû couler depuis la Manche orientale tout le long de la Bretagne, et depuis Ouessant vers le sud-ouest jusqu'au rebord du plateau continental. Ensuite, au Quaternaire ancien, la circulation des eaux est devenue souterraine. La Manche alors a dû être transformée en un immense plateau désertique, sous le climat froid de cette époque. Mais, entre la mise en place des cailloutis et le Quaternaire ancien, il est possible que se soit produite la transgression rapide du Pliocène, dont on connaît des traces en Bretagne du Sud et jusque dans la Baie du Mont-Saint-Michel (Y. Milon, 1937). Je n'en ai cependant découvert aucun témoin dans la Manche.

Après l'époque froide du Quaternaire ancien, la mer envahit le plateau continental au Quaternaire moyen, que l'on peut sans doute comparer au Tyrrhénien de la Méditerranée. Elle dépose alors la partie organogène calcaire qui a formé plus tard le ciment des cailloutis. Près de Roscoff, ce calcaire contient par endroits des *Lithothamnium*, dans des échantillons récoltés à une profondeur de 27 m. Actuellement, dans la baie de Morlaix, le maërl est vivant jusqu'à — 17 m, et on le trouve mort jusqu'à — 30 m (G. Boillot, 1961). La transgression du Quaternaire moyen semble donc avoir atteint un niveau comparable à l'actuel (7).

La suite de l'histoire quaternaire de la Manche est plus mal connue. On admet en général une autre grande régression, à la dernière époque froide, contemporaine de la glaciation de Würm (J. Bourcart, 1938). C'est pendant cette nouvelle période continentale que les dépôts marins du Quaternaire moyen ont été cimentés par circulation verticale des eaux de pluie et mise en solution, avant précipitation, du calcaire organogène. On ne connaît guère, en effet, de cimentation sous-marine actuelle en dehors du littoral. Les dépôts continentaux de cette période ont probablement été repris ensuite et mêlés aux sédiments actuels (L. Berthois et Y. Le Calvez). Enfin, au Flandrien moyen et supérieur, la mer a peu à peu repris la place qu'elle occupe de nos jours (J. Bourcart et G. Boillot, 1960 a).

II. — LES SABLES QUARTZEUX

Les sables quartzeux au N de la Manche occidentale. - Leur origine permienne. Le quartz dans les sables des autres régions. - Hypothèses sur son origine.

En dehors des zones littorales, où ils sont très localisés, les sables quartzeux se rencontrent sur d'assez grandes étendues au nord de la Manche occidentale (fig. 4), auprès des côtes anglaises. Ils ont été signalés dans cette région par Worth, en 1908, et dernièrement (1953) par N.A. Holme, à propos d'un travail de biologie.

(7) Il est très délicat, dans l'état actuel du travail, d'établir une corrélation entre les dépôts sous-marins du Quaternaire moyen et les niveaux de terrains qui ont été décrits sur le littoral (L. Dangeard et M. Graindor, 1956).

Worth donne de la zone située au sud de Plymouth une carte géologique et sédimentaire. On y voit la répartition des sables coquilliers, des cailloux, des graviers et du sable fin. Les sédiments grossiers ou coquilliers sont localisés autour du rocher d'Eddystone et au sud de Start point, dans un rayon de 4 milles environ. Ailleurs, les fonds sont formés de « fine sand », sans doute assimilable à nos sables quartzeux, qui sont des sables fins. Holme confirme ce travail. Il constate des perturbations rapides dans la répartition des sédiments autour d'Eddystone, où ils sont souvent coquilliers. Ailleurs, ce sont des « fairly clean fine sands », dont la granulométrie varie très peu. L'auteur insiste sur leur propreté et leur faible épaisseur (entre 0 et 50 cm) ; sauf aux abords de la côte, la roche qui en forme le substratum est le nouveau grès rouge.

Les dragages du « Pluteus » dans ces régions sont trop peu nombreux pour ajouter à ces travaux. Je ne puis qu'indiquer approximativement la limite sud des sables quartzeux et laisser prudemment en blanc la région qui borde les côtes anglaises. Mais l'origine du quartz pose un problème. Ce sont des grains généralement anguleux, de dimensions homogènes (sables fins). On observe à leurs côtés des débris coquilliers (entre 20 et 50 %), des grains de silex blancs et quelques minéraux lourds qui permettront peut-être une étude plus approfondie. Certains grains quartzeux sont de couleur brune, parfois rougis superficiellement. Plusieurs fois, nous avons dragué en même temps que le sable des débris d'argile permienne, et une fois, le Permien en place a fourni un échantillon gréseux (fig. 3).

Les grains de sable du Permien peuvent être dissociés de leur ciment argileux. Ils présentent alors la même morphologie et souvent la même taille que les grains du sédiment actuel. Ainsi s'expliquent sans doute les salissures rouges et la couleur brune qu'on observe parfois : le Permien est remanié, les parties les plus fines entraînées par les courants et les grains de quartz subsistent sur place en formant la mince couche des sédiments meubles.

Le sable siliceux existe cependant ailleurs que dans les régions permienues. Il forme alors entre 10 et 40 % des sédiments organogènes, sans que ces pourcentages se répartissent dans la Manche de façon régulière. Plusieurs fois déjà, à propos d'études plus générales, on a cherché à l'expliquer.

Pour J.A. Baak (1936), le quartz et les minéraux qui l'accompagnent sont apparentés aux sables littoraux et proviennent d'une formation continentale sableuse, déposée dans la Manche à une époque de régression. Baak, qui appuie ses conclusions sur une étude minutieuse des minéraux lourds, estime que le quartz a une origine nordique et fut emmené dans la Manche par le Rhin depuis les Pays-Bas et le Nord de l'Allemagne.

Cette hypothèse a été mise en doute par L. Berthois et J. Furnest (1937), et L. Berthois (1938). Selon cet auteur, « les courants peuvent modifier profondément la composition minéralogique quantitative des sédiments » et « les roches des côtes de France et de l'Angleterre qui ont vraisemblablement fourni les matériaux des sables du plateau continental celtique et de l'entrée de la Mer d'Irlande peuvent constituer des assemblages minéraux semblables à ceux des côtes de Hollande ». De longues années plus tard (1959), L. Berthois, en

collaboration avec Y. Le Calvez, suggère une explication précise : à une époque de régression, un cordon littoral s'est formé au bord du plateau continental, présentant une étroite parenté avec les dépôts actuels de la côte des Landes, et à la transgression suivante, les sédiments de ce cordon furent étalés sur le plateau continental celtique. C'est, ici encore, l'étude des minéraux lourds, appuyés par des analyses granulométriques, qui sert de base aux conclusions. Partout, dans les études de Baak comme dans celles de Berthois, ces méthodes conduisent à comparer étroitement les dépôts littoraux actuels avec la partie quartzeuse des sédiments du plateau continental.

A. Rivière, qui travaille, il est vrai, dans des régions éloignées de la Manche, explique cette parenté par la notion de « dispersion littorale », phénomène actuel. Mise en doute par certains (W. Nestéroff, 1958), approuvée par d'autres (P. Hommeril, 1958), cette théorie n'est sans doute pas valable partout. A Roscoff, semble-t-il, on n'observe rien de semblable : les sables organogènes qui bordent de part et d'autre les cailloutis sont plus calcaires au sud qu'au nord, alors que cela devrait être l'inverse si le quartz provenait de la côte. En revanche, bien des roches peuvent, au large, fournir par leur désagrégation du quartz et d'autres minéraux. L. Dangeard a montré pour la glauconie que, dans certains cas, la source en était le Crétacé ou l'Eocène. Les remaniements de roches consolidées doivent certainement être source de quartz. Le rôle du Quaternaire tyrrhénien, avons-nous vu, est considérable dans la sédimentation actuelle en libérant des graviers, des coquilles et des cailloux. Mais il contient aussi un peu de quartz, comme certains niveaux du Crétacé ou de l'Eocène.

III. — LES SABLES ORGANOGÈNES

Sables coquilliers et sables à Bryozoaires. - La répartition des Bryozoaires dans les sédiments est fonction des influences "atlantiques" et de la force des courants. - La glauconie et la silice dans la Manche occidentale.

Les sables organogènes n'ont pas, dans la Manche, une composition uniforme. Ils sont parfois riches en coquilles et en débris coquilliers, ailleurs riches en Bryozoaires (fig. 9). Selon les échantillons, on récolte avec cette partie calcaire des cailloux, des graviers ou même du sable de quartz. Tous ces constituants sont notés sur la carte, figure 4. Mais nous avons vu que ce sont des caractères variables, surtout locaux, et que seule la partie organogène des sédiments permet de les différencier.

Leur teneur en Bryozoaires, et plus particulièrement en articles de *Cellaria*, est très significative. On voit sur la figure 8 qu'ils se répartissent de façon simple, avec un maximum au large d'Ouesant et un minimum entre les îles anglo-normandes et Start point. Tout se passe comme si cette distribution résultait de deux phénomènes distincts : un gradient d'appauvrissement Atlantique-Manche orientale, et un autre gradient dans le sens sud-est - nord-ouest, perpendiculaire au précédent et, semble-t-il, lié à la présence des cailloutis.

Le premier gradient est difficilement explicable. Sans doute résulte-t-il de l'influence sur la biologie des Bryozoaires de ces « climats marins », dont Le Danois parle dans son livre « Les profondeurs de la Mer ». Les eaux atlantiques possèdent des propriétés physiques et chimiques favorables au développement des *Cellaria*, que les eaux nordiques semblent ne pas leur procurer. Depuis G. Pruvot, on a remarqué que ce phénomène intervenait pour de nombreux orga-

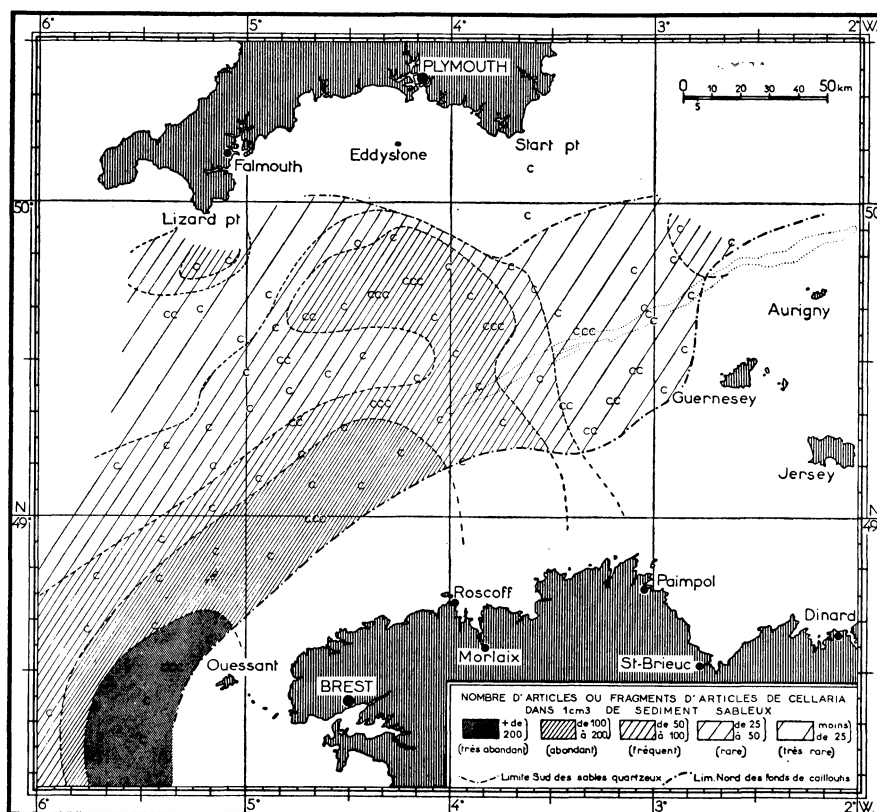


FIGURE 8

Répartition des articles de *Cellaria* (Bryzoaire) dans les sédiments de la Manche occidentale (C : cailloux présents ; CC : entre 10 et 25 % de cailloux ; CCC : entre 25 et 50 % de cailloux).

limite que dépassent rarement certaines espèces de l'Atlantique. C'est également la limite orientale des sables coquilliers à Bryozoaires.

L'autre gradient, perpendiculaire aux cailloutis, peut sans doute s'expliquer en partie par le rôle de support que jouent les galets pour toute la faune fixée, et pour les Bryozoaires en particulier. J'ai déjà insisté, à propos des sédiments de la région de Roscoff, sur la distinction entre les zones productrices et les zones d'accumulation des sédiments. On a vu à ce propos que, depuis le littoral jusqu'aux cailloutis, les dépôts organogènes s'enrichissaient en articles de *Cellaria* et s'appauvrissaient en débris de Moules, qui sont produits dans les régions très côtières tandis que les Bryozoaires vivent au large

nismes et, dans la Manche, Roscoff est justement à une longitude sur les galets. Le phénomène semble identique au Sud et au Nord des fonds de cailloutis : plus on s'éloigne, moins les sédiments sont riches en Bryozoaires.

Il y a cependant des exceptions à ce schéma. En particulier, au Sud du Cap Lizard, un « îlot » de sable relativement riche en Bryozoaires est isolé au milieu des sables purement coquilliers ; au centre de la Manche, une autre région, également riche en *Cellaria*, n'est ra-

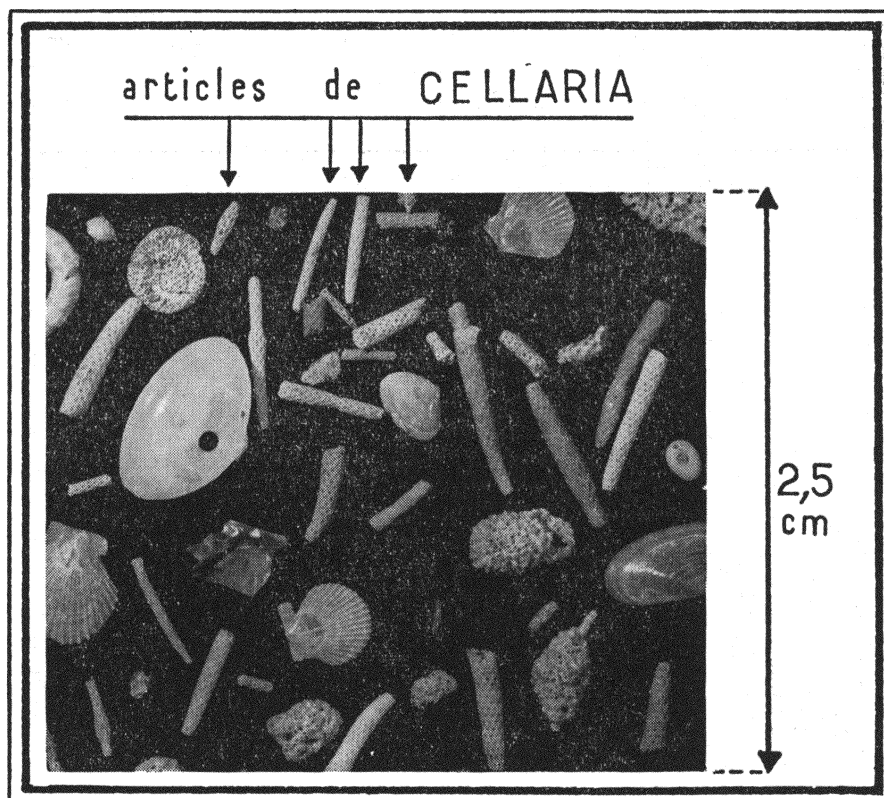


FIGURE 9

Exemple de sable à Bryozoaires, récolté au large d'Ouessant.

tachée à la zone qui lui correspond que par un mince pédoncule. Si les articles de Bryozoaires qui s'y trouvent avaient été produits sur les cailloutis, le transport aurait été supérieur à 100 km, dans une direction qui n'est pas celle des courants dominants. Enfin, la drague ramène partout des *Cellaria* vivants, en dehors des cailloutis proprement dits, chaque fois que se trouve un support comme un silex ou une grosse coquille. Les cailloutis sont donc loin d'être la seule zone productrice de Bryozoaires. Mais par l'abondance des supports qu'ils offrent, ils leur permettent un développement parfois luxuriant, qui ne s'observe pas ailleurs, là où les galets sont rares. La zone du centre de la Manche, assez riche en *Cellaria*, dont je par-

lais plus haut, s'explique justement par l'abondance des silex qu'on y trouve et qui atteignent souvent en volume 40 % du sédiment total. Le transport des articles de *Cellaria*, après la mort de l'animal, existe certainement. Mais il ne doit pas être considérable. Les sédiments de la Manche, avons-nous vu, sont peu épais (moins de 50 cm en moyenne, selon King). Cela suppose des fonds qui s'enrichissent très peu, où la destruction du calcaire par dissolution ou par attaque des organismes perforants compense à peu près la production biologique. Dans ces conditions, le transport ne doit pas durer très longtemps sans que le grain transporté ne soit détruit. Si la bordure des cailloutis est riche en Bryozoaires, c'est peut-être parce que les fonds durs sont proches, mais c'est aussi parce que l'on se trouve dans les zones de transition avec les sables proprement dits, où les galets sont encore très abondants.

Enfin, il est possible que les courants agissent sur l'écologie des Bryozoaires d'une autre façon. Nous avons vu qu'il existait un petit îlot de sable plus riche en *Cellaria* au sud du Cap Lizard. Je n'ai pas trouvé dans cette région plus de cailloux qu'ailleurs, et les influences « atlantiques » ne doivent pas se faire sentir davantage que dans la zone située immédiatement au sud, où les sables sont très pauvres en Bryozoaires. Mais les cartes marines montrent que précisément à l'endroit où la teneur en *Cellaria* s'accroît les courants sont plus forts à cause de la pointe du Cap Lizard (fig. 7). La ventilation active semble donc un facteur fondamental pour la vie des *Cellaria*, aussi bien en renouvelant l'eau qu'en laissant subsister en surface les cailloux sur lesquels ils se fixent.

*
**

Articles de Bryozoaires et débris coquilliers ne sont pas les seuls constituants des « sables organogènes ». Nous avons déjà parlé du quartz et des cailloux, qui sont en rapport direct avec la nature du substratum rocheux ou des nappes alluviales anciennes. Les graviers ont la même origine : au milieu des cailloutis, ils sont arrondis, appartiennent à des roches antépermienne et sont issus du conglomérat tyrrhénien. Sur la craie, ils sont au contraire anguleux et formés de silex. Enfin, la fraction organogène peut contenir des débris de Brachiopodes, des plaques de Balanes, des fragments d'Oursins ou d'Ophiures, des spicules d'Eponges, des tests d'Ostracodes et de Foraminifères, etc. Mais ces débris ne jouent pas de rôle quantitatif important dans la Manche et ne sont pas, à première vue, très caractéristiques, si l'on excepte les Foraminifères (Y. Le Calvez, 1958).

En revanche, les sables organogènes contiennent, en faible quantité mais d'une façon constante, de la glauconie, soit en grains, soit en moules internes dans les cavités des restes organiques calcaires (perforations des coquilles par les Cryptogames, loges des Foraminifères, vides dans les tests des Echinodermes, etc.). L. Dangeard, qui a consacré un chapitre entier de sa thèse à la glauconie dans la Manche, a montré que ce minéral a pu se former à une époque très récente ; sa couleur peut être vert pâle. Dans d'autres cas, surtout quand il s'agit de grains arrondis, la glauconie provient du remaniement de l'Eocène ou du Crétacé qui en contiennent ; sa couleur est alors presque toujours vert foncé.

J'ai retrouvé, dans les résidus des sables organogènes décalcifiés, les moules et les grains tels qu'ils ont été décrits par L. Dangeard. Mais en plus, on observe parfois des moules internes ou de petits nodules arrondis parfaitement blancs. Dans certains échantillons, il existe toutes les transitions dans les couleurs entre le vert foncé et le blanc, et cela peut même s'observer parfois dans le même moule interne. La substance blanche est amorphe au microscope polarisant et semble donc être de la silice pure (opale). Des observations analogues ont été faites en Méditerranée (J. Bourcart et F. Ottman, 1957), et les auteurs, après examen aux rayons X, concluent également à la coexistence des moules en silice et des moules en glauconie. Selon eux, les moules en silice se rencontrent « sur les reliefs peu profonds » (125 et 150 m dans les cas qu'ils étudient). Les trouver dans la Manche va dans le sens de cette hypothèse.

IV. — LA BANDE CÔTIÈRE

Définition. - Origine. - Répartition.

Au large de Roscoff, les sédiments de la « bande côtière » ne constituent pas une unité pétrographique comme les cailloutis, les sables calcaires organogènes ou les sables quartzeux. Ils sont au contraire très variés dans leur nature et leur origine (graviers, sables zoogènes, « maërl », sédiments siliceux littoraux). Leur description et leur analyse ont déjà été faites (1960 a, 1961). Mais à l'échelle de la Manche, ils peuvent être réunis en un seul ensemble, par leur mode de dépôt, lié ici encore aux variations des courants, et par leur situation en bordure de la côte.

Les courants de marée, en effet, sont maximum, avons-nous vu, sur les fonds de cailloutis. La topographie sous-marine est alors parfaitement plane et ne gêne en rien la circulation de l'eau. Quand on s'approche du littoral, au contraire, cette morphologie change brusquement au niveau de l'isobathe des 65 m : le fond devient très accidenté et les courants diminuent d'intensité jusqu'au rivage. Cela entraîne le dépôt des particules transportées du plus grossier au plus fin, avant que ne commencent les phénomènes proprement littoraux dus à la houle et au ressac. La bande côtière est ainsi localisée dans les régions où le relief est irrégulier, à une profondeur généralement inférieure à 65 m.

Le changement de morphologie sous-marine qui entraîne ces modifications dans la sédimentation correspond à une limite géologique. Les fonds plats sont dus à la présence sous les cailloutis d'une dalle de calcaire éocène. Les fonds accidentés sont granitiques (C. Boillot et Y. Le Calvez, 1961). En plus de leurs différences pétrographiques, la bande côtière et les cailloutis s'opposent donc par la nature de leur soubassement rocheux. Les cailloux sont répandus sur la surface plane de l'Eocène qui a dû servir de lit pour l'épandage de la nappe au moment de sa mise en place. Les sédiments organogènes de la bande côtière se trouvent dans des « poches » entre les pointe-

ments granitiques. Enfin, les graviers sont à cheval sur la limite morphologique et géologique, aux endroits où se font sentir les premiers ralentissements des courants. Vers le littoral, on observe ainsi ce qui se produit également au nord des cailloutis : les courants diminuant, ils déposent des sables organogènes de moins en moins riches en Bryozoaires.

Je n'ai pas étudié la bande côtière ailleurs qu'à Roscoff. Mais il est très vraisemblable que le phénomène est le même tout le long de la Bretagne. A la rupture de pente qui sépare le granite de l'Eocène, doivent partout commencer les cailloutis que j'ai dragués un peu plus au large. Partant de cette hypothèse, j'ai tracé leur limite sud en examinant la morphologie des fonds sur les cartes du Service Hydrographique de la Marine. Mais cela mérite vérification, ce que j'espère pouvoir faire dans une prochaine campagne. Il est possible enfin qu'une « bande côtière » existe le long des côtes anglaises. Mais, pour le savoir, une monographie détaillée, comparable à celle de Roscoff, est indispensable.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Bien qu'ils se répartissent d'une façon ordonnée, les sédiments actuels de la Manche occidentale sont donc très variés. Le seul caractère qui les réunisse est leur faible épaisseur, qui dépasse rarement 50 cm (Holme, 1953 ; King, 1954). Par ailleurs, tout les oppose : nature pétrographique, origine, mode de formation.

Cette faible épaisseur doit avoir plusieurs causes. Il est bien certain qu'une grosse partie du calcaire organogène est détruite par les organismes lithophages et par dissolution. Mais nous avons vu que la dernière transgression marine de la Manche est récente ; il est normal que les sédiments déposés depuis ne soient pas très épais : ils forment la couche de base d'un cycle sédimentaire qui débute, et s'en ressentent profondément.

Deux phénomènes très distincts sont sources de sédiments : le remaniement sous-marin des anciens dépôts, l'activité organique actuelle.

Le remaniement est favorisé par les courants et par la nature friable ou calcaire du substratum rocheux. A l'approche des côtes de l'Angleterre, en particulier, le tréfonds de la mer est formé d'argiles et de grès permien, très tendres et facilement détruits. La fraction « terrigène » du sédiment est alors plus importante que la fraction organogène ; les fonds meubles sont du sable fin quartzeux, dont les grains sont issus du Permien. Au sud de la Manche, au contraire, le long de la Bretagne, la vitesse des courants est telle que les sédiments actuels sont balayés ; seuls subsistent sur le fond les résidus grossiers d'un conglomérat tyrrhénien presque complètement détruit (cailloutis). Mais ce résidu caillouteux est très résistant. Il protège les calcaires éocènes qui se trouvent en dessous et qui sont particulièrement vulnérables à l'attaque des perforants et à la désagrégation sous-

marine. Là où les cailloutis n'existent pas dans la Manche, on ne retrouve plus d'Eocène autrement qu'en débris dans les sédiments actuels. Seule affleure la couche de craie plus épaisse et protégée par les silex résiduels.

La forme générale du plateau continental de la Manche et de la mer celtique est certainement voisine d'une surface structurale. On voit cependant que la mer, qui érode quand ils sont calcaires ou friables tous les petits reliefs sous-marins exposés aux courants, et qui comble peu à peu les dépressions, peut *niveler* avant de *déposer*. Grâce à ces courants, le plateau continental s'entretient ainsi de lui-même. La base d'une nouvelle couche est à peu près horizontale ; son sommet est à son tour aplani si, dans la suite de l'histoire géologique, survient après une régression une nouvelle transgression. Il suffit, pour que le phénomène se poursuive, que le plateau continental se trouve dans une région tectoniquement stable, où seule se produit une lente subsidence ; le rythme régression-transgression peut alors continuer longtemps en ajoutant de nouvelles couches dont l'épaisseur est en rapport avec la durée des actions marines et l'intensité de l'activité biologique. Les animaux, en même temps qu'ils préparent un nouveau dépôt par l'accumulation de leurs squelettes, permettent son abrasion ultérieure par d'autres organismes, parce que leurs débris ont formé une roche *calcaire* que les perforants détruiront. Cette double activité biologique — construction et destruction — est par conséquent le caractère géologique fondamental du plateau continental.

Il y a lieu cependant de faire une distinction dans les apports organogènes. Les sables calcaires se classent dans la Manche selon leur teneur en Bryozoaires : au sud-ouest, ils en sont très riches, au nord et à l'est beaucoup plus pauvres.

Le premier gradient ouest-est s'explique par les influences « atlantiques », favorables à la vie des *Cellaria*. Les biologistes préciseront un jour quelles sont les raisons de ce phénomène. Mais les géologues en ont souvent remarqué d'analogues dans le passé. Point n'est besoin d'expliquer les oppositions de faunes d'un bassin à un autre par des seuils et des détroits : de faibles différences dans les propriétés physiques et chimiques de l'eau de mer suffisent parfois pour en rendre compte.

L'autre gradient est dû à la répartition des courants de marée, plus forts et plus rapides au sud qu'au nord, capables de dégager sur de grandes surfaces les cailloux qui servent de supports à la faune fixée. Le long des côtes nord du Finistère, la faible épaisseur des sédiments actuels permet ainsi la vie luxuriante des Bryozoaires. Quand le cycle sédimentaire est plus avancé, là où manquent les fonds durs et où les courants sont faibles, les Bryozoaires se font plus rares et les Mollusques plus fréquents. Dans la Manche, ces variations sont actuellement « latérales ». Mais on peut concevoir, parallèle au cycle sédimentaire, un cycle biologique qui ferait varier dans le sens « vertical » d'une couche les caractères de la faune dont on trouve les débris, parce que la sédimentation a fait lentement varier les conditions écologiques.

Abstract

The author describes the sediments of the Channel and their distribution. Some are organogenous and calcareous: they can be distinguished by their contents in Bryozoa, which are numerous by the Atlantic Ocean and where streams are strong. Others are mechanical and silicious: they proceed from submarine abrasion of ancient rocks, and this leads us to the geologic study of the bottom. Some quaternary, residual soils, from marine or continental origin, give precious indications about the recent history of the Channel and adjacent continental shelves.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

Service Hydrographique de la Marine

1891. — Carte des courants de marée. Manche, entrées de la Manche et de la Mer du Nord. 13 feuilles, A à M, avec un Avertissement. *Paris*.

1900. — Carte n° 5069. La Manche, partie Ouest, de Brest à Cherbourg et des Iles Scilly à l'Île de Wight. *Paris*.

Hydrographic Office

1955. — English Channel. Western portion. Decca chart. Chain 1 (S.W. British).

**

- BAAK, J.A., 1936. — Regional petrology of the southern North Sea. *Veenman et Zonen*, Wageningen.
- BERTHOIS, L., 1938. — Etude de l'influence des courants sur les dépôts marins. *C.R. Ac. Sc., Paris*, 207, pp. 195-197.
- BERTHOIS, L. et c., 1955. — Etude lithologique des sédiments récoltés par le « Président Théodore Tissier » en rade de Brest et en Manche. (Campagne 1949.) *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, 19, (4), pp. 467-499.
- BERTHOIS, L. et LE CALVEZ, Y., 1959. — Deuxième contribution à l'étude de la sédimentation dans le Golfe de Gascogne. *Ibid.*, 23, (3), pp. 323-376.
- BERTHOIS, L., et FURNESTIN, J., 1937. — Etude des sédiments dragués par le « Président Théodore Tissier » (Plateau continental celtique, Manche et Mer du Nord). *C.R.Ac.Sc. Paris*, 204, pp. 1876-1878.
- BERTHOIS, L., et FURNESTIN, J., 1938. — Etude des sédiments dragués par le « Président Théodore Tissier ». *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, 11, (3), pp. 381-424.
- BOILLOT, G., 1960a. — La répartition des fonds sous-marins au large de Roscoff (Finistère). *Cah. Biol. Mar.*, 1, pp. 3-23.
- BOILLOT, G., 1960b. — Sur le Permo-Trias en place sous l'Eocène au large de Roscoff (Finistère) et sur la signification des fosses de la Manche occidentale. *C. R. Ac. Sc., Paris*, 251, pp. 2219-2221.
- BOILLOT, G., 1961. — La répartition des sédiments en Baie de Morlaix et en Baie de Séez. *Cah. Biol. Mar.*, 2, pp. 53-66.
- BOILLOT, G., et LE CALVEZ, Y., 1961. — Etude de l'Eocène au large de Roscoff (Finistère), et au S de la Manche occidentale. *Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dyn.*, IV, fasc. 1. *Sous presse*.
- BOURCART, J., 1938. — La marge continentale. Essai sur les régressions et les transgressions. *B.S.G.F.*, VIII, pp. 394-474.
- BOURCART, J., 1941. — Essai d'une classification raisonnée des matériaux meubles. *B.S.G.F.*, XI, pp. 117-153.
- BOURCART, J., 1947. — La sédimentation dans la Manche. *Sess. Extraord. Soc. Belge Géol.*, 19-26 sept., Bruxelles.

- BOURCART, J., 1955. — Etude des échantillons récoltés en Juillet-Août 1946 par le « Président Théodore Tissier ». *Rev. Trav. Inst. Pêches Maritimes*, 19, (4), pp. 447-464.
- BOURCART, J., et BOILLOT, G., 1960a. — Etude des dépôts flandriens de l'Anse Duguesclin, près de Cancale (Ille-et-Vilaine). *B.S.G.F.*, 7^e, II, pp. 45-49.
- BOURCART, J., et BOILLOT, G., 1960b. — La répartition des sédiments dans la Baie du Mont Saint-Michel. *Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dyn.*, (2), vol. III, fasc. 4. *Sous presse*.
- 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 OTTMANN, F., 1957. — Recherches de géologie marine dans la région du Cap Corse. *Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dyn.*, (2), vol. 1, pp. 65-78.
- CABIOCH, L., 1961. — Etude de la répartition des peuplements benthiques au large de Roscoff. *Cah. Biol. Mar.*, 2, n° 1, pp. 1-40.
- CRAWSCRAY, L., 1908. — On rock remains in the bed of the English Channel. An account of the dredgings carried out by S.S. « Githona » in 1906. *Journ. Mar. Biol. Ass.*, N. series, VIII, 2, pp. 99-117.
- CURRY, E., 1960. — Eocene limestones to the West of Jersey. *Géol. Mag.*, XCVII, n° 4, pp. 289-298.
- DANGEARD, L., 1928. — Observations de Géologie sous-marine et d'Océanographie relatives à la Manche. *Ann. Inst. Océanogr.*, N. série, VI, fasc. 1.
- DANGEARD, L., et GRAINDOR, M., 1956. — L'étage Normandien et ses divisions. *C.R. Ac. Sc., Paris*, 242, pp. 1744-1745.
- DUBOIS, G., 1929. — Répartition et origine des galets exotiques dans les formations quaternaires marines du Nord de la France. *Ann. Soc. Géol. du Nord*, XLVIII, p. 188.
- FURNESTIN, J., 1937. — Compte rendu des dragages géologiques de la quatrième croisière du « Président Théodore Tissier » (8 mai-11 juillet 1935). *Rev. Trav. Off. Pêches Marit.*, 10, (2), pp. 233-258.
- GRAINDOR, M.J., 1958. — Sur la présence de gros blocs encastrés dans les sables du golfe normano-breton. *C.R. Ac. Sc., Paris*, 247, pp. 2402-2404.
- HOLME, N.A., 1953. — The biomass of the bottom fauna in the English Channel off Plymouth. *Journ. Mar. Biol. Ass.*, 32, pp. 1-49.
- HOMMERIL, P., 1958. — Erosion et sédimentation à Saint-Aubin-sur-Mer. *Bull. C.O.E.C.* ; 10^e année, 9 et 10, pp. 559-616 et 691-740.
- KING, W.B.R., 1954. — The geological history of the English Channel. *Quart. Journ. Geol. Soc. of London*, CX, pp. 77-102, pl. IV.
- LE CALVEZ, Y., 1958. — Les Foraminifères de la Mer Celtique. *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, 22, (2), pp. 147-209.
- LE DANOIS, E., 1948. — Les profondeurs de la mer. *Payot éd.*, Paris.
- MILON, Y., 1937. — Contribution à l'étude de la transgression pliocène. *Bull. Soc. Géol. et Min. Bretagne*, pp. 4-9.
- NESTEROFF, W.D., 1958. — Recherches sur les sédiments marins actuels de la région d'Antibes. *Thèse*, Paris.
- PRUVOT, G., 1897. — Essai sur les fonds et la faune de la Manche occidentale. *Arch. Zool. Exp. et Gén.*, 3^e s., V, pp. 511-660.
- RIVIÈRE, A., 1959. — Sur la notion de dispersion littorale. *C.R. Ac. Sc., Paris*, 249, pp. 1920-1923.
- VELAIN, C., 1886. — Note sur l'existence d'une rangée de blocs erratiques sur la côte normande. *Bull. S.G.F.* (3), 14, pp. 569-574.
- WORTH, H., 1908. — The dredgings of the marine biological association (1895-1906) as a contribution to the knowledge of the geology of the English Channel. *Journ. Mar. Biol. Ass.*, N. series, VIII, 2, pp. 118-188.