

# ÉTUDE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'ESTUAIRE DU BELON

par Jean MARIN

Le centre ostréicole du Belon, malgré son intérêt économique, n'a fait, jusqu'à présent, l'objet que d'investigations épisodiques. En 1923, HINARD aborda l'étude des fonds ostréicoles pour les comparer à ceux d'une autre région réputée, celle de Marennes. Plus tard, dans le cadre de la recherche des larves d'huîtres, VOISIN (1932), TACLET (1935) et HERMAN (1935 à 1938) y réalisèrent quelques observations sur les températures et les densités pendant les mois de juin et de juillet, période de reproduction de l'huître plate. En 1946-1947, enfin, MARTEIL commença une étude comparative de l'Aven et du Belon dont les résultats n'ont pas été publiés. La répétition des phénomènes de mortalité estivale, depuis 1961, a rendu nécessaire l'acquisition d'une meilleure connaissance de l'estuaire. Nos recherches ont porté depuis 1968 sur les facteurs physico-chimiques qui nous ont paru les plus importants, morphologie et sédimentologie, hydrologie et sols ostréicoles.

## I. - Morphologie et sédimentologie de l'estuaire.

La rivière de Belon est avec le ruisseau de Guilvinec, les rivières de Pont-l'Abbé et de Fouesnant, l'Aven et la Laïta, l'une des principales rias de la côte méridionale de la Bretagne. Elle se situe entre 3°40'-3°45' de longitude ouest et 47°48'-47°52' de latitude nord.

Notre étude se limitera à l'estuaire de la rivière de Belon, partie du cours remontée par la mer lors du flot.

### I° Cadre structural.

La rivière de Belon se trouve sur le flanc sud de l'anticlinal de Cornouailles, où elle entaille normalement des formations métamorphiques disposées en bandes parallèles et allongées selon la direction armoricaine NO-SE.

L'estuaire du Belon est encaissé dans un massif de granite gneissique mis en place lors de l'orogénèse hercynienne. Le granite s'est introduit dans la série antécambrienne, constituée par des micaschistes à biotite et par des schistes phylladeux micacés à séricite.

Le précambrien est bien représenté dans une bande commençant au niveau de l'embouchure du Belon, au sud du massif granito-gneissique, ainsi qu'à l'intérieur même de celui-ci où il constitue des lambeaux résiduels aplatis, toujours orientés NO-SE.

Les micaschistes sont toujours très altérés (lamelles de biotite rubéfiées) et s'effritent facilement. La désagrégation du granite gneissique a donné lieu, soit à la formation de gros blocs arrondis (désagrégation en boules) tels qu'on les trouve au Gorgen, soit à la formation d'une arène grossière à éléments non usés de quartz et de feldspaths (parfois altérés) et comprenant une fraction poudreuse (environ 10 %). Cette arène granitique désignée par le terme impropre de « tuffeau » est exploitée, dans des carrières, par les ostréiculteurs du Belon qui l'utilisent pour durcir le sol des parcs.

La différence de résistance à l'altération et à l'érosion entre ces deux types de roche (micaschistes et gneiss) est à l'origine des particularités morphologiques de la région.

## 2° Caractéristiques topographiques et morphologiques.

D'une largeur moyenne de 230 m, l'estuaire du Belon s'étend sur environ 7 km depuis son débouché dans l'océan, au rocher de Minbriz, jusqu'au Pont Guily à la limite de la marée.

Le Belon est encaissé au sein d'un plateau ayant une altitude moyenne de 30 m. A l'embouchure les flancs de sa vallée sont abrupts, leur pente s'adoucit au fur et à mesure que l'on remonte le cours de l'estuaire.

Le thalweg de la vallée a une forme sinueuse ; ceci en raison de l'alternance sur les deux rives d'éperons rocheux de nature gneissique : Beg-Porz, avancée de Questélan, Beg-Ar-Vechen, avancée du château de Belon, etc.

Dans sa partie amont, du Pont Guily à Beg Lannéguy, l'estuaire est grossièrement orienté E-O ; la partie aval, de Beg Lannéguy à Minbriz, est orienté NE-SO.

A Minbriz, le Belon débouche dans une concavité de la côte, petite baie très ouverte sur l'océan, qui est le résultat d'une érosion sélective sur les micaschistes et schistes sériciteux. Dans ce même renfoncement de la côte, à l'ouest du Belon, se jette l'Aven orientée N-S.

Les embouchures du Belon et de l'Aven, séparées par l'éperon rocheux de Penquernéo, sont distantes d'environ 900 m.

Belon et Aven ont en commun une vallée sous-marine. Celle-ci, décrite par COLLIN (1935), prend au sortir des estuaires une direction NE-SO, s'appuie sur l'île verte au SE de Concarneau, puis se redresse vers le sud, pour rejoindre vers l'isobathe — 50 (limite antépléistocène, selon COLLIN, du continent armoricain) la vallée sous-marine des rivières de la baie de la Forest. A une époque récente le Belon aurait été un affluent de l'Aven.

En amont, l'estuaire du Belon se prolonge par le Guily ; à Beg Lannéguy, il reçoit les eaux du Douardu. Ces deux petits cours d'eau, orientés N-S et à régime torrentiel, débouchent respectivement dans les anses du Guily et de Pen Mor, sur la rive droite de l'estuaire. Avec des ruisseaux de moindre importance, ils collectent les eaux d'un bassin versant d'environ 68 km<sup>2</sup>.

Tous ces affluents aboutissent à l'estuaire par l'intermédiaire d'anses à fond vaseux, situées perpendiculairement à son cours. Les anses de quelque importance sont au nombre de quatre. Trois débouchent sur la rive droite : anse du Guily : 1 300 m de long, anse de Kéristinec : 500 m de long, anse de Pen Mor : 1 300 m de long ; une, sur la rive gauche : anse de Lanriot : 500 m de long.

## 3° Bathymétrie.

### *Sondages.*

Le tracé du Belon figure sur la carte marine française n° 5 479 « De la pointe de Trévignon à Lorient ; île de Groix » à l'échelle de 1/46 160.

Les quelques sondes, figurant sur la carte, entre le petit port de Belon et l'embouchure de l'estuaire proviennent du levé hydrographique effectué en 1818 par l'ingénieur hydrographe BEAUTEMPS-BEAUPRÉ. Il était nécessaire de savoir si, depuis cette époque lointaine, des modifications importantes étaient intervenues. Nous avons donc procédé à une série de sondages couvrant l'ensemble de la zone ostréicole.

L'appareil utilisé est un sondeur enregistreur par ultra-sons, Furuno type F 710 B, fonctionnant avec une batterie de 12 volts. L'oscillateur ou base est au titanate de baryum. L'appareil comprend deux vitesses de déroulement de la bande enregistreuse (6,35 mm/mn et 12,7 mm/mn) ; c'est à cette dernière vitesse que les sondages furent enregistrés. L'appareil, pour des profondeurs comprises entre 0 et 50 m, effectue 265 sondages par minute.

Les sondages furent effectués à bord d'une embarcation de 5 m de long environ, de type « canot de sauvetage », à une vitesse moyenne de 4,5 km à l'heure. L'oscillateur était immergé à une profondeur d'environ 0,60 m, à l'extrémité d'un tube métallique fixé au milieu de l'un des bords de l'embarcation. À l'aide d'un compas, nous avons effectué les sondages en radiales parallèles, espacées de 50 m dans la partie aval (de l'embouchure au port de Belon) et de 100 m dans la partie amont. Les lignes de sondage ont été repérées sur les amers du rivage.

Nous avons choisi pour l'exécution des sondages les pleines mers de morte-eau (coefficients de marée : 53 et 59). Dans de telles conditions, nous trouvions suffisamment d'eau pour pouvoir naviguer sur les bancs de sable et sur les parcs. L'estuaire a été sondé jusqu'à la limite amont du secteur ostréicole.

**a) Réduction des sondes.**

Les sondes sont rapportées à un niveau défini, légèrement inférieur à celui des plus grandes basses mers, qui est le zéro hydrographique, ou zéro des cartes marines françaises. Pour un même lieu, ce zéro est commun à l'annuaire des marées et aux cartes marines. Nous avons choisi le zéro hydrographique de Port-Louis qui se trouve à 2,91 m au-dessous du zéro NGF (nivellement général de la France).

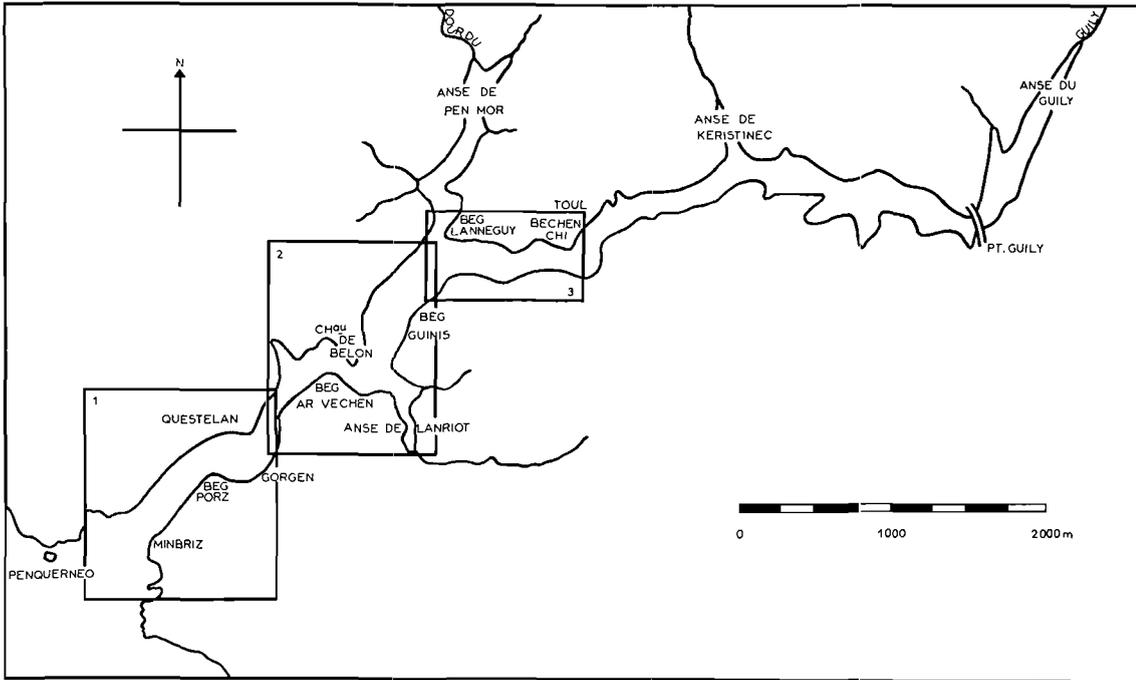


FIG. 1. — Le Belon ; les rectangles indiquent les trois zones sondées puis cartographiées au 1/2 000.

L'annuaire des marées donne aux étales de pleine mer et de basse mer les hauteurs d'eau au-dessus du zéro. Celles-ci furent calculées pour chaque sondage, en tenant compte de la pression atmosphérique et de la profondeur de l'oscillateur. Par la suite, il fut aisé, en utilisant l'échelle en mètres du sondeur, de matérialiser sur le bathygramme la ligne du zéro hydrographique, et par la suite de connaître la profondeur des lieux sondés à un ou deux décimètres près.

La précision obtenue paraît très suffisante puisqu'il importe avant tout de connaître les particularités morphologiques du lit du Belon.

Notons toutefois que les erreurs sont essentiellement dues aux variations de la vitesse du bateau pendant l'exécution des sondages ; ainsi qu'à l'influence des courants de marée (flot et jusant) qui dévient l'embarcation de la direction voulue.

**b) Report des sondages.**

Les sondages furent reportés, pour la zone comprise entre l'embouchure et Toul-Bechen-Chi (fig. 1), sur une carte à l'échelle de 1/2 000, agrandissement de la carte terrestre à l'échelle de 1/25 000 « Concarneau n° 3-4 » éditée par l'Institut Géographique National. Nous avons tracé des lignes isobathes et isohypses équidistantes de 1 m. Les hauteurs des isohypses, au-dessus du zéro hydrographique, sont soulignées d'un trait.

**Topographie du lit du Belon.**

**a) De l'embouchure au Gorgen (fig. 2).**

Cette partie de l'estuaire est caractérisée par l'existence d'une importante nappe sédimentaire

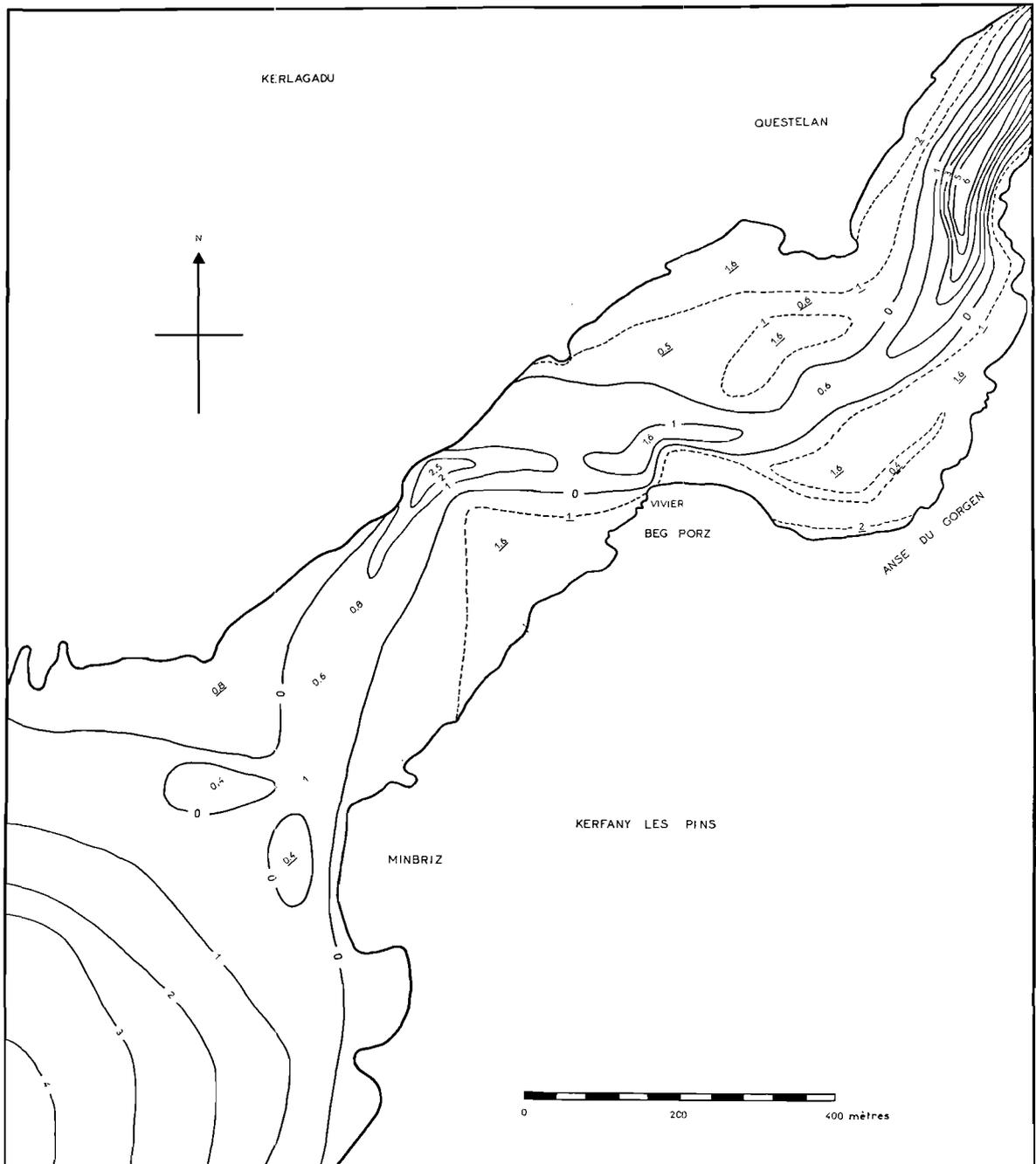


FIG. 2. — Carte bathymétrique de l'embouchure au Gorgen.

de remblaiement. Celle-ci, de nature sableuse (constituée par la décomposition des gneiss et des micaschistes), a ennoyé le relief préexistant et a été façonnée par les courants de marée.

*Le chenal.* Au milieu de ce matériel détritique serpente un chenal peu profond (entre  $-0,6$  m et  $-2,5$  m), bien délimité sur la carte par la ligne du zéro hydrographique.

*La barre.* A l'embouchure, le chenal se termine sur une barre de sable obstruant l'entrée du Belon et se situant grossièrement au zéro hydrographique. Ce seuil, bosselé par l'eau qui a cherché au flot et au jusant à s'y ménager des passages, constitue, en raison de l'orientation de cette partie de l'estuaire, un obstacle difficilement franchissable par fortes houles de suroît.

Vers le large, en direction du SO, la barre descend en pente douce jusqu'aux fonds de  $-7$  et  $-8$  m que l'on trouve au milieu de la baie. Mise en place sous la poussée des houles de suroît, elle s'est maintenue à l'entrée de l'estuaire sous l'effet du courant de jusant.

BOUYASSE et VANNEY (1966) ont défini les trois conditions qui doivent être réunies pour la constitution d'un tel obstacle : orientation, vers le large, de la baie où débouche l'estuaire et convergence vers celui-ci des dérives de houle, faiblesse des apports fluviaux, existence de formations littorales facilement altérables, tous ces éléments se retrouvent au Belon.

L'existence de cette barre, véritable barrière entre le Belon et l'océan, est d'une grande importance du point de vue de l'hydrologie de l'estuaire. En période de morte-eau notamment, alors que les courants de marée sont faibles, elle empêche une vidange complète de l'estuaire et, par là, le renouvellement de ses eaux.

*Les bancs de sable.* Dans cette partie de l'estuaire, ils bordent les deux rives presque sans interruption et sont, sur la carte, délimités par l'isohypse de  $+1$  m. Le plus important se trouve sur la rive gauche, entre la barre et Beg-Porz, et culmine à  $+1,6$  m. Un vivier à crustacés désaffecté, construit en avant de Beg-Porz et contre lequel il vient buter, empêche sa progression vers l'amont.

Au Gorgen, le sable occupe la presque totalité du lit du Belon. Les bancs culminent à  $+1,6$  m et constituent, de part et d'autre du chenal de navigation, deux importantes aires sableuses. Celle de la rive droite a été affouillée par le courant de flot en sa partie médiane. Il s'est ainsi individualisé, au sud de l'avancée rocheuse de Questélan, un banc médian séparé du banc latéral par une dépression, à  $0,5$  m environ, en partie peuplée de zostères. Le banc latéral de la rive gauche a été aplani par les ostréiculteurs avant d'être presque entièrement converti en parcs à huîtres. On y trouve imprimé un chenal mort qui suit le contour de la rive et qui communique vers l'aval avec l'actuel chenal de navigation. Ce bras mort qui semble être la trace d'un ancien méandre, a également été colonisé par les zostères.

### **b) Du Gorgen à Beg-Lannéguy (fig. 3).**

*Le chenal. Les fosses.* Du Gorgen au port de Belon, le chenal de navigation est large et profond. En cette partie de l'estuaire, les courants de marée, renforcés par le rétrécissement de la vallée ont creusé le lit. Ainsi se sont constituées trois fosses de  $-6$  m,  $-7$  m et  $-5$  m, séparées par deux seuils à  $-2$  m et  $-3,5$  m.

En amont des quais, la vallée s'élargit. Le chenal, après un seuil sableux transversal à  $+0,5$  m, devient peu profond ; il longe la rive gauche jusqu'à Beg-Guinis, puis se poursuit en position médiane jusqu'à Beg-Lannéguy.

*Les bancs de sable.* Le matériel détritique charrié sur le fond s'est accumulé dans les concavités des rives où il constitue des bancs de colmatage.

Nous trouvons ainsi, à hauteur des quais, deux bancs latéraux qui culminent à  $+2,5$  m : l'un sur la rive droite, entre le quai et l'anse de Porscouric, l'autre sur la rive gauche, entre le quai et l'anse de Lanriot. Toutefois le plus important de ces bancs est celui qui se trouve, en amont des quais, devant la Motte-Chaume. Il borde la rive droite sur environ  $800$  m et occupe les  $4/5$  du lit de l'estuaire.

A Beg-Lannéguy, l'estuaire orienté depuis l'embouchure SO-NE, prend une direction O-E. Sous l'effet de la rotation des courants de marée, il s'est constitué sur la rive gauche un banc de convexité à  $+2,6$  m qui enserre l'avancée rocheuse de Beg-Melen.

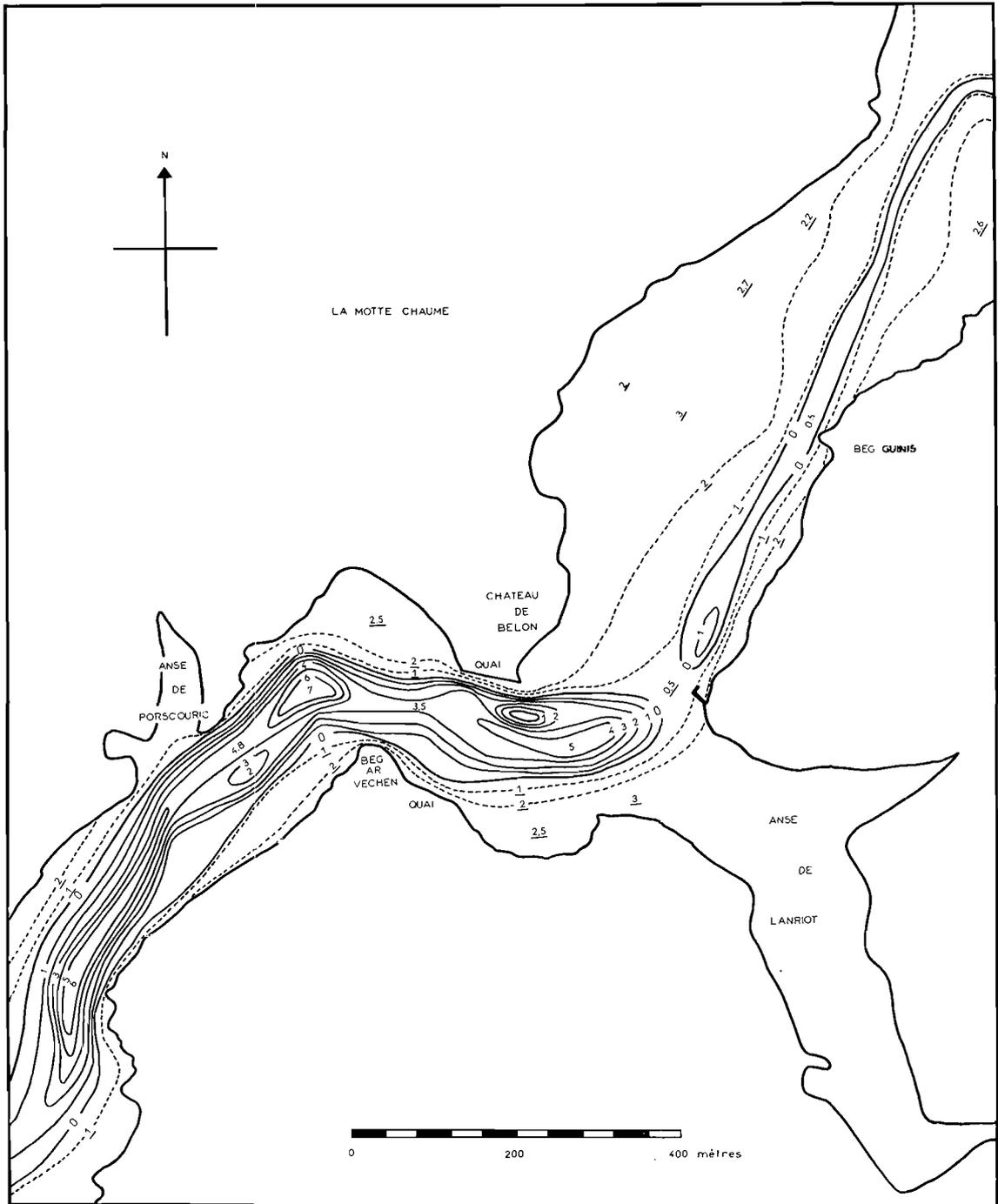


FIG. 3. — Carte bathymétrique du Gorgen à Beg-Lannéguy.

**c) De Beg-Lannéguy à Toul-Bechen-Chi (fig. 4).**

*Le chenal.* Il longe la rive droite, puis rejoint la rive gauche à Saint-Léger. Peu profond jusqu'à Saint-Léger ( $-0,4$ ,  $-0,2$  m), il n'est plus délimité par la suite que par l'isohypse de  $+1$  m, sa profondeur se situant environ au 0 hydrographique.

*Les bancs de sable.* Le sable, plus ou moins vaseux dans cette partie de l'estuaire, constitue des bancs latéraux : banc de concavité de Saint-Léger, banc de convexité de Toul-Bechen-Chi.

En amont de Toul-Bechen-Chi, la sédimentation vaseuse prédomine très largement. Jusqu'au Pont Guily, le chenal serpente au milieu d'une slikke évoluant, par endroits, en schorre.

**Evolution des fonds de l'embouchure au port de Belon.**

L'étude fut faite à partir de la carte marine n° 5 479, à l'échelle de 1/46 160. Nous avons comparé les sondages que nous avons effectués avec ceux réalisés par BEAUTEMPS-BEAUPRÉ en 1818. Le niveau de la barre n'a pratiquement pas varié mais elle obstrue désormais complètement l'entrée de l'estuaire.

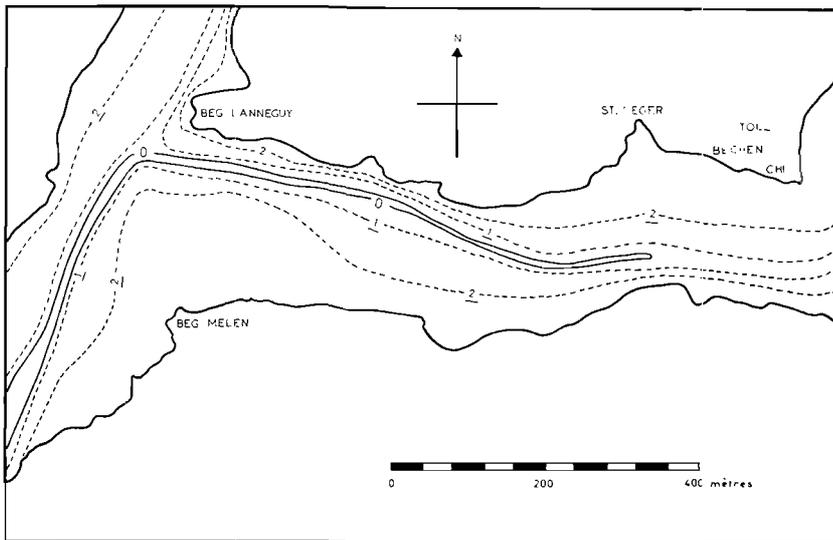


FIG. 4. — Carte bathymétrique de Beg-Lannéguy à Toul-Bechen-Chi.

A Beg-Porz, le banc de sable de la rive gauche s'est avancé vers le vivier. A la corne du banc, du fait du rétrécissement du chenal, le fond s'est creusé à  $-2,50$  m.

Au Gorgen, la profondeur du chenal s'est réduite de  $0,50$  m environ. Le banc médian s'est individualisé.

Enfin, dans la zone des fosses, nous n'avons pas retrouvé le fond de  $-9$  m sondé par BEAUTEMPS-BEAUPRÉ.

**4° Sédimentologie.**

Les sédiments vaseux se trouvent dans les anses d'arrivées des ruisseaux d'eau douce et dans la partie amont de l'estuaire. Ailleurs, existe la nappe sableuse de remblaiement qui s'est mise progressivement en place dans le cours de la rivière, sa répartition étant fonction des caractéristiques morphologiques et hydrodynamiques de celle-ci.

A partir du croquis bathymétrique au 1/2 000 que nous avons dressé, nous avons estimé que les sables occupaient un volume de  $930\ 000$  m<sup>3</sup> environ à l'intérieur du lit de l'estuaire et au-dessus du niveau 0 des cartes marines.

Pour la partie la plus aval, de l'embouchure à l'avancée rocheuse de Questélan, le volume du matériel sableux est, au-dessus du niveau 0, d'environ 290 000 m<sup>3</sup>. C'est à cette dernière zone que nous avons, essentiellement, limité l'étude sédimentologique.

**Localisation et niveaux des stations. Mode de prélèvement des échantillons.**

La figure 5 indique la situation des stations qui se trouvent toutes dans la zone délimitée précédemment, à l'exception des stations 113 (chenal de la zone des fosses), 115 (chenal devant le rocher de Beg-Guinis), 116 (au sud du rocher de Penquernéo), 117 (dans un renforcement de la côte à l'est de Penquernéo).

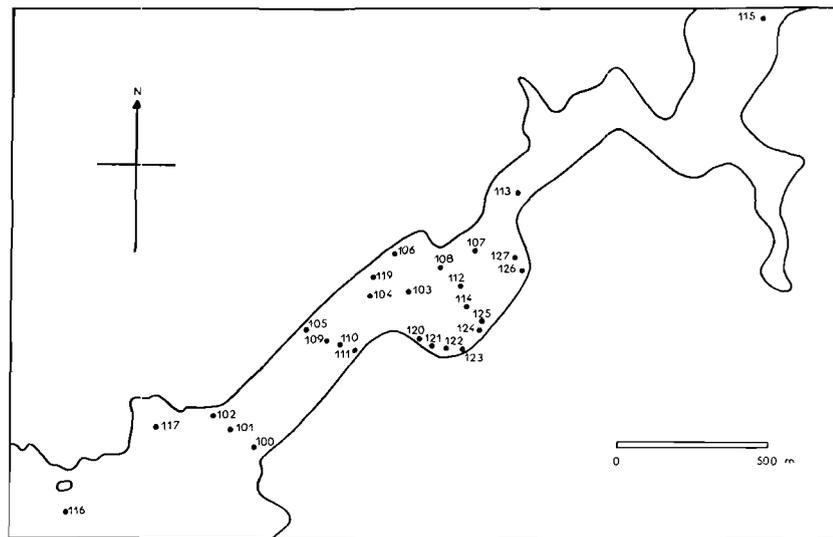


FIG. 5. — Stations de prélèvements des échantillons de sables.

A certaines stations accessibles à pied à basse mer, les prélèvements ont été effectués à la main; ailleurs, les échantillons furent recueillis à l'aide d'une drague légère dont le sac était intérieurement garni d'une toile à maille serrée.

**Couleur des sédiments.**

Elle fut déterminée au laboratoire sur les échantillons secs, à l'aide de la « Rock color chart ». Les teintes que l'on retrouve le plus fréquemment sont : « pale yellowish brown 10 YR 6/2 », « dark yellowish brown 10 YR 4/2 », « grayish orange 10 YR 7/4 », « light olive gray 5 Y 6/1 ».

**Granulométrie.**

Les échantillons récoltés furent lavés puis séchés à l'étuve à 110°. Sur chacun d'eux, deux tamisages à sec furent effectués, avant et après décalcification, à l'aide d'une série de 11 tamis dont les ouvertures comprises entre 5 mm et 0,05 mm varient suivant les termes d'une progression géométrique de raison 1,6.

Excepté à la station 114 (chenal mort), les particules inférieures à 0,05 mm sont d'une extrême rareté (entre 0 et 5 %). C'est pourquoi, il n'en fut pas tenu compte dans l'analyse granulométrique.

**a) Granulométrie des sédiments bruts.**

Les indices numériques des sédiments bruts furent déterminés à partir des courbes granulométriques cumulatives construites en coordonnées semi-logarithmiques. Les valeurs en mm des fractiles (tabl. 1) confirment la nature sableuse des sédiments étudiés. Leurs indices de classement (tabl. 2) furent calculés suivant le « Sorting index » de Trask ( $So = \sqrt{Q1/Q3}$ ), le  $Qdphi$  de

Krumbein ( $Q_{dphi} = \text{Log } 2 \text{ } S_o$ ), et l'hétérométrie de Cailleux (Hé). Dans l'ensemble, les sables sont bien classés. Les valeurs des  $Q_{dphi}$  et Hé se distribuent à l'intérieur de valeurs limites telles (CAILLEUX et TRICART, 1959) que nous pouvons penser que les sables ayant remblayé la partie aval du Belon, proviennent de dépôts de plages marines et de dunes, accumulés en avant du rivage actuel lors de phases régressives de la mer.

Sta- tions	P 10	Q 1	M	Q 3	P 90
100	1,790	1,200	0,830	0,550	0,350
101	0,640	0,465	0,355	0,250	0,190
102	0,255	0,188	0,158	0,133	0,103
103	0,475	0,340	0,230	0,165	0,138
104	0,570	0,415	0,285	0,185	0,138
105	1,170	0,920	0,670	0,445	0,250
106	1,250	0,550	0,192	0,132	0,098
107	4,500	1,350	0,465	0,215	0,150
108	0,410	0,305	0,240	0,187	0,148
109	0,490	0,415	0,315	0,240	0,200
110	0,560	0,435	0,335	0,250	0,207
111	0,620	0,435	0,315	0,230	0,167
112	0,520	0,370	0,240	0,168	0,136
113	1,800	0,620	0,350	0,218	0,152
114	0,182	0,152	0,116	0,093	0,082
115	0,480	0,330	0,220	0,158	0,132
116	1,120	0,780	0,540	0,340	0,108
117	0,195	0,165	0,123	0,097	0,085
119	0,210	0,178	0,145	0,115	0,089
120	2,800	1,220	0,260	0,160	0,132
121	5,000	2,700	0,195	0,140	0,104
122	0,780	0,370	0,230	0,165	0,140
123	0,265	0,190	0,160	0,135	0,110
124	0,280	0,195	0,167	0,145	0,130
125	1,100	0,440	0,185	0,148	0,130
126	0,300	0,220	0,170	0,145	0,130
127	0,750	0,425	0,257	0,175	0,142

TABLE. 1. — Valeurs en mm des fractiles des sédiments bruts.

### b) Types granulométriques.

Nous avons rapporté à quatre types différents les courbes granulométriques cumulatives des sables bruts de la partie aval du Belon (fig. 6).

*Type 1.* Il s'agit de sédiments mal classés ( $Q_{dphi}$  supérieur à 1). Ce type englobe deux catégories de sables qui, malgré les similitudes de leurs courbes granulométriques cumulatives, se trouvent dans deux sites différents. L'un est représenté par l'échantillon n° 107, situé en bordure du chenal. Ce sédiment est en grande partie constitué par des débris coquilliers grossiers, peu évolués et, par conséquent, mal triés. La cause de leur accumulation à cet endroit est à rechercher dans la micro-topographie locale. L'autre est figuré par des échantillons récoltés sur de petites plages du haut estran (n° 106, 120, 121), dont les courbes granulométriques cumulatives, bimodales, traduisent, avec un point d'inflexion à 0,200 mm et une médiane d'environ 0,200 mm, un mélange en

proportions égales de deux stocks sédimentaires. Le plus grossier, formé sur place, proviendrait de la désagrégation granulaire des granites gneissiques. Le plus fin, bien classé, constitué par des

Stations	Qdphi	Hé	So	Stations	Qdphi	Hé	So
100	0,55	0,50	1,47	114	0,35	0,30	1,28
101	0,43	0,36	1,35	115	0,54	0,48	1,46
102	0,25	0,24	1,20	116	0,60	0,54	1,52
103	0,53	0,48	1,45	117	0,37	0,32	1,30
104	0,58	0,56	1,50	119	0,33	0,31	1,26
105	0,54	0,50	1,46	120	1,45	0,71	2,75
106	1,04	0,52	2,07	121	2,15	0,47	4,45
107	1,31	1,12	2,50	122	0,59	0,48	1,51
108	0,35	0,34	1,28	123	0,25	0,23	1,20
109	0,40	0,40	1,32	124	0,23	0,23	1,18
110	0,40	0,38	1,32	125	0,78	0,30	1,72
111	0,46	0,45	1,38	126	0,31	0,25	1,25
112	0,57	0,51	1,49	127	0,66	0,56	1,58
113	0,74	0,70	1,68				

Tabl. 2. — Indices de classement des sédiments bruts.

particules susceptibles d'être mises en mouvement sous l'action de courants assez faibles, de l'ordre de 15 à 20 cm/seconde (d'après HJULSTROM, cité par CAILLEUX et TRICART, 1959 ; OTTMANN, 1965) se serait déposé à la faveur des courants de marée.

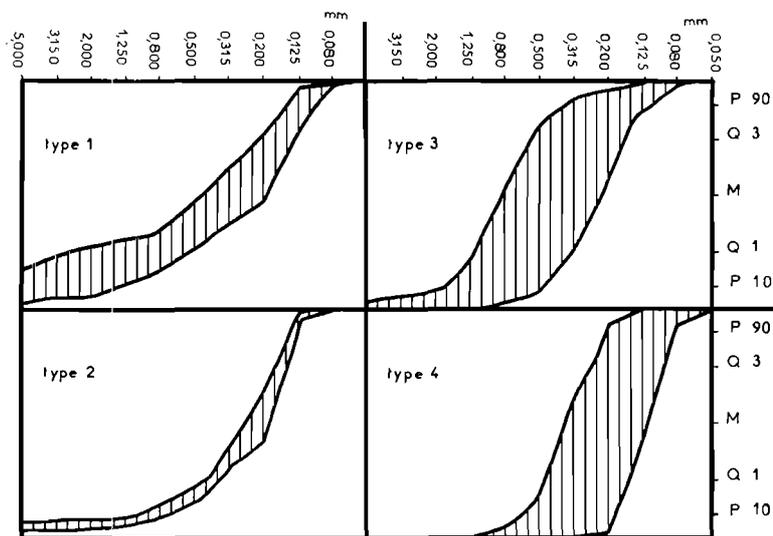


FIG. 6. — Types granulométriques des sables de la partie aval de l'estuaire du Belon.

*Type 2.* Ce sont des sédiments assez bien classés (Qdphi compris entre 0,5 et 1), prélevés sur les mêmes plages que les précédentes (stations n° 122, 125, 127), qui contiennent une fraction grossière et sont presque dépourvus de particules inférieures à 0,080 mm. Leur triage supérieur à celui d'autres sédiments, pourtant voisins, est sans doute dû à une meilleure exposition à l'action des courants de marée.

*Type 3.* Comme ceux du type 2, ces sédiments sont assez bien classés (Qdphi compris entre 0,5 et 1). Mais, à l'exception de l'échantillon n° 116, ils ont tous été récoltés dans le chenal de navigation (n° 100, 103, 104, 105, 112, 113, 115). La rareté des éléments fins (P 90 compris entre 0,132 et 0,350 mm) indique qu'ils sont soumis à une assez forte agitation due aux courants de marée qui entraînent au loin les particules les plus fines. La répartition des médianes, à l'intérieur de limites larges (0,830 - 0,220 mm), souligne des différences importantes dans les conditions hydrodynamiques locales. Dans le chenal, en effet, la vitesse des courants de marée varie, notamment, en fonction de la largeur et de la profondeur du lit de l'estuaire.

Stations	P 10	Q 1	M	Q 3	P 90
100	1,120	0,830	0,630	0,470	0,330
101	0,430	0,320	0,250	0,195	0,147
102	0,193	0,175	0,145	0,120	0,093
103	0,310	0,245	0,182	0,146	0,130
104	0,395	0,290	0,212	0,153	0,125
105	0,800	0,485	0,360	0,195	0,140
106	2,500	0,650	0,180	0,120	0,093
107	0,395	0,270	0,180	0,145	0,125
108	0,290	0,245	0,187	0,153	0,135
109	0,395	0,295	0,245	0,205	0,152
110	0,440	0,335	0,265	0,218	0,170
111	0,415	0,295	0,239	0,185	0,144
112	0,295	0,230	0,172	0,140	0,120
113	0,540	0,375	0,245	0,165	0,128
114	0,152	0,135	0,105	0,090	0,081
115	0,305	0,215	0,165	0,135	0,105
116	0,880	0,650	0,430	0,190	0,096
117	0,177	0,137	0,107	0,092	0,083
119	0,185	0,160	0,123	0,098	0,085
120	3,350	1,400	0,345	0,162	0,131
121	5,000	4,350	0,235	0,140	0,098
122	1,000	0,380	0,235	0,165	0,138
123	0,255	0,185	0,159	0,135	0,105
124	0,265	0,190	0,165	0,142	0,130
125	1,300	0,460	0,190	0,150	0,130
126	0,290	0,200	0,170	0,145	0,130
127	0,680	0,380	0,230	0,165	0,140

Tabl. 3. — Valeurs en mm des fractiles de la fraction insoluble dans l'acide des sédiments.

Nous avons classé dans le type 3, le sédiment n° 116 dont la courbe granulométrique cumulative est presque entièrement comprise à l'intérieur de l'aire hachurée et dont la pente est comparable (Qdphi = 0,60) à celles des courbes des sédiments du chenal. Cette courbe présente toutefois un point d'inflexion à 0,315 mm (Q3 = 0,340 mm). Ce sédiment, sans doute fréquemment remanié en raison de sa situation dans la baie, est le mélange de deux stocks peut-être déposés dans des conditions météorologiques différentes. Pendant les périodes de mauvais temps, le sable subit une intense lévigation sous l'action des vagues et les particules inférieures à 0,315 mm sont entraînées; pendant les périodes de calme du sable fin (P 90 = 0,108 mm), qui rappelle celui trouvé à la station 117, vient remplir en partie les interstices laissés entre les particules plus grossières (P 10 = 1,120 mm; Q1 = 0,780 mm).

*Type 4.* Ce type granulométrique est très représenté. Il comprend des sédiments bien classés (Qdphi inférieur à 0,5), dont les courbes granulométriques cumulatives sont plus redressées que celles des sédiments du type précédent et qui ont été récoltés en des lieux divers :

dans les parties hautes des plages de l'estuaire, en des endroits, où la pente est d'environ 4°, situés en arrière d'une rupture de pente de 7-8° : n° 123, 124, 126 (Qdphi = 0,23 - 0,31 ; M = 0,166 - 0,170 mm) ;

dans le renforcement de la côte abritée par le rocher de Penquernéo à l'ouest : n° 117 (Qdphi = 0,37 ; M = 0,123 mm) ;

dans les zones d'herbiers à zostères n° 114, 119 (Qdphi = 0,33 - 0,35 ; M = 0,116 - 0,145 mm) ;

sur les bancs de sable bordant le chenal de navigation : n° 101, 102, 108, 109, 110, 111 (Qdphi = 0,25 - 0,46 ; M = 0,158 - 0,355 mm).

Tous ces sédiments très évolués se sont mis en place à la faveur des courants de marée qui dispersent les particules sableuses les plus fines, du chenal vers les rives de l'estuaire.

Stations	Qdphi	Hé	So	Stations	Qdphi	Hé	So
100	0,40	0,37	1,33	114	0,28	0,22	1,22
101	0,36	0,32	1,29	115	0,35	0,30	1,28
102	0,27	0,26	1,21	116	0,87	0,59	1,84
103	0,38	0,30	1,31	117	0,27	0,22	1,21
104	0,47	0,44	1,39	119	0,36	0,32	1,29
105	0,67	0,45	1,60	120	1,54	1,07	2,92
106	1,24	0,58	2,37	121	2,50	0,78	5,65
107	0,46	0,32	1,38	122	0,60	0,52	1,52
108	0,34	0,29	1,27	123	0,24	0,23	1,18
109	0,27	0,26	1,21	124	0,22	0,22	1,17
110	0,30	0,26	1,24	125	0,82	0,33	1,77
111	0,34	0,32	1,27	126	0,24	0,23	1,18
112	0,36	0,30	1,29	127	0,61	0,49	1,53
113	0,59	0,57	1,51				

TABL. 4. — Indices de classement de la fraction insoluble dans l'acide des sédiments.

### c) Granulométrie de la fraction insoluble dans l'acide.

Les échantillons de sable furent décalcifiés par attaque à l'acide chlorhydrique dilué, selon la méthode préconisée par BERTHOIS (1955). Les courbes granulométriques cumulatives des fractions insolubles, à l'exception de celles des échantillons n° 105 et 107 presque entièrement constitués par des débris coquilliers, sont pratiquement parallèles à celles des sables bruts. Elles présentent, cependant, dans l'ensemble, un décalage vers les petits diamètres, ce que traduisent les valeurs plus faibles des fractiles présentés au tableau 3. Quant aux indices de classement des fractions insolubles dans l'acide (tabl. 4), ils sont inférieurs, en général, à ceux des sédiments bruts. Ainsi, dans la partie aval du Belon la fraction calcaire et la fraction insoluble dans l'acide des sables ont, dans l'ensemble, une même distribution granulométrique ; celle-ci étant cependant constituée par des éléments plus fins et mieux classés que celle-là.

### Teneurs en carbonate de calcium des sédiments.

La fraction calcaire des sables étudiés est de nature organogène. Des débris coquilliers, surtout de lamelibranches, plus ou moins évolués la compose. Certains fragments organogènes, d'un noir brillant, sont parfois si abondants qu'ils influent considérablement sur la teinte générale du sédiment. On pourrait les confondre, à première vue, avec des restes de coquilles de moules, mais on peut y reconnaître, notamment, des débris de coquilles d'anomies et des plaques scutales de balanes. Nous

avons noté dans ces débris la présence d'environ 0,025 % de soufre des sulfures. Il s'agit probablement de sulfures de fer qui donne à une partie de la fraction organogène cette teinte noire caractéristique.

La teneur en carbonate de calcium des sédiments fut déterminée après traitement des échantillons par l'acide chlorhydrique dilué. Les résultats obtenus sont énoncés au tableau 5. Le coefficient de corrélation de + 0,54, qui existe entre les médianes des sables et les quantités de carbonate de

Stations	Co <sub>3</sub> Ca %	Stations	Co <sub>3</sub> Ca %
100	74,8	114	48,9
101	81,9	115	68,0
102	57,3	116	58,0
103	72,4	117	48,2
104	71,5	119	57,2
105	90,2	120	17,6
106	51,3	121	23,6
107	85,7	122	10,3
108	74,5	123	23,1
109	77,2	124	28,5
110	70,6	125	26,4
111	76,7	126	30,1
112	73,7	127	23,5
113	72,4		

TABL. 5. — Teneurs en carbonate de calcium des sédiments.

calcium qu'ils renferment, indique que ce sont en général les sables les plus grossiers qui contiennent le plus de calcaire organogène. Nous avons d'ailleurs déjà souligné que, bien qu'ayant une répartition granulométrique généralement calquée sur celle de la fraction minérale, la fraction coquillière est composée d'éléments plus gros et moins bien triés.

#### *La matière organique des sédiments.*

Elle fut mesurée, sur certains échantillons, sous forme de carbone organique et d'azote total. Les dosages furent effectués sur la totalité de chaque sédiment choisi (phase inférieure à 0,050 mm comprise), en utilisant la méthode Anne (carbone organique) et l'appareil micro-kjeldhal de Parnas et Wagner (azote total). Les résultats obtenus (tabl. 6), exprimés en pourcentage de poids de matière sèche, n'ont qu'une valeur relative : les échantillons n'ont pas tous été prélevés à la même époque et l'on sait que les teneurs en matière organique des sédiments sont soumises à des variations saisonnières (LUX, 1938 ; GLEMAREC, 1964). On remarquera cependant que, à l'exception de l'échantillon n° 114 (zone d'herbier à zostères) qui contient environ 16 % de particules inférieures à 0,050 mm, les teneurs en matière organique sont faibles dans les sédiments sableux du Belon.

#### **5° Histoire et évolution de l'estuaire.**

L'existence de la vallée sous-marine du Belon atteste d'une plus grande extension continentale lors d'une phase régressive de la mer. Etant donnée la nature pétrographique des formations marginales (granite, gneiss, micaschiste), il s'est constitué en abondance du matériel détritique (sables et sablons) sous l'effet de l'altération et de l'érosion. Ce sable, déblayé par la rivière, s'est accumulé en avant des côtes actuelles.

Au cours de la dernière transgression la mer, en pénétrant sous forme de ria profonde, dans la

vallée de la rivière, a charrié sur le fond le matériel sableux qui a ennoyé progressivement le bas cours et constitué un remblaiement, probablement de plusieurs mètres, au-dessus de la roche en place.

Actuellement, le profil longitudinal du Belon a pris une pente faible. L'estuaire a désormais un rôle peu actif comme agent d'érosion. Le sable est seulement modelé par les courants de marée. Seules les particules fines en suspension, provenant du lessivage du continent, sont entraînées au large par le jusant. L'estuaire se rapproche du stade de maturité : il s'établit, désormais, un équilibre entre l'apport de matériel détritique et le déblaiement de celui-ci lors du jusant. Il peut toutefois se produire, sans qu'il y ait engraissement de la formation sableuse, une évolution des dépôts (accumulation ici, érosion là) sous l'effet de facteurs périodiques (amplitudes des marées, crues) et aléatoires (vents, tempêtes).

Stations	Dates prélèvement échantillons	C %	N %	C/N
109	29-II-68	0,110	0,028	3,9
110	»	0,050	0,027	1,9
111	»	0,120	0,025	4,8
112	»	0,120	0,028	4,3
113	»	0,080	0,026	3,1
114	25-IX-68	0,819	0,108	7,6
115	29-II-68	0,120	0,024	5,0
126	23-XI-67	0,070	0,014	5,0
127	»	0,090	0,013	6,9

Tabl. 6. — Matière organique des sédiments.

En conclusion, le Belon se caractérise par l'existence, dans son lit, d'une importante nappe sédimentaire de nature sableuse. Il s'agit de sables généralement bien classés, riches en calcaire organogène, et pauvres en matière organique. Provenant en grande partie de dépôts de plages marines et de dunes accumulés en avant de la côte actuelle au cours de phases régressives de la mer, ils ont, lors de la dernière transgression, ennoyé la vallée et se sont répartis en fonction des caractéristiques morphologiques et hydrodynamiques de l'estuaire.

Dans les conditions topographiques actuelles, il ne semble pas qu'il puisse se produire une augmentation de la masse de remblaiement, l'estuaire se rapprochant du stade de maturité.

## II. - Hydrologie.

L'étude hydrologique a été faite sur des échantillons d'eau récoltés aussi régulièrement que possible, chaque mois, en différentes stations (fig. 7), en surface et près du fond, aux étales de pleine et de basse mer, dans des conditions de marée assez voisines. Les mesures étaient faites *in situ* ou au laboratoire, dans les délais les plus brefs, par nous-même et par GRAS, pour l'oxygène dissous et PAULMIER, pour les teneurs en calcium et magnésium dont les résultats sont incorporés dans ce chapitre.

### Volumes d'eau dans l'estuaire.

L'interprétation des données hydrologiques exige, nous semble-t-il, qu'on possède au préalable une connaissance au moins succincte du régime hydrographique de l'estuaire étudié. C'est dans ce but que nous avons évalué les volumes d'eaux occupant en permanence les parties situées au-dessous du niveau des plus basses mers et les volumes oscillants renseignant sur les possibilités de renouvellement des eaux dans les différentes conditions de marée. Etant donné les particularités topogra-

phiques du Belon, nous avons enfin calculé le volume des eaux résiduairees au niveau des fosses. Toutes ces estimations ont été faites à partir de la carte bathymétrique au 1/2 000 établie par nos soins.

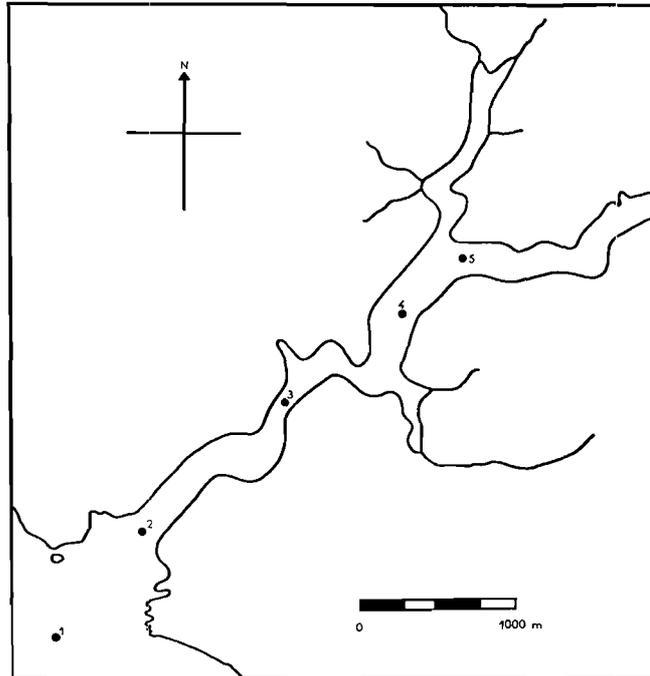


FIG. 7. — Situation des stations de prélèvements.

**a) Volumes d'eaux au-dessous du 0 hydrographique.**

347 000 m<sup>3</sup> d'eau occupent en permanence le lit de l'estuaire au-dessous du niveau zéro déterminé par le service hydrographique ; 78 % de ce volume, soit 270 000 m<sup>3</sup>, se trouvent dans la zone des fosses, 20 %, soit 70 000 m<sup>3</sup>, dans la partie voisine de l'embouchure, 2 % seulement, soit 7 000 m<sup>3</sup>.

Coefficient de marée	Pleine mer		Basse mer		Amplitude de marée (en m)	Volumes oscillants
	Hauteur d'eau (en m)	Volume en m <sup>3</sup>	Hauteur d'eau (en m)	Volume en m <sup>3</sup>		
45	3,8	2 911 578	1,7	1 051 652	2,1	1 859 926
70	4,4	3 577 666	1,1	726 610	3,3	2 851 056
95	5,0	4 212 532	0,5	481 316	4,5	3 731 216

TABL. 7. — Volumes d'eau oscillants entre les pleines et basses mers. La hauteur d'eau est calculée au-dessus du 0 des cartes.

dans le chenal qui, des fosses, remonte vers la partie haute de la rivière. Ces données soulignent, à l'évidence, la faible profondeur du lit de l'estuaire.

**b) Volumes d'eaux oscillants entre la pleine et la basse mer.**

On a calculé ces volumes pour différents coefficients de marée correspondants à une morte-eau (45), une vive-eau moyenne (70) et une vive-eau plus forte (95). Les résultats (tabl. 7) concernent la totalité de l'estuaire baigné par la marée, de l'embouchure au Pont-Guily.

Pour déterminer les possibilités de renouvellement des eaux du Belon par le simple jeu de la marée nous avons calculé, pour les différentes parties de l'estuaire et la totalité de celui-ci, un *rapport d'échange E* = volume oscillant  $\times$  100/volume d'eau à pleine mer (GARLAND, 1952). Il apparaît nettement (tabl. 8) que c'est dans la partie aval, notamment dans la zone des fosses, que les valeurs

Coefficient de marée	45	70	95
	%	%	%
Embouchure-Gorgen .....	61	80	90
Zone des fosses .....	44	58	69
Quais-Beg Melen .....	79	90	97
Beg Melen-Toul bachi .....	76	90	96
Toul bachi-Pt Guilly .....	93	99	100
Anse de Pen Mor .....	75	96	99
Anse de Kerstinec .....	100	100	100
Anse de Lanriot .....	100	100	100
Totalité de l'estuaire (en %)	64	80	89

TABL. 8. — Valeurs du rapport d'échange *E* pour les différentes parties de l'estuaire à différents coefficients de marée.

Ruisseau	Vm <sup>3</sup> crue	Vm <sup>3</sup> étiage	% du volume total
Guily .....	1.10	0,30	74
Kerstinec .....	0,07	0,02	5
Dourdu .....	0,28	0,08	19
Lanriot .....	0,04	0,01	2
Totalité eau douce .....	1,50	0,40	100

TABL. 9. — Débits d'eau douce en m<sup>3</sup>/s.

de *E* sont les plus faibles. Cependant, pour l'ensemble de l'estuaire, plus de 60 % des eaux sont renouvelées dans les conditions de marée les moins favorables, en mortes-eaux.

**c) Volumes d'eau résiduaire à basse mer dans la zone des fosses.**

La zone des fosses, bien qu'elle ne représente que 20 % environ de la surface du lit de l'estuaire, contient en moyenne 50 % des eaux restant à basse mer dans le Belon :

	coef. 45	70	95
volume total restant à basse mer	1 051 652	726 610	481 316 m <sup>3</sup>
volume restant dans les fosses	435 400	368 560	305 200 m <sup>3</sup>
soit en %	41 %	51 %	64 %

**Les apports d'eau douce.**

Le Belon et ses affluents drainent un bassin d'environ 68 km<sup>2</sup>. Les eaux douces collectées arrivent à l'estuaire soit directement par ruissellement soit surtout par l'intermédiaire de quatre ruisseaux qui sont, d'amont en aval, le Guily, le ru de Kerstinec, le ruisseau du Dourdu et celui de Lanriot. Ces petits cours d'eau ont un régime fluvial océanique (PRADE, 1947) caractérisé par des hautes eaux de

saison froide, les maxima survenant en janvier, février et mars, et des basses eaux de saisons chaudes avec minima en juillet, août et septembre. Ils connaissent donc deux grandes périodes hydrologiques, la *crue* allant habituellement de novembre à avril, l'*étiage* allant de mai à octobre.

**a) Débit des affluents.**

Les débits des ruisseaux ont été mesurés à leur débouché dans l'estuaire en période de crue. A partir des moyennes obtenues nous avons extrapolé les débits d'étiage en prenant comme référence la rivière du Blavet, située à 25 km à vol d'oiseau, où ils ont été évalués au quart des débits de crue.

Malgré l'insuffisance des mesures, il est possible d'apprécier la part respective des apports des divers affluents du Belon dans l'alimentation de l'estuaire en eau douce (tabl. 9). 74 % d'entre elles arrivent par le Guily, 19 % par le Dourdu ; le rôle joué par les rus de Kerstinec et de Lanriot est minime.

Ruisseau	V m <sup>3</sup>	Crue		Etiage	
		86 400 vm <sup>3</sup>	N jours	86 400 vm <sup>3</sup>	N jours
Guily .....	2 096 000	95 000	22	25 900	81
Kerstinec .....	2 013 000	6 000	332	1 700	1 165
Dourdu .....	1 723 000	24 200	71	6 900	250
Lanriot .....	1 386 000	3 500	396	860	1 611

TABL. 10. — Temps mis par l'eau douce pour traverser l'estuaire à partir de son ruisseau d'origine en l'absence de marée et de stratification.

Il convient d'ailleurs d'insister sur la faiblesse des débits des ruisseaux eu égard au volume des eaux occupant le lit de l'estuaire. On peut s'en convaincre en considérant les valeurs du rapport  $V/86\,400\,v$ , où  $V$  est le volume moyen des eaux de la partie du Belon comprise entre le débouché du ruisseau et l'embouchure de l'estuaire de 86 400 ;  $v$  est le débit, par 24 heures, du ruisseau considéré (tabl. 10). Ce rapport traduit, en fait, le temps que mettrait la particule d'eau douce d'un ruisseau donné pour atteindre la baie, en l'absence de marée et de stratification.

Paramètres	Dourdu		Guily	
	crue	étiage	crue	étiage
V <sub>1</sub>	2 782 000 m <sup>3</sup>	2 782 000 m <sup>3</sup>	3 466 000 m <sup>3</sup>	3 466 000 m <sup>3</sup>
V <sub>2</sub>	679 000 m <sup>3</sup>	679 000 m <sup>3</sup>	722 000 m <sup>3</sup>	722 000 m <sup>3</sup>
S %	33,8	34,9	33,8	34,9
S <sub>1</sub>	33,1	34,4	32,5	33,9
S <sub>2</sub>	26,0	31,4	25,0	31,0
ve	107 300 m <sup>3</sup>	53 400 m <sup>3</sup>	164 100 m <sup>3</sup>	89 900 m <sup>3</sup>
dT	12 100 m <sup>3</sup>	3 450 m <sup>3</sup>	47 500 m <sup>3</sup>	13 000 m <sup>3</sup>
nT	9	15	3,5	7

TABL. 11. — Valeurs des paramètres permettant de calculer la durée du séjour des eaux du Dourdu et du Guily dans le Belon.

**b) Evacuation des eaux douces.**

Dans la réalité, grâce à la stratification et au mouvement oscillatoire des marées, le temps mis par les eaux des différents ruisseaux pour traverser l'estuaire sont très inférieurs à ceux que nous avons calculés (tabl. 11). On peut, en effet, admettre que le séjour dans le Belon des eaux de chacun de ses affluents dure en moyenne :

$$nT = ve \text{ m}^3/\text{dT m}^3$$

où  $nT$  est exprimé en périodes de marée (environ 12 heures),  $ve$  est la quantité moyenne d'eau douce existant dans la partie de l'estuaire située en aval du ruisseau, étant supposé qu'elle provient uniquement du cours d'eau considéré et  $dT$  la quantité d'eau qu'il fournit par 12 heures.

$ve$  s'obtient par la formule suivante :

$$ve = V_1 (S - S_1) + V_2 (S - S_2) / 2 S$$

où  $V_1$  et  $V_2$  sont les volumes d'eau se trouvant à pleine mer et basse mer dans la partie de l'estuaire définie précédemment ;  $S$  est la salinité des eaux océaniques (on a pris la salinité moyenne, à pleine mer, des eaux du fond à la station 1) ;  $S_1$  et  $S_2$  sont la salinité moyenne respectivement à pleine mer et basse mer, des eaux estuariennes, en aval du ruisseau. On a donc, en définitive :

$$nT = ve/dT = V_1 (S - S_1) + V_2 (S - S_2) / 2 S dT$$

Nous avons dès lors calculé le temps nécessaire aux eaux douces du Dourdu et du Guily pour atteindre la baie, pour une amplitude moyenne de marée (coefficient 70). On constate (tabl. 11) que les eaux du Dourdu séjournent dans l'estuaire entre 9 et 15 périodes de marée, soit en moyenne 6 jours ; celles du Guily, bien qu'elles aient un plus long trajet à parcourir, sortent du Belon au bout de 2 jours et demi en moyenne.

### Les températures.

#### a) Caractères généraux.

Mesurées au dixième de degré, les températures des eaux du Belon étaient relevées, en surface et au fond, à pleine et à basse mer, à l'occasion des récoltes de plancton.

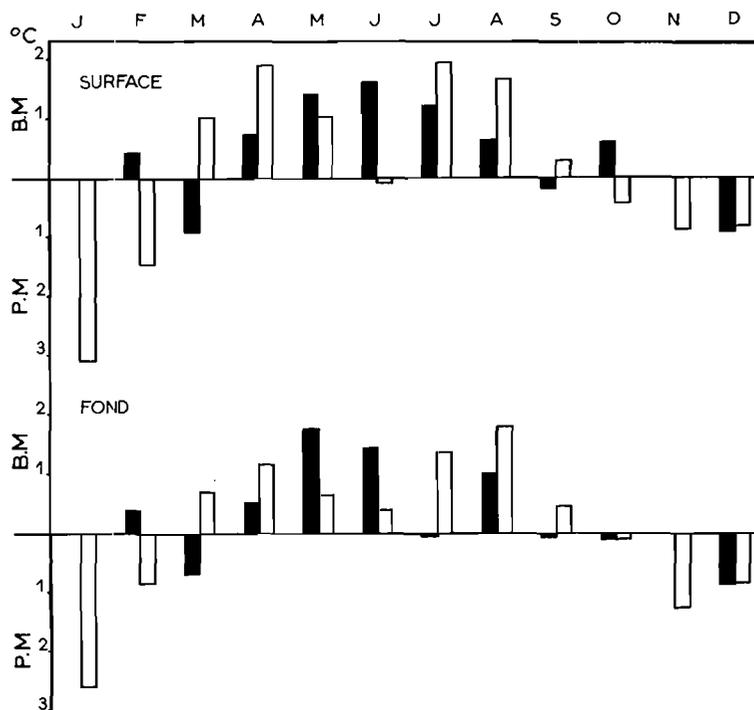


FIG. 8. — *Ecart maxima des températures* (en noir, 1968; en blanc, 1969).

On retrouve, dans l'évolution générale des températures, les caractères particuliers aux milieux d'estuaire (FRANCIS-BŒUF, 1947; MARTEIL, 1960; LE DANTEC, 1968). 1968 et 1969 se ressemblent sauf pendant l'été, pendant le premier semestre, la stratification est à peine marquée ; elle s'accroît à la

fin du printemps et pendant l'été mais redevient faible dès l'automne. On releva les températures minimales en janvier et février :  $8^{\circ}80$  à  $9^{\circ}35$  à basse mer,  $8^{\circ}60$  à  $8^{\circ}70$  à pleine mer en 1968,  $7^{\circ}20$  à  $8^{\circ}80$  et  $10^{\circ}60$  à  $10^{\circ}90$  en 1969. Les températures maximales étaient observées en juillet 1968 où elles varient de  $15^{\circ}$  à  $23^{\circ}50$  à basse mer et de  $16^{\circ}70$  à  $19^{\circ}20$  à pleine mer tandis qu'il fallait attendre

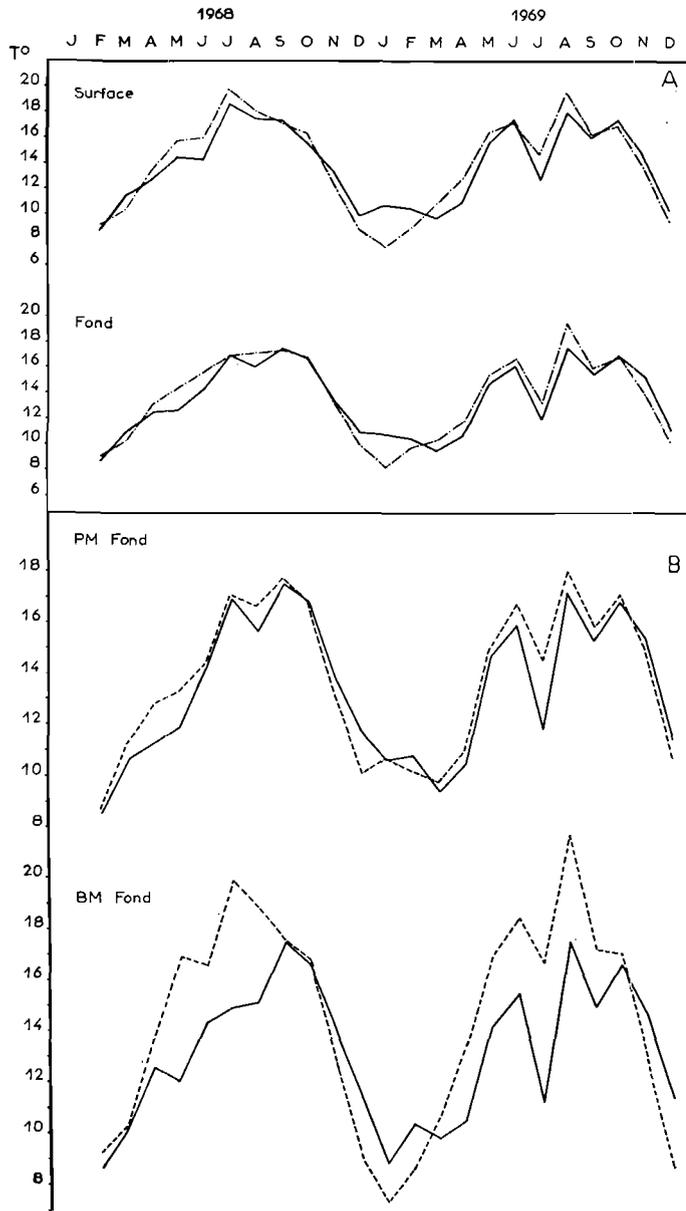


FIG. 9. — Variations saisonnières des températures. A : températures moyennes à pleine mer (trait plein) et basse mer (tireté) ; B : températures à la station 1 (trait plein) et à la station 5 (tireté).

le mois d'août 1969 pour enregistrer  $17^{\circ}40$  à  $21^{\circ}60$  et  $17^{\circ}2$  à  $18^{\circ}50$  respectivement à basse et pleine mer.

Les températures peuvent différer sensiblement entre la pleine et la basse mer en raison des différences de hauteur d'eau à ces deux périodes et des circonstances atmosphériques. Les écarts maxima surviennent en hiver et en été (fig. 8) tandis qu'au début du printemps et en automne, les

températures tendent à s'équilibrer avant de s'inverser. On doit encore souligner l'influence des apports d'eaux fluviales en hiver et même en automne car elles sont plus froides que les eaux marines (fig. 9). FRANCIS-BOEUF (1947) soulignait déjà que les variations de température, à cette époque, étaient beaucoup plus sous la dépendance du rapport : eau fluviale/eau de mer, que de la hauteur du soleil, c'est-à-dire de la durée et de l'intensité de l'insolation.

L'amplitude *moyenne* annuelle des températures a été de 9°2 en 1968, de 9°3 en 1969. Elle est influencée par le moment de marée et la profondeur. C'est ainsi qu'en 1968, à basse mer, elle passe de 15°2 en surface à 11°1 au fond tandis qu'en 1969 elle va de 14°1 à 14°2 ; à pleine mer, elle fut de 11°1 et 9°1 en 1968, de 10°4 et 8°6 en 1969. La faible amplitude thermique et les valeurs moyennes des températures maximales et minimales sont des facteurs favorables à l'activité biologique du milieu en temps normal.

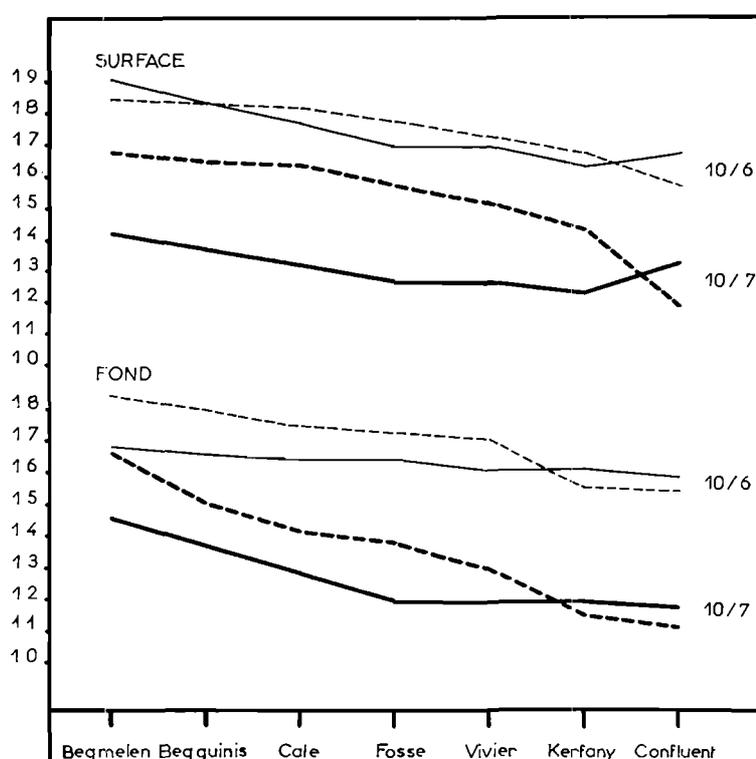


FIG. 10. — Répartition longitudinale des températures les 10 juin et 10 juillet 1969 à pleine mer (trait plein) et basse mer (tireté).

### b) Caractères particuliers de l'été 1969.

1969 a été caractérisé par un refroidissement estival très marqué. En juillet, les températures de l'eau, indépendamment de la profondeur et du moment de marée, ont accusé une baisse exceptionnelle et tout à fait anormale pour la saison ; elles étaient alors inférieures de plusieurs degrés à celles qui avaient été relevées un mois avant, le 10 juin, dans les mêmes conditions. L'écart atteignait en surface 3°5 à 4°3 à pleine mer, 1°8 à 3°7 à basse mer tandis qu'au fond, il était respectivement de 2°1 à 4°4 et de 1°4 à 4°3. De telles anomalies n'avaient pas été constatées dans l'été 1968 où les températures, en surface et au fond, avaient régulièrement progressé de juin à juillet (fig. 10).

En juillet 1969, sur le fond à pleine mer, les températures ne sont que 11°8 à la station 1, au confluent du Belon et de l'Aven, de 11°9 à la station 2 et de 12° à la station 3, dans les fosses en amont du Gorgen tandis qu'à basse mer, elles varieront respectivement de 11°2 à 11°6 et 13°8 pour atteindre 16°6 dans la partie supérieure de la rivière, la plus éloignée de l'embouchure. Les tempéra-

tures moyennes, elles-mêmes, calculées sur l'ensemble des résultats obtenus aux différentes stations sont à ce moment de 11°9 et 12°8 (fond-surface) à pleine mer et de 13°3 et 14°7 à basse mer.

Le refroidissement, on l'a vu, est plus accusé au fond qu'en surface, en aval qu'en amont ; il est particulièrement marqué dans toute la zone du confluent où il persiste même à basse mer. Ces eaux froides semblent donc bien avoir une origine océanique et proviennent très vraisemblablement du « bourrelet froid » mis en évidence par VINCENT et KURC (1969) qui s'étale le long de la côte méridionale de la Bretagne et à l'ouest du Finistère, notamment dans la région des Glénans (fig. 11). Selon ces auteurs, cette masse d'eaux froides, déjà signalée les années précédentes, est relativement immobile et fixée sur des fonds d'une centaine de mètres ; selon les années, elle se rapproche du littoral. Ses eaux, empruntant les vallées sous-marines des rias, peuvent alors remonter jusque dans

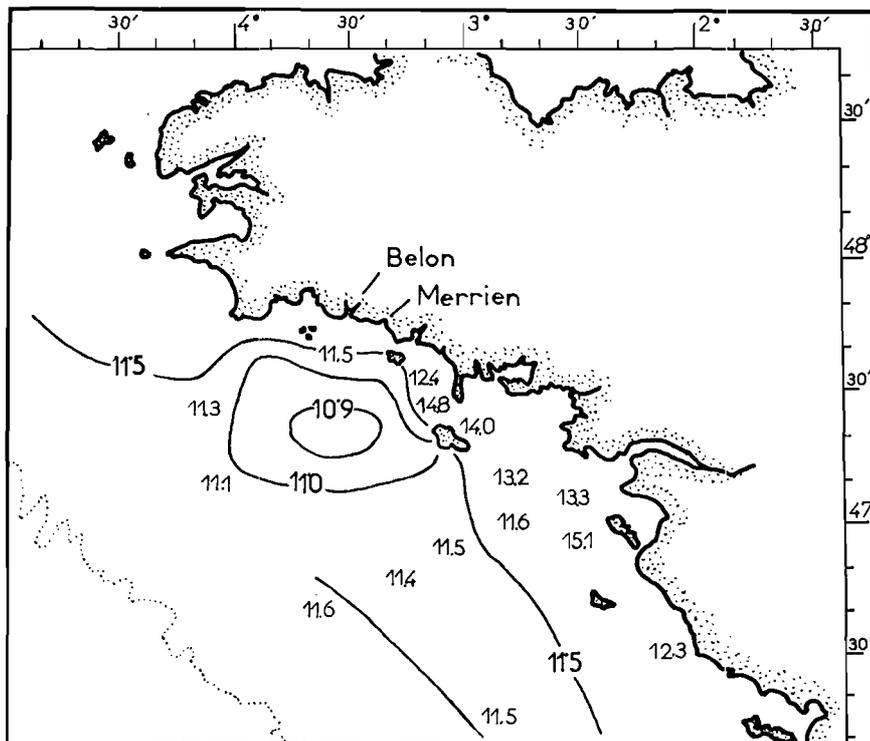


FIG. 11. — Situation hydrologique au large du Belon en juillet 1969 (d'après VINCENT et KURC).

les estuaires sous l'effet de différentes causes dont il restera à préciser l'importance relative. Est-ce l'effet du remplacement des eaux superficielles, refoulées par les vents soufflant assez longtemps de terre, par les eaux plus profondes ? Est-ce le résultat de la poussée des eaux atlantiques qui, selon LE DANOIS (1934) se fait suivant un axe SO-NE du mois de mai au mois d'août ?

La pénétration de ces eaux froides dans le Belon, mais aussi en rivière de Merrien où le même phénomène a été constaté, ne paraît pas avoir lieu chaque année avec la même intensité. Nous avons déjà signalé qu'en juillet 1967 la présence d'eaux froides avait été observée dans la zone du confluent mais notre attention n'avait pas été portée sur le destin ultérieur de ce milieu. En 1968, bien que le régime thermique du Belon n'ait pas été aussi perturbé qu'en 1969, divers indices laissent penser que leur avancée avait été limitée à la bordure littorale et, là encore, au confluent. Il y eut, en effet, en juillet et surtout en août, une légère chute des températures en profondeur mais réduite à quelques dixièmes de degré, sans commune mesure avec ce qui devait être constaté en 1969 et surtout en 1970 où ces eaux froides envahirent tout le cours de l'estuaire.

S'agit-il d'un phénomène nouveau ? Ne s'est-il pas déjà produit dans le passé, notamment depuis 1961, date à laquelle débutèrent ces mortalités estivales des huîtres du Belon ? Les observations dont nous disposons ne sont pas suffisamment nombreuses pour en décider. Les données

publiées de 1932 à 1938 par TACLET, HERMAN ou VOISIN, sur des mesures de température effectuées chaque semaine dans le Belon, en surface, ne montrent pas de rupture du régime thermique analogue à celle qui est survenue en 1969. Aucune mortalité d'huîtres ne fut d'ailleurs signalée pendant cette période. Il reste que la présence d'une masse d'eaux froides le long du littoral sud du Finistère pouvait déjà être préexistante aux observations qui, les années dernières, ont permis d'en définir l'importance et les caractéristiques.

**Les salinités.**

**a) Moyennes et dispersions.**

Dans toute la zone ostréicole du Belon, les salinités moyennes relevées pendant les deux années d'étude ont été relativement élevées. Les valeurs extrêmes ont oscillé entre 32,1 et 34,4 ‰ à pleine mer et entre 23,8 et 34,3 ‰ à basse mer. La stratification, faible à pleine mer est plus nette à basse mer, le gradient vertical moyen de salinité étant respectivement de 0,7 et 2,2 (tabl. 12).

Stations	Pleine mer				Basse mer			
	surface		fond		surface		fond	
	Moy.	Ecart-type	Moy.	Ecart-type	Moy.	Ecart-type	Moy.	Ecart-type
1	34,1	1,3	34,4	1,0	32,6	2,5	34,3	1,2
2	33,8	1,5	34,2	1,4	31,6	2,6	33,0	2,4
3	33,5	1,8	34,2	1,5	27,3	4,7	31,3	3,4
5	32,1	2,5	33,4	1,7	23,8	8,4	25,6	6,9

TABLE. 12. — Moyennes et écarts-type de la salinité (en ‰) des eaux de surface et de fond, aux étales de pleine et basse mer en 1968-1969.

Comme l'indiquent les écarts-type, les dispersions autour des valeurs moyennes sont peu importantes, à l'exception toutefois des salinités de basse mer à la station n° 5, située dans la partie haute de l'estuaire. Les écarts-type, plus élevés à basse mer qu'à pleine mer, augmentent régulièrement de l'aval à l'amont au fur et à mesure que, l'influence des eaux fluviales se faisant plus sensible, les salinités moyennes sont plus basses.

**b) Variations saisonnières.**

Les eaux estuariennes étant le résultat du mélange des eaux océaniques et des eaux fluviales, leur salinité dépend de la pénétration des unes et de l'abondance des autres. En effet, c'est en grande partie sous l'influence des variations du débit des ruisseaux d'eaux douces que les salinités du Belon présentent des fluctuations saisonnières. On peut donc distinguer dans l'estuaire, comme pour les cours d'eau qui s'y jettent, deux saisons hydrologiques aux limites d'ailleurs assez peu précises (fig. 12).

Pendant la période d'étiage, de mai à octobre, sous l'effet des températures atmosphériques élevées les pluies, parfois abondantes, sont compensées par une intense évaporation. La pluviométrie ou bilan précipitations-évaporation, est fréquemment déficitaire alors que le débit d'eau douce est réduit à son minimum. L'influence océanique prédomine largement dans l'estuaire et les salinités sont maximales. Pendant la période de crue, de novembre à avril, les températures atmosphériques sont basses et l'évaporation nulle. Les pluies vont grossir les cours d'eau qui, se jetant dans l'estuaire, y provoquent une dessalure sensible jusqu'à l'aval ; les salinités sont alors minimales.

En 1968, les maxima furent relevés en septembre (35,0-35,4 ‰ à pleine mer, 34,2-34,3 ‰ à basse mer) ; les minima le furent en février (31,3-31,5 ‰ à pleine mer, 22,0-23,1 ‰ à basse mer). Le 15 octobre, la salinité des eaux superficielles baissait nettement, même à l'embouchure (st. n° 1),

à pleine mer : c'était l'effet des pluies très abondantes tombées sur la région de Belon au cours du mois précédent.

En 1969, les salinités maximales furent notées en juillet, août et septembre, atteignant 35,2-35,3 ‰ à pleine mer et 34,2-34,4 ‰ à basse mer ; les minimales furent observées en mars, s'établissant à 29,0-30,6 ‰ à pleine mer et 20,5-25,6 ‰ à basse mer.

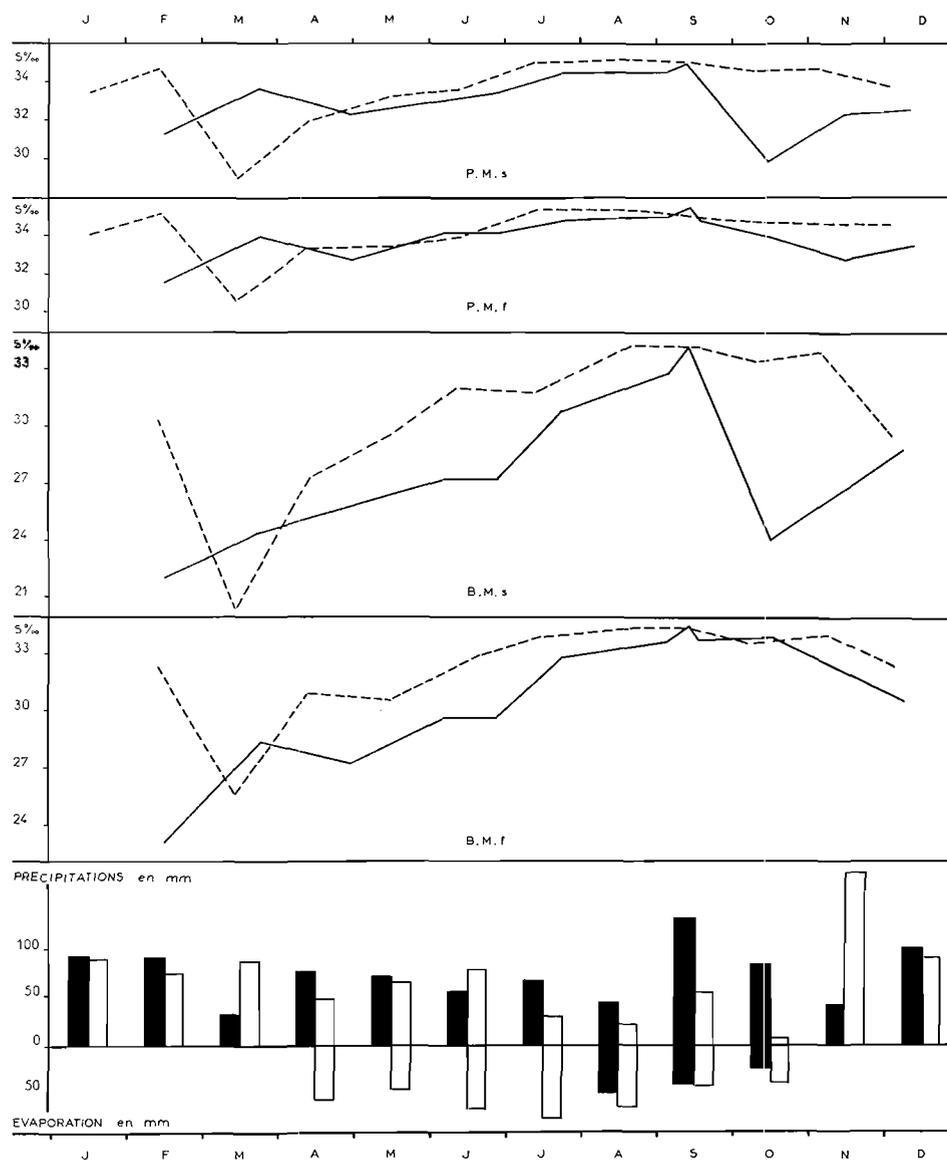


FIG. 12. — Variations saisonnières des salinités moyennes en relation avec la pluviométrie en 1968 (trait plein et rectangles noirs) et 1969 (tiretés et rectangles blancs).

Bien que la pluviométrie et les températures atmosphériques de janvier et février 1969 aient été voisines de la normale, on enregistrat le 13 février des salinités exceptionnellement élevées pour la saison : 34,7-35,1 à pleine mer, 30,3-32,3 à basse mer. La pénétration des eaux océaniques qui en était manifestement la cause était d'autant plus surprenante que les prélèvements furent effectués au cours d'une marée de morte-eau, coefficient 48. Ainsi, dans ce cas précis, le schéma classique, pluvio-

métrie excédentaire = basses salinités, ne fut pas respecté ; c'est le signe que des mouvements océaniques généraux peuvent éventuellement intervenir dans l'hydrologie de l'estuaire.

Période	Année	Pluviométrie en mm	Pleine mer		Basse mer	
			surface	fond	surface	fond
crue	1968	+ 71,3	32,4	32,9	25,2	28,3
	1969	- 84,4	32,9	33,7	27,3	31,1
étiage	1968	+ 55,9	33,5	34,6	29,9	32,5
	1969	- 15,6	34,5	34,6	32,5	33,2

TABL. 13. — Pluviométrie et salinités moyennes en période de crue et d'étiage (1968-1969).

Un phénomène du même ordre fut à l'origine, vers le 10 juillet 1969, d'un envahissement du cours du Belon par des eaux marines et froides. Il fut d'ailleurs accompagné d'un autre phénomène.

Station	Pleine mer				Basse mer			
	Surface		fond		surface		fond	
	Moy.	Écarts-type	Moy.	Écarts-type	Moy.	Écarts-type	Moy.	Écarts-type
Période de crue								
1	33,3	1,4	33,8	1,1	31,1	2,3	33,5	1,4
2	33,2	1,5	33,6	1,2	30,1	2,7	31,2	2,7
3	32,8	1,8	33,3	1,6	26,1	4,7	28,9	3,5
5	31,4	2,3	32,5	2,1	17,9	8,8	21,2	7,5
Période d'étiage								
1	34,7	0,6	34,9	0,6	33,6	2,2	34,8	0,6
2	34,3	1,4	34,7	0,6	32,7	2,1	34,2	1,1
3	34,1	1,5	34,6	0,7	30,5	3,4	33,0	1,7
4	32,9	2,5	34,2	0,9	28,2	4,8	29,5	4,0

TABL. 14. — Moyennes et écarts-type des salinités (S ‰) en périodes de crue (novembre à avril) et d'étiage (mai à octobre).

les salinités à basse mer près du fond étant supérieures à celles de la pleine mer et les températures devenant inférieures, aux deux stations 1 et 2, les plus aval :

	St. 1				St. 2			
	Surface		Fond		Surface		Fond	
	S ‰	T	S ‰	T	S ‰	T	S ‰	T
Pleine mer	35,4	13°3	35,4	11°8	35,4	12°4	35,4	11°9
Basse mer	35,8	12°	35,8	11°2	33,4	14°4	35,6	11°6

Un phénomène identique avait déjà été perçu en juillet 1968, vers le 22, lors d'une ébauche d'avancée d'eaux froides, les salinités à basse mer étant, en profondeur, supérieures à celles de la pleine mer (35,2 contre 34,9 à la station 1, 35,2 contre 34,8 à la station 2). Dans les deux cas, en

1969 et en 1968, l'anomalie survenait dans des conditions météorologiques voisines, le temps étant beau, les vents tournants faibles à modérés, et le coefficient de marée faible (46), la basse mer survenant entre 7 et 8 heures. Est-ce aux vents qu'on doit imputer l'avancée et le recul de cette lentille d'eaux froides et salées qui se produisit indépendamment de l'onde de marée ? Ils avaient soufflé du secteur E-NE durant la nuit et une partie de la matinée, représentant ici les « vents de terre » ; ils passèrent au secteur O-SO dans l'après-midi devenant « vents de mer ».

Si l'on compare les années 1968 et 1969, on voit clairement (fig. 12) que les salinités de l'estuaire du Belon furent supérieures en 1969 à celles de 1968 ; la moyenne pluviométrique mensuelle qui avait été de 63,6 mm en 1968 ne fut d'ailleurs que de 34,4 mm l'année suivante. C'est essentiellement en période d'étiage que se manifesta la différence entre les deux années sur le plan climatique : le bilan précipitation-évaporation fut nettement déficitaire en 1969 de mai à octobre (— 15,6 mm par mois en moyenne) alors qu'il avait été largement excédentaire en 1968 (+ 53,9) (tabl. 13). En revanche, de novembre à avril, la pluviométrie moyenne fut légèrement supérieure en 1969 à celle de 1968. Les salinités moyennes, en période de crue comme en période d'étiage, ayant été plus élevées en 1969 qu'en 1968, on peut y voir confirmation du fait que les eaux de la zone ostréicole du Belon, comme celles de la région côtière de Roscoff « bien que soumises aux conditions climatiques locales, reflètent cependant les mouvements océaniques généraux » (FAURE, 1959).

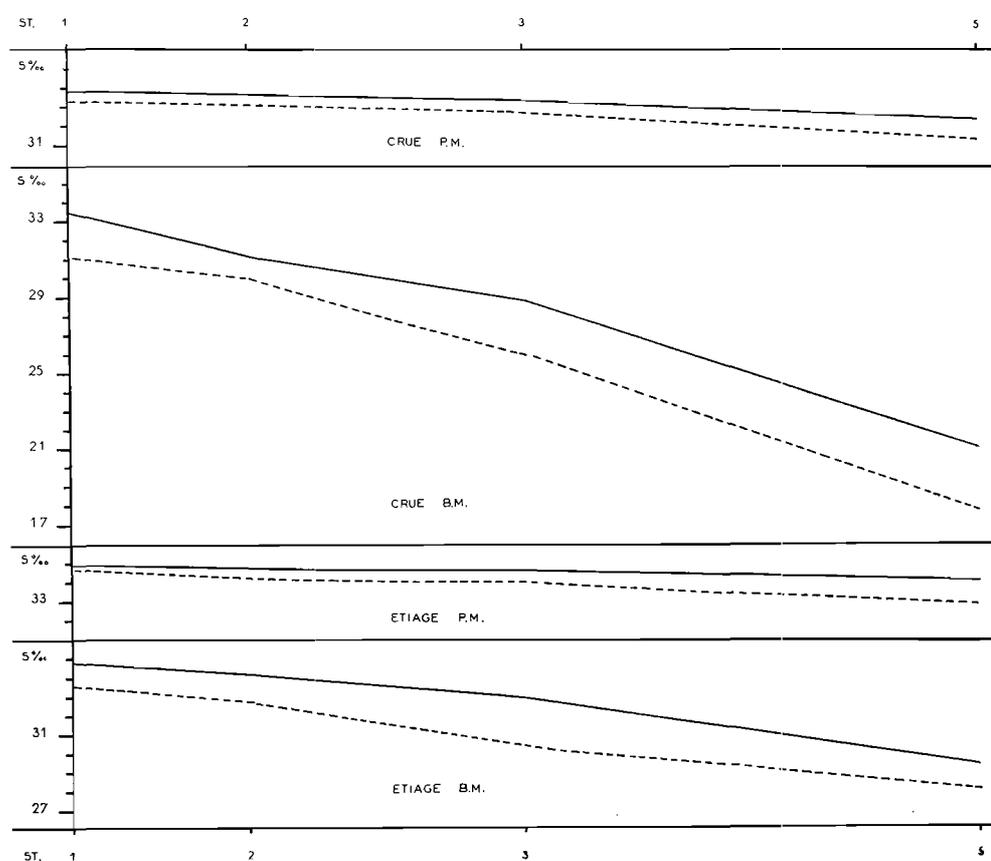


FIG. 13. — Répartition longitudinale des salinités moyennes et stratification densimétrique au fond (trait plein) et en surface (tireté).

### c) Distribution longitudinale des salinités.

En étudiant la répartition longitudinale des salinités moyennes, en surface et au fond pendant les étales de pleine et basse mer, on peut mettre en évidence un certain nombre de faits (fig. 13).

*Période de crue.* La stratification densimétrique est faible à pleine mer, 0,6 ‰ en moyenne (tabl. 14). Sensiblement égale de la station 1 à la station 3, où elle atteint 0,4-0,5 ‰, elle augmente

ensuite pour s'élever à 1,1 ‰ à la station 5, en amont. La différence de salinité entre les deux stations extrêmes est de 1,9 ‰ en surface et de 1,3 ‰ au fond. A basse mer, la stratification densimétrique qui est de 2,4 ‰ à la station 1 tombe à 1,1 ‰ en 2, au niveau de la barre ; elle augmente brutalement à la station 3 où elle est de 2,8 ‰ pour atteindre enfin 3,3 ‰ en 5. On relève un écart de salinité entre les stations 1 et 5 de 13,2 ‰ en surface, de 12 ‰ sur le fond. L'amplitude de salinité, ou différence entre les salinités de pleine et basse mer, croît d'aval en amont ; elle varie de 2,2 ‰ à 13,5 ‰ en surface et de 0,3 ‰ à 11,3 ‰ au fond.

*Période d'étiage.* La stratification densimétrique à pleine mer est, comme en période de crue, de 0,6 ‰ en moyenne (tabl. 14). Pratiquement nulle en 1 (0,2 ‰), elle reste très faible jusqu'à la station 3, où elle est de 0,5 ‰ ; elle augmente ensuite et atteint 1,3 ‰ en amont. L'écart de salinité entre les deux stations extrêmes s'établit ainsi à 1,8 ‰ en surface et de 0,7 ‰ au fond. A basse mer, la stratification densimétrique est pratiquement la même aux deux extrémités de la zone étudiée, 1,2 et 1,3 ‰, mais à la station 3, zone des fosses, elle est maximale (2,5 ‰) et comparable, malgré la faiblesse du débit fluvial, à celle de la période de crue (2,8 ‰). La différence de salinité entre les stations 1 et 5, identique en surface et au fond, est de 5,4 ‰. L'amplitude de salinité augmente de l'aval vers l'amont ; elle va de 1,1 à 4,7 ‰ en surface et de 0,1 à 4,7 ‰ au fond.

#### d) Discussion. Interprétation des résultats.

A pleine mer, la stratification densimétrique, croissante de l'aval vers l'amont, est faible dans la zone étudiée tant en période de crue qu'en période d'étiage. Les eaux marines, même en marée de morte-eau, pénètrent largement et profondément dans l'estuaire, refoulant les eaux fluviales vers l'amont.

A basse mer, la stratification n'est pas régulièrement décroissante de l'amont vers l'aval. Fortement influencée par les accidents du chenal, barre et fosses, elle passe par un minimum en période de crue à la station 2 et par un maximum en période d'étiage à la station 3.

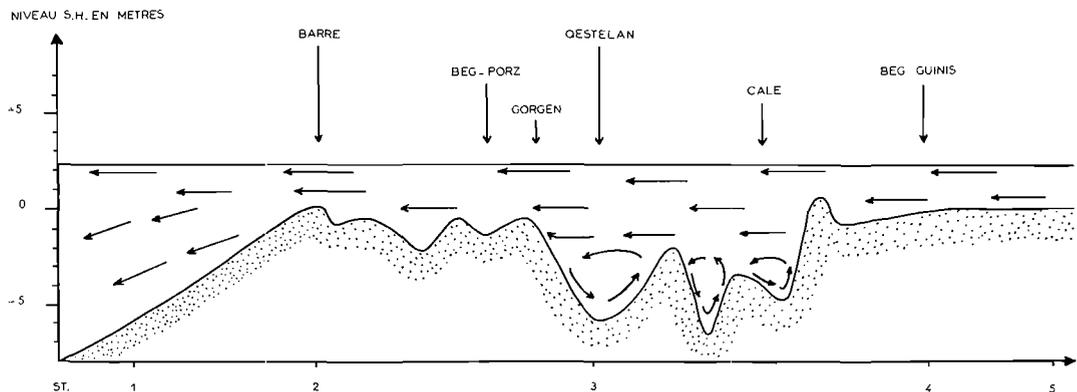


FIG. 14. — Mécanisme d'évacuation des eaux au jusant en période d'étiage.

Dans la zone des fosses correspondant à la station 3, il existe donc, à une époque où la quantité d'eau douce arrivant dans l'estuaire est minimale, un fort gradient de salinité moyen, au moment de l'étalement de basse mer. A cette importante stratification densimétrique, on peut trouver une explication : les eaux marines amenées par le flot restent « piégées » dans les fosses jusqu'à la basse mer. En effet, le courant de jusant qui n'est plus renforcé par le débit fluvial est trop faible pour les en chasser, particulièrement en marée de morte-eau. Ce courant assure toutefois l'écoulement des eaux sus-jacentes qui glissent (fig. 14) sur ces couches denses et profondes. Il en résulte qu'on trouve là, en surface, des eaux venues d'amont dont la salinité est grossièrement comprise entre celles des stations amont et aval (n° 2 et 5) et au fond, des eaux résiduelles en grande partie dont la salinité qui n'a été que faiblement réduite au cours du jusant est parfois supérieure à celle des eaux de la station 2, située plus en aval.

Cette stratification importante des eaux en période d'étiage a été particulièrement accentuée au moment de la pénétration des eaux froides océaniques le 10 juillet 1969 (fig. 15). A cette date, le gradient de salinité à basse mer, qui était de 0 et 1 ‰ aux stations 1 et 5, atteignait 4,8 ‰ à la station 3, dans la zone des fosses.

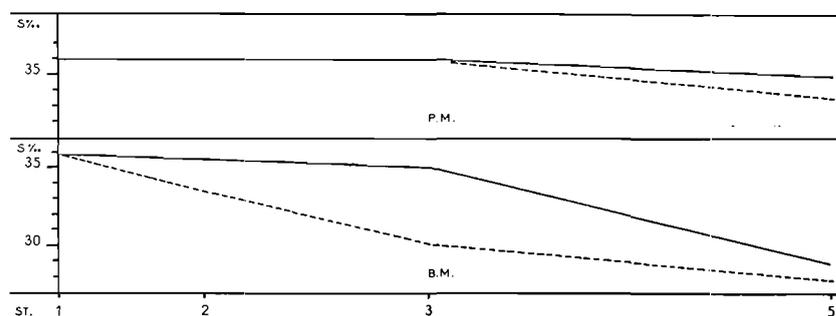


Fig. 15. — Répartition longitudinale des salinités et stratification densimétrique le 10 juillet 1969 au fond (trait plein) et en surface (tireté).

Les eaux emprisonnées dans les fosses en sont expulsées au flot par l'arrivée d'eaux marines de densité supérieure ou égale. Compte tenu du volume d'eau emmagasiné dans cette zone à basse mer, c'est une quantité très importante d'eaux ayant été immobilisées un certain temps qui se répand alors dans l'estuaire au gré des courants de marée. Il n'est pas impossible qu'aux environs du 10 juillet 1969, comme en d'autres occasions semblables, une telle immobilisation prolongée des eaux froides ait pu aggraver leur déficit naturel en oxygène dissous ou les avoir chargées en substances diverses.

### L'oxygène dissous.

Les prélèvements ont été faits à pleine mer et à basse mer, en surface et au fond, à l'aide de bouteilles à renversement aux cinq stations hydrologiques décrites ci-dessus ; elles s'échelonnent du confluent (station 1) à l'amont de la rivière (station 5). Les échantillons ont été analysés dans les heures qui ont suivi le prélèvement. La méthode d'analyse utilisée est celle de Winkler.

Les résultats ont fait l'objet du tableau 15 où sont mentionnés, pour chaque prélèvement, la teneur en oxygène dissous en milligramme par litre d'eau de mer et le pourcentage de saturation de l'échantillon en tenant compte de sa salinité et de sa température.

Pendant l'année 1969, à l'exception des prélèvements du 10 juillet, les pourcentages moyens en oxygène dissous aux différentes stations ont toujours été voisins de la saturation comme au fond tant à basse mer qu'à pleine mer. Nous enregistrons même parfois une sursaturation qui n'est qu'un « phénomène superficiel » comme le notent PÉRÈS et DEVÈZE (1963). En effet, dans la zone euphotique, dont l'épaisseur peut être très variable, la teneur en oxygène dissous peut être élevée de façon appréciable grâce à l'activité photosynthétique des végétaux et organismes aquatiques, à l'action des vents, des courants, ou simplement au contact avec l'atmosphère.

Les prélèvements du 10 juillet révélaient une sous-saturation anormale des eaux en oxygène dissous. C'est ainsi que nous notions des pourcentages de 78,76 % et 77,5 %, 85,5 % aux stations 1, 2, 3 et 5 en surface et à pleine mer, alors que nous trouvions au fond des pourcentages qui étaient respectivement de 73, 73,5, 71 et 74,5 pour ces mêmes stations. Nous faisons les mêmes constatations avec les prélèvements faits à basse mer en surface : 76,5, 80,5, 86,5 et 87 et au fond : 71,5, 72, 73,5, 80.

Ce sont ces eaux à caractère océanique qui, par leur salinité élevée, leur température basse, leur richesse en sels nutritifs et leur sous-saturation en oxygène dissous, ont contribué au déséquilibre du milieu biotique de la rivière Belon. De telles remontées d'eaux profondes pauvres en oxygène, ne sont pas un phénomène exceptionnel, DEACON (1933) en signalait dans l'Atlantique.

Dates	Basse mer				Pleine mer			
	surface		fond		surface		fond	
	mg/l	% sat.	mg/l	% sat.	mg/l	% sat.	mg/l	% sat.
<b>Station 1</b>								
10-4	9,3	95,5	9,2	95,5	9,15	101	9,1	100
13-5	9	105	9,35	110	8,95	107	9,3	110
10-6	8,5	102	8,3	100	8,1	99,5	8,1	98,5
10-7	6,8	76,5	6,3	71,5	6,8	78	6,8	73
20-8	7,9	100	7,95	100	8,0	103	8,0	102
9-9	7,75	94	8,0	97,5	7,8	98,5	7,8	99
7-10	7,80	95,5	7,5	92,1	7,65	95	7,65	92
6-11	7,20	86	7,20	86	7,20	87,5	7,0	85,5
<b>Station 2</b>								
13-3	9,1	93,5	8,8	91,5	9,1	96,5	8,8	93,5
10-4	9,2	101	9,5	105	8,80	97,5	9	99
13-5	8,7	103	9,3	110	8,60	102	9,1	108
10-7	7,2	80,5	6,35	72	6,6	76	6,45	73,5
20-8	7,85	99,5	7,9	101	7,85	99	7,90	100
9-9	7,85	95,5	7,8	95,5	7,75	97	7,8	94,5
7-10	7,85	97	7,55	93,5	7,65	95	7,55	93,5
6-11	7,20	84,5	7,20	85	7,25	86,5	7,20	87,5
<b>Station 3</b>								
13-3	8,1	81	7,8	80	8,45	88	8,55	90,5
10-4	9	95	9,2	102	9	97,5	8,65	94,5
13-5	8,4	98	8,35	97,5	8,65	103	8,75	104
10-6	7,6	92,5	7,6	93	8,2	101	8,2	100,5
10-7	7,3	86,5	6,2	73,5	6,85	77,5	6,2	71
20-8	7,85	103	7,75	101,5	7,85	99,7	7,75	98,1
9-9	7,75	96	7,90	99	7,75	95	7,85	97,4
7-10	8,20	101	7,55	93,5	7,60	94	7,65	94
6-11	7,05	84	7,20	86	7,70	92	6,85	70
<b>Station 4</b>								
13-3	7,6	81,5	7,8	63,5	8,4	86,5	7,95	82,5
10-4	8,6	94	9,1	100,8	8,45	95	8,6	94,5
13-5	8	95	8,2	96,4	9,25	112	9	107,5
10-6	7,1	87,5	7,35	91,2	8,4	105	8,5	104,5
20-8	7,95	103	7,95	102,5	7,95	100,5	7,95	100,5
7-10	7,95	97,5	7,80	95,8	8,10	100,5	7,6	94,5
6-11	6,65	75,6	6,80	78,5	7,20	85,5	6,95	83,5
<b>Station 5</b>								
13-3	8	74,5	7,55	74	7,9	85	7,9	81,5
10-4	8,7	90,5	8,15	99	8,6	95	8,6	94,5
13-5	8,6	101	8,1	95	9,1	110	9,1	108,5
10-6	7,15	88,5	7	86	8,35	107	8,35	103,5
10-7	7,35	87	6,75	80	6,4	85,5	6,4	74,5
20-8	7,55	99	7,7	101,5	7,7	95,5	7,7	98
9-9	7,40	91	7,45	92	7,85	95	7,85	96
7-10	7,80	95,5	7,80	95,5	7,50	100	7,50	93,5
6-11	6,65	76	6,60	75,5	6,90	82	6,90	83

TABLE 15. — Teneurs et pourcentages de saturation en oxygène dissous aux stations 1 à 5.

### La turbidité.

Les mesures de turbidité furent effectuées sur des échantillons de un litre d'eau prélevés aux stations 2 et 5, dans le chenal, en surface et près du fond, aux étales de pleine et basse mer. Au laboratoire, les eaux étaient filtrées sur filtre Millipore de diamètre de pore de  $1,2 \mu$  et de poids  $P_1$ . Après l'opération, le filtre était séché à l'étuve à  $110^\circ\text{C}$ , refroidi dans un dessiccateur et pesé, soit  $P_2$ . Le filtre perdant environ par la dessiccation 10 % de son poids initial, le poids de particules en suspension dans un litre d'eau était en définitive égal à :

$$T = (P_2 - P_1) + 0,1 P_1$$

On calcula par la suite, pour chaque station, à partir des turbidités de surface ( $T_s$ ) et de fond ( $T_f$ ), la turbidité moyenne de la tranche d'eau  $T_m$  exprimée en g/l.  $T_s$  constituant en général les  $9/10^e$  de  $T_m$ , on obtenait :  $T_m = 9 T_s + T_f/10$

Comme l'attestent les valeurs moyennes et les écarts-type trouvés pendant les années 1968-1969, les turbidités des eaux de la zone ostréicole sont faibles. Elles étaient, en moyenne, de 0,013 g/l à pleine mer et de 0,014 g/l à basse mer avec des écarts-type de 0,007 et 0,006 à la station 2 ; à la station 5, située plus en amont, les moyennes étaient de 0,013 g/l et de 0,018 g/l à pleine et basse mer, avec des écarts-type respectifs de 0,004 et 0,006.

La transparence de l'eau est inversement proportionnelle à la turbidité. Les mesures effectuées à l'aide du disque de Secchi ont montré que la transparence décroissait généralement de l'aval vers l'amont et qu'elle était plus importante à pleine mer qu'à basse mer. Comme elle est dépendante des conditions météorologiques, la transparence des eaux était grande par beau temps, faible ou nulle lors des tempêtes du secteur ouest ou encore à la suite de pluies abondantes.

On notera enfin que, les eaux de ruissellement étant grandement responsables de l'augmentation du taux des particules en suspension dans les estuaires, les turbidités sont inférieures en période d'étiage à ce qu'elles sont en période de crue. C'est ainsi qu'en 1969, les valeurs moyennes de turbidité ont été, à la station 2, de 0,016 g/l à pleine mer et de 0,017 à basse mer en période de crue alors qu'en étiage elles étaient seulement de 0,008 et 0,011 g/l. A la station 5, située plus en amont, les valeurs moyennes étaient respectivement de 0,015 et 0,019 g/l en crue et de 0,009 et 0,016 g/l en étiage.

### Calcium et magnésium.

Ces deux éléments ont été dosés par complexométrie à l'aide du versénate de sodium et deux indicateurs colorés, le murexide pour le calcium, l'ériochrome noir pour la somme calcium-magnésium ; le magnésium est obtenu par différence (DE SOUZA, 1954).

#### a) Le calcium.

Le calcium, très largement utilisé par les organismes à test calcaire comme le sont les huîtres, a présenté des valeurs très variables. On note de grandes dissemblances dans les courbes des teneurs relevées à pleine mer, entre la surface et le fond. En profondeur où, sans doute, les perturbations éventuelles sont atténuées les variations des teneurs en calcium ont lieu dans des limites assez étroites d'un point à l'autre de l'estuaire ; c'est en avril qu'on relève les valeurs minimales à ce niveau (228,80 à 232,96 mg  $\text{Ca}^{++}$ ) et en octobre, les valeurs maximales comprises entre 290,44 et 350,72 mg  $\text{Ca}^{++}$ . En surface, on note une évolution parallèle entre les stations jusqu'en septembre mais une divergence prononcée survient en octobre, entre le confluent et l'intérieur de l'estuaire. La concentration en calcium augmente alors au confluent pour atteindre sa valeur maximale, 361,68 mg  $\text{Ca}^{++}$  tandis qu'on relève une baisse en rivière, d'autant plus accentuée qu'on remonte vers la partie haute ; on mesure 235,64 mg dans les fosses près du Gorgen et seulement 186,32 mg  $\text{Ca}^{++}$  à Beg-Melen, plus en amont. Cette chute des teneurs suit l'arrivée d'importantes quantités d'eaux fluviales dépourvues de calcium dont l'effet, presque immédiat en amont, ne se fera sentir qu'en novembre au confluent.

En 1969 comme en 1968, pour les eaux superficielles, les valeurs relevées à pleine mer se sont peu écartées de la moyenne : — 48,27 et + 42,04, la première année, — 55,78 et + 89,58 la seconde. L'augmentation des concentrations en ion Ca que l'on observe du printemps à l'automne

(fig. 16) semble bien être provoquée par l'arrivée des eaux océaniques, tandis que la dilution des eaux marines par les eaux fluviales agit en sens contraire.

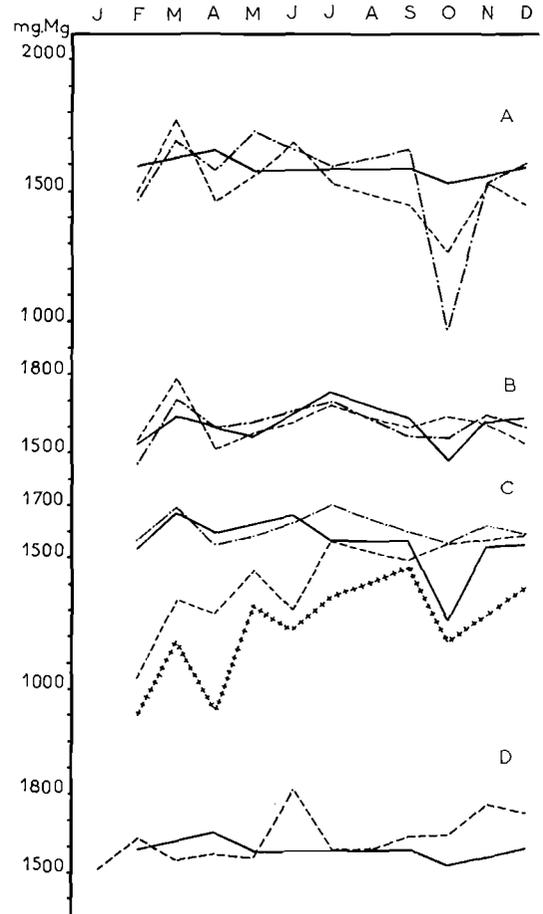
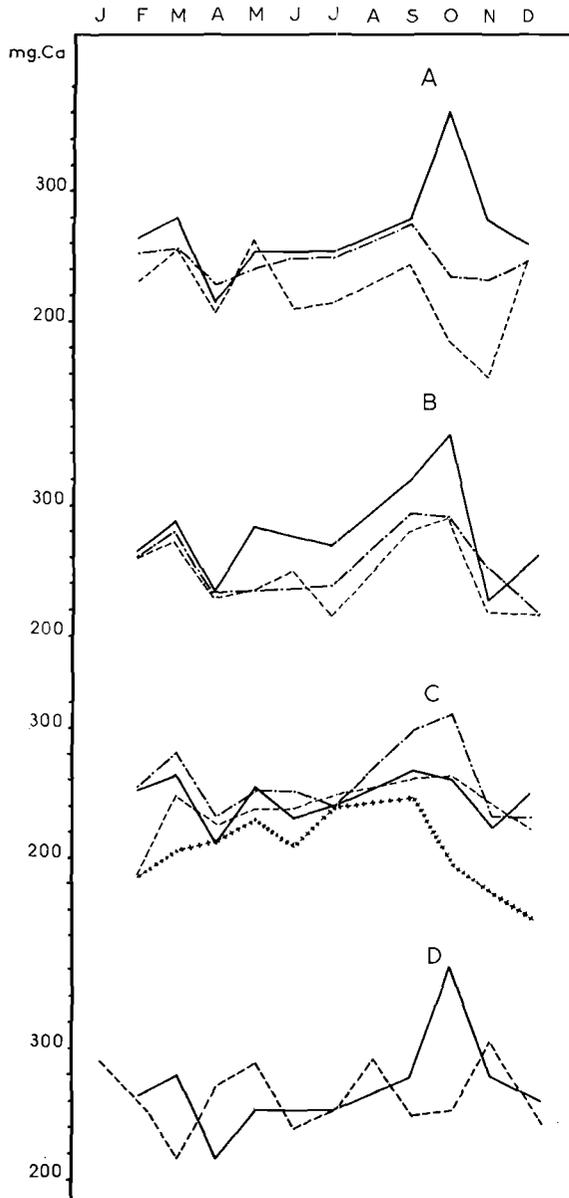


FIG. 16 et 17. — Variations saisonnières des teneurs en calcium (fig. 16, à gauche) et du magnésium (fig. 17, à droite). A : en surface à pleine mer; B : au fond, à pleine mer, à la station 1 (trait plein) et à la station 3 (point-tiré); C : teneurs moyennes pour l'estuaire à pleine mer en surface (trait plein) et au fond (point-tiré), à basse mer en surface (croix) et au fond (tireté); D : année 1968 (trait plein), année 1969 (tireté).

**b) Le magnésium.**

L'étude des variations du magnésium, autre élément important du milieu marin, souligne les différences existant entre le confluent et l'intérieur de l'estuaire (fig. 17). Au confluent, quelle que soit la saison, le milieu est relativement homogène ; ainsi en 1968, les teneurs des eaux de surface fluctuent entre 1 542,68 mg et 1 657,96 mg  $Mg^{++}$ , soit un écart de 115,28 mg ; en 1969, l'écart augmente légèrement à 269,21 mg pour des teneurs comprises entre 1 826,12 mg et 1 556,91 mg. A l'intérieur de l'estuaire, en revanche, les écarts atteignent respectivement 492,36 mg et 753,57 mg. En 1969, d'autre part, on relève deux maxima en juin et novembre (fig. 17) qui n'avaient pas été constatés l'année précédente.

Plusieurs facteurs interviennent pour provoquer les fluctuations enregistrées, notamment la marée. Ainsi les écarts peuvent être très différents entre les moments de basse mer et de pleine mer comme le soulignent les chiffres suivants représentant la moyenne des résultats : 564,58 mg en surface et 529,69 au fond à basse mer, 405,94 et 155,15 à pleine mer. C'est en hiver et au printemps que le déséquilibre ionique est particulièrement marqué à basse mer, tant en surface qu'en profondeur et de façon encore plus accentuée en amont qu'en aval ; les apports fluviaux exercent donc une influence réelle sur la composition des eaux de l'estuaire du Belon.

### Les phosphates inorganiques dissous.

Les phosphates inorganiques dissous ont été dosés sur des prélèvements effectués aux stations 2, 3 et 4, par la méthode de Murphy et Ryley selon STRICKLAND et PARSONS (1965, 1968) ; les teneurs sont exprimées en  $\mu\text{atg P/l}$ .

Station	Pleine mer				Basse mer			
	1968		1969		1968		1969	
	S	F	S	F	S	F	S	F
2	0,275	0,331	0,206	0,206	0,263	0,275	0,256	0,300
3	0,202	0,167	0,182	0,174	0,355	0,305	0,340	0,261
4	0,298	0,159	0,235	0,212	0,491	0,367	0,470	0,368
moyenne	0,288	0,219	0,208	0,197	0,370	0,316	0,355	0,310
	0,254		0,203		0,343		0,333	

TABL. 16. — Teneurs moyennes en phosphates inorganiques dissous, en  $\mu\text{atg P/l}$  (S : surface, F : fond).

Les résultats obtenus (tabl. 16) montrent que les teneurs ont été, en moyenne, plus élevées en 1968 qu'en 1969. Elles furent, dans l'ensemble, plus fortes à basse mer qu'à pleine mer et plus importantes en surface que près du fond sauf, toutefois, à la station 2 où l'existence de la barre et l'action des courants semblent remettre en suspension la couche superficielle des sédiments. Les eaux interstitielles, riches en éléments biogènes dissous notamment en phosphates inorganiques, contribuent,

Sta.	Année	Maximum				Minimum				Amplitude
		valeur	date	marée	niveau	valeur	date	marée	niveau	
2	1968	1,300	15/2	P.M.	Fond	0,020	22/7	B.M.	Fond	1,280
3		0,900	d°	B.M.	Fond	0,020	d°	P.M.	Surf.	0,880
4		1,250	d°	P.M.	Surf.	0,010	2/7	P.M.	Fond	1,240
2	1969	1,330	13/3	B.M.	Fond	0,080	13/5	P.M.	Surf.	1,250
3		0,510	d°	B.M.	Surf.	0,070	10/6	P.M.	Fond	0,440
4		1,080	d°	B.M.	Surf.	0,075	d°	P.M.	Fond	1,005

TABL. 17. — Valeurs extrêmes (en  $\mu\text{atg P/l}$ ) des teneurs en phosphates inorganiques dissous (P.M. : pleine mer, B.M. : basse mer).

en se mêlant aux eaux du fond, à en augmenter les teneurs. En règle générale, dans la zone étudiée, les taux de phosphate paraissent augmenter de l'aval vers l'amont à basse mer ; à pleine mer, ils passent par un minimum à la station 3.

**Variations saisonnières.**

Si, aux différentes stations, les teneurs maximales et minimales apparaissent aux mêmes époques ou peu s'en faut, elles ne sont trouvées ni à un même moment de la marée ni à un même niveau (tabl. 17). Cette hétérogénéité de la répartition des phosphates dans l'estuaire du Belon tient en partie à la diversité de leurs origines. Dans un tel milieu, en effet, l'abondance des sels dépend essentiellement du cycle planctonique et de la pluviosité ; d'une part, les phosphates utilisés lors des

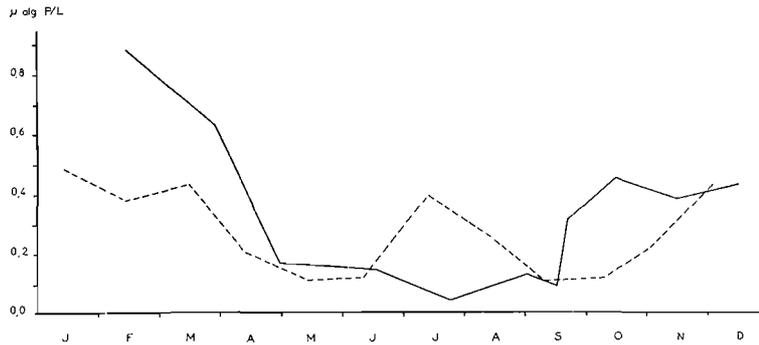


FIG. 18. — Variations saisonnières des teneurs moyennes en phosphates inorganiques dissous en 1968 (trait plein) et 1969 (tireté).

floraisons phytoplanctoniques sont remis en disponibilité après la mort des organismes planctoniques, d'autre part, de grandes quantités de phosphates sont entraînées par le lessivage du bassin versant

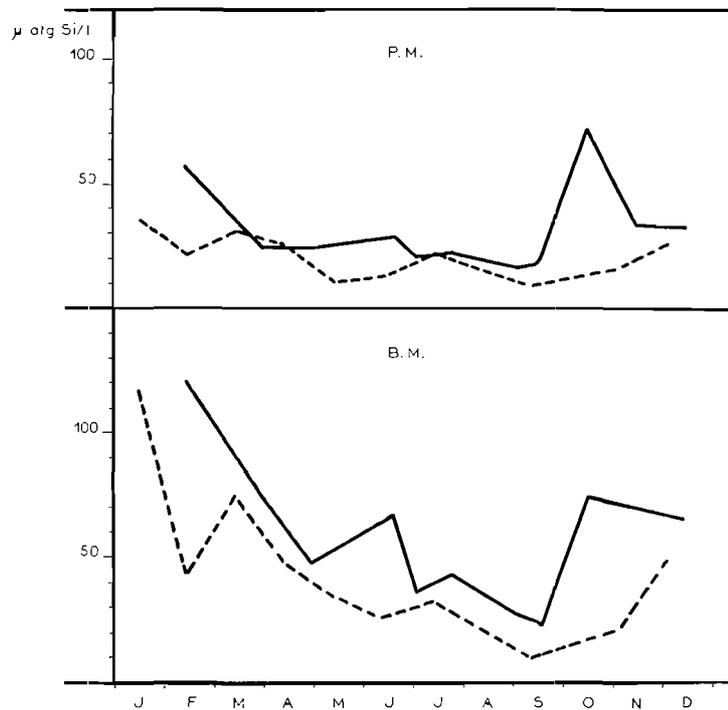


FIG. 19. — Variations saisonnières des teneurs en silice dissoute en 1968 (trait plein) et 1969 (tireté).

par les eaux de pluie. Il existe une relation positive entre les teneurs en phosphates inorganiques dissous dans les eaux estuariennes et les débits des ruisseaux débouchant dans l'estuaire.

La distribution des phosphates dans le Belon n'étant pas homogène, il convient pour étudier leur cycle annuel de variation de considérer, pour chaque série de prélèvements, la valeur moyenne

obtenue pendant un cycle de marée, à pleine et basse mer, sans tenir compte de leur répartition verticale, de la surface au fond. On met ainsi en relief (fig. 18) deux époques distinctes. La première, de mai à septembre, présente des teneurs minimales en phosphates et correspond à la phase d'utilisation de ces sels par les organismes planctoniques ainsi qu'à la période d'étiage. La seconde, d'octobre à avril, coïncide avec la phase de régénération par les microorganismes ainsi qu'à la période de crue.

En 1969, ce schéma fut quelque peu modifié par la pénétration d'eaux froides océaniques, le 10 juillet, provoquant une augmentation des teneurs en phosphates inorganiques dissous dont les valeurs moyennes atteignirent 0,385  $\mu\text{at g/l}$ , au milieu de la période d'utilisation et d'étiage. Cette richesse en sels nutritifs des « eaux froides » confère le caractère d'un *upwelling* à leur avancée dans la zone côtière du Belon.

### La silice dissoute.

La silice, que nous avons dosée régulièrement aux stations 2 et 4, entre notamment, on le sait, dans la composition des frustules de diatomées ; son cycle est donc lié à celui du phytoplancton. En fait, dans l'estuaire du Belon comme dans de nombreux autres estuaires bretons, le cycle de la silice biogène est en grande partie masqué par des apports extérieurs. En raison de la nature pétrographique des formations marginales, roches siliceuses de la famille des granites, de grandes quantités de silicates en solution arrivent, en effet, dans l'estuaire après les pluies qui lessivent le bassin versant. C'est donc essentiellement en fonction de la pluviométrie et du débit des affluents d'eau douce que varient les teneurs en silice dissoute des eaux du Belon ( $\mu\text{at g Si/l}$ ) :

	st. 2	Crue	Etiage		st. 4	Crue	Etiage
Pleine mer	Surface	27,6	19,8	Pleine mer	Surface	43,5	28,6
	Fond	24,0	15,7		Fond	26,4	17,6
Basse mer	Surface	50,2	27,7	Basse mer	Surface	110,3	48,4
	Fond	39,8	18,6		Fond	73,7	39,5

La corrélation qui lie les teneurs en silice et la salinité est ainsi négative ; les teneurs maximales sont trouvées en surface à basse mer, en période de crue tandis que les valeurs minimales sont mesurées au fond, à pleine mer, en période d'étiage. On distingue donc nettement deux phases dans la distribution de la silice dissoute chaque année (fig. 19). On ajoutera qu'à l'inverse des phosphates, la silice est répartie de façon homogène dans l'estuaire ; ses teneurs décroissent de l'amont vers l'aval et sont plus élevées partout à basse mer qu'à pleine mer, plus fortes toujours en surface qu'au fond.

En résumé, le régime hydrologique du Belon, comparable à bien des égards à celui d'autres estuaires bretons, s'en distingue par quelques particularités :

son orientation NE-SO et la faiblesse du débit fluvial limitent, au moins dans sa partie aval, les variations de salinité des eaux océaniques qui l'envahissent au flot,

en période d'étiage et au jusant, les fosses de la partie aval retiennent emprisonnées des eaux, ce qui limite le brassage d'une partie importante des eaux estuariennes,

des eaux océaniques, froides, sous-saturées en oxygène dissous, riches en phosphates inorganiques dissous, stationnées, l'été, au large des côtes sud-finistériennes, se rapprochent éventuellement des côtes et, dans des conditions à déterminer, pénètrent plus ou moins profondément dans les estuaires de Belon et de Merrien ; c'est ce qui a eu lieu vers le 10 juillet 1969, peu de temps avant que se déclenche une nouvelle mortalité des huîtres plates.

### III. - Les sols des parcs à huîtres.

Les parcs à huîtres du Belon sont établis de l'aval à l'amont, sur les parties émergentes des deux rives. Il s'agit en grande partie de sols artificiellement créés à la fin du siècle dernier ; les dépressions ont été comblées, les vases souvent enlevées sur plusieurs décimètres et remplacées par

des pierres ou des fagots de bois ; les terrains ont été aplanis et nivelés. Une épaisse couche de « tuffeau » a été répandue qu'on renouvelle en partie chaque année. Ces parcs constituent donc des micro-milieus dont il importe de connaître l'évolution d'autant plus qu'ils supportent une abondante population de lamellibranches et d'organismes divers.

Nos stations furent établies en deux endroits (fig. 20) aux extrémités de la zone ostréicole, la première près de l'embouchure, au lieu-dit Gorgen, la seconde dans la partie amont, à Saint-Léger. Nous disposions là de parcelles d'observation sur lesquelles étaient effectués les prélèvements. Nous en donnerons une description sommaire.

#### **Parcs de l'anse du Gorgen.**

Ils sont situés à 1,60 m environ au-dessus du zéro des cartes marines, entre le chenal et la haute plage. Leur sol est constitué naturellement par du sable fin. Les ostréiculteurs ont aménagé certains

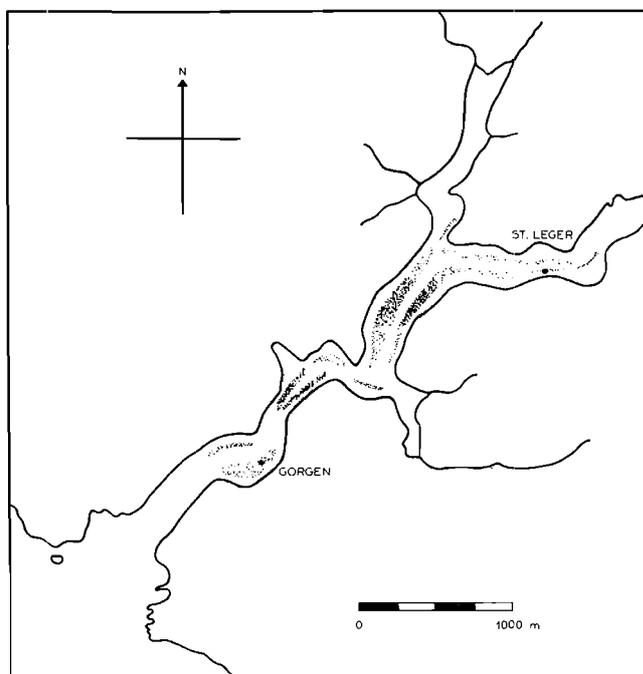


FIG. 20. — Les concessions ostréicoles dans l'estuaire du Belon (pointillé), les deux cercles noirs situent les parcs d'observation.

d'entre eux en y étendant des feuilles souples de polyéthylène, communément appelées « nylon », qu'ils recouvrent d'une couche uniforme d'un mélange de sable et d'une arène granitique grossière ou « tuffeau », épaisse de 5 cm environ. MARTEIL (1962), BRIENNE et MARTEIL (1968) préconisent l'emploi de ce procédé pour affermir les sols et y entraver la prolifération des annélides, *Arenicola marina* LINNE et *Lanice conchilega* PALLAS.

Conventionnellement, nous désignerons sous les appellations de « sol nylon » et « sol naturel » ces deux types de sol de parcs. Notre parc d'observation, en amont de l'anse du Gorgen et en bordure du chenal principal, était situé en partie sur du « sol nylon » et en partie sur du « sol naturel ».

#### **Parcs de Saint-Léger.**

Ils sont situés, rive droite, sur une étroite bande de sol ferme constitué de sable et « tuffeau », en bordure du chenal, à 1,50 m environ au-dessus du zéro des cartes marines. Notre parcelle d'observation se trouvait à l'extrémité amont de la zone des parcs.

### 1° Couleur des sols des parcs.

Elles ont été définies d'après la *Rock Color Chart* sur des échantillons frais et sur d'autres séchés à l'étuve à 110 °C.

A l'état frais, la pellicule superficielle oxydée est classée, aux deux stations, dans la catégorie « olive gray 5 Y 4/1 - light olive gray 5 Y 5/2 ». Son épaisseur peut d'ailleurs varier d'un mois à l'autre au même endroit : 2 à 4 cm en janvier 1969, quelques millimètres en juillet. Plus bas, la couleur est généralement « dark gray N 3 - olive gray 5 Y 4/1 » au Gorgen et « olive gray 5 Y 1/4 » à Saint-Léger. La teinte plus ombre des parcs de la partie aval est sans doute le résultat d'une plus grande intensité des phénomènes de réduction.

A l'état sec, la couleur varie en fonction de l'emplacement et de l'aménagement du sol. Le « sol naturel » est « dusky yellow 5 Y 6/4 - light olive gray 5 Y 5/2 » à Saint-Léger et « light olive gray 5 Y 6/1 » au Gorgen mais sur le « sol nylon » la coloration devient « light olive gray 5 Y 6/1 - grayish orange 10 YR 7/4 ». L'influence du tuffeau (grayish orange 10 YR 7/4 - dark yellowish orange 10 YR 6/6) se retrouve nettement.

### 2° Granulométrie.

#### a) Mode de prélèvement et technique opératoire.

Périodiquement, des échantillons furent prélevés dans les quatre premiers centimètres des sols. Episodiquement, au Gorgen, des carottages furent en outre effectués à l'aide d'un carottier inspiré

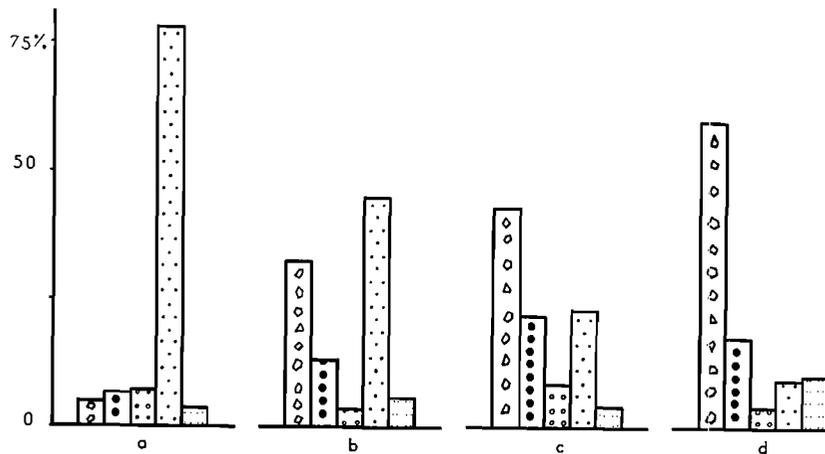


FIG. 21. — Compositions granulométriques des sols ostréicoles comparées à celle d'un échantillon de « tuffeau ». a : Gorgen « sol naturel » ; b : Gorgen « sol nylon » ; c : Saint-Léger ; d : « tuffeau » ; polygones : graviers et granules ; cercles noirs : sable grossier ; cercles blancs : sable moyen ; points noirs : sable fin ; pointillés : poudres.

de celui de BERTHOIS qui, spécialement conçu pour les travaux sur parcs, permet d'obtenir des carottes de 30 à 40 cm dont seuls les vingt premiers centimètres furent étudiés.

Les échantillons récoltés étaient lavés plusieurs fois et les eaux de rinçage filtrées sur un tamis d'ouverture 0,050 mm, puis sur papier-filtre recueillant la phase poudreuse. L'analyse de la fraction du sédiment supérieure à 50  $\mu$  était réalisée par tamisage à sec, à l'aide d'une série de onze tamis dont les ouvertures comprises entre 5 mm et 0,050 mm varient suivant les termes d'une progression géométrique de raison ; celle de la phase poudreuse (grains de diamètres inférieurs ou égaux à 50  $\mu$ ) fut effectuée par densimétrie selon la méthode décrite par MERIAUX (1957).

#### b) Composition granulométrique des sols.

Nous avons défini 5 fractions qui nous ont paru susceptibles de représenter le mieux la répartition granulométrique des sols ostréicoles, en nous inspirant de la classification de BOURCART (1957) et de celle de l'Association internationale de la Science du sol (dans DUCHAUFOUR 1960). Nous

avons, cependant, introduit une classe supplémentaire intermédiaire, les sables moyens. On distingue ainsi les phases suivantes :

	Ø grains (en mm)
graviers et granules	> 2
sables grossiers	2 à 0,5
sables moyens	0,5 à 0,2
sables fins	0,2 à 0,05
poudres	≤ 0,05

On constate que les compositions granulométriques des sols de parcs n'ont pas varié au cours des deux années d'étude ; les pourcentages de particules inférieures ou égales à 50 µ sont notamment restés constants. Les résultats concernant les sols et le « tuffeau » sont représentés (fig. 21 et 22) par des histogrammes de fréquence pondérale.

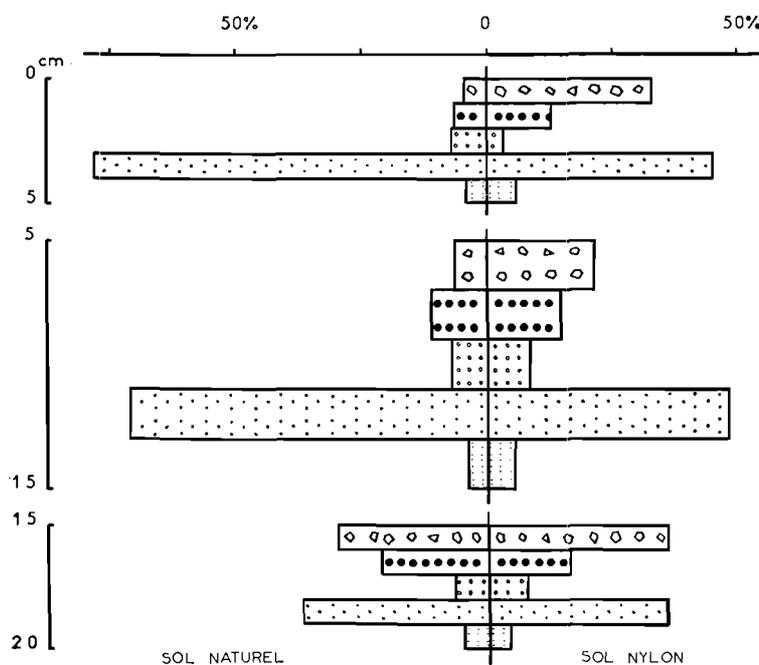


FIG. 22. — Variations des compositions granulométriques des sols ostréicoles du Gorgen (« sol naturel » et « sol nylon »), dans les 20 premiers centimètres. Polygones : graviers et granules ; cercles noirs : sable grossier ; cercles blancs : sable moyen ; points noirs : sable fin ; pointillés : poudres.

Le « tuffeau » est habituellement répandu sur les parcs au moment de la pleine mer, quelque temps avant que les huîtres ne soient semées. Le courant de jusant entraîne alors la plus grande partie du sable fin et des poudres tandis que les particules grossières sont pratiquement les seules à se déposer sur le sol. On obtient ainsi un durcissement des terrains par modification de la composition granulométrique superficielle. Cependant, notre étude ayant débuté deux ans après l'opération d'amendement du « sol naturel », la presque totalité de la phase graveleuse s'était enfouie jusqu'à une profondeur de 15 à 20 cm, laissant réapparaître, en surface, la texture initiale du sol (fig. 22) tandis que sur le « sol nylon », l'écran formé par les feuilles de polyéthylène avait conservé au terrain une texture différente.

Granulométriquement, le « tuffeau » est un sédiment à faciès parabolique. Mal classé ( $Q_{dphi} = 1,34$ ), il comprend une fraction grossière importante ( $P_{10}$  supérieur à 5 mm ;  $M = 3,350$  mm) et 10 % environ de particules égales ou inférieures à 50 µ ( $P_{90} = 0,048$  mm). Le sol « naturel »

lui, a, sur les parcs du Gorgen, un faciès logarithmique. Assez bien classé ( $Q_{dphi} = 0,50$ ) et de médiane égale à 0,130 mm, il rappelle les sables de plage des types 2 et 4 décrits par ailleurs. Le mélange de ces deux sédiments conduit à un sol de composition granulométrique bimodale.

La phase sableuse, malgré la présence d'une quantité appréciable de sable grossier allogène, provenant du « tuffeau », apparaît constituée naturellement par du sable fin ( $M = 0,122$  et  $0,132$  mm), bien classée ( $Q_{dphi} = 0,44$  et  $0,63$ ) au Gorgen tandis qu'à Saint-Léger, plus grossière ( $Q_1 = 1,050$  mm ;  $M = 0,275$  mm) et de classement faible ( $Q_{dphi} = 1,58$ ), elle s'apparente à celle du « tuffeau » ( $M = 0,810$  ;  $Q_{dphi} = 1,58$ ).

Les poudres, dont l'analyse fut conduite jusqu'à la fraction de diamètre égal à  $2 \mu$ , sont mal classées ( $H_e = 0,9$  à  $1,07$ ) et de faciès parabolique. Les valeurs de leurs médianes, comprises entre 16 et 20  $\mu$ , soulignent le fait qu'elles sont surtout de nature quartzreuse et calcaire. Les argiles, au sens pédologique du terme (particules inférieures à  $2 \mu$ ), sont plus abondantes au Gorgen (34 % du poids des poudres) qu'à Saint-Léger où elles ne représentent que 20 % de ce même poids.

### 3° Porosité.

Selon la définition de DUCHAUFOR (1960) « la porosité est le volume des vides du sol exprimé en pourcentage du volume total ». Dans le cas d'un sédiment marin de la zone intercotidale, les interstices existant entre les particules seront, lors de l'émersion de la zone considérée, occupés en partie par l'eau et en partie par l'air. C'est le cas des sols des parcs à huîtres qui assèchent aux basses mers de marée de vive-eau.

Stations	Teneurs en air (en %)	Teneurs en eau (en %)	Porosités totales (en %)
Saint-Léger . . . .	8,5	42,7	51,2
Gorgen « sol nylon » . . . . .	6,8	45,1	51,9
Gorgen « sol naturel » . . . .	4,8	52,7	57,5

TABL. 18. — Teneurs en air, en eau et porosités totales de la couche superficielle des sols des parcs étudiés.

La technique de RULLIER (1959) a été suivie pour prélever les échantillons dans les 4 premiers centimètres du sol et mesurer la porosité. Elle consiste à recueillir, à l'aide d'une pelle spéciale de contenance connue, deux échantillons ; sur l'un, on mesure le volume des vides occupés par l'air, sur l'autre, on évalue, après dessiccation à l'étuve à 110 °C, le poids d'eau que l'on convertit en volume. La porosité, exprimée en % du volume total, est alors égale à la somme des volumes occupés par l'air et par l'eau. Les résultats donnés (tabl. 18) sont des valeurs moyennes obtenues à partir de huit séries de prélèvements et de mesures.

*Teneur en air.* Quand les sols des parcs assèchent, une partie de l'eau interstitielle s'écoule et s'infiltre progressivement, faisant ainsi place à de l'air.

Les teneurs moyennes mesurées aux deux stations montrent que, dans la partie superficielle, les volumes occupés par l'air, au cours de l'émersion, sont faibles et compris entre 4,8 et 8,5 %. Ces valeurs ont été obtenues sur des échantillons récoltés sur des sols émergés depuis trente minutes à une heure ; elles auraient été sensiblement plus élevées si les prélèvements avaient été effectués dans les instants qui précèdent la submersion des parcs. Il est clair cependant que la plus grande partie de l'eau d'imbibition continue, pendant l'émersion, à occuper les interstices des sols en raison notamment de l'extrême faiblesse de leur pente, voisine de 0°, et de leur situation à un niveau relativement bas.

Il apparaît toutefois que la teneur en air d'un sol dépend également de sa texture (tabl. 18) : pour des parcs de pente et de niveau équivalents, les pourcentages d'air sont d'autant plus élevés que les sols sont plus grossiers. Il semble donc possible d'accroître la capacité en air d'un sol en modifiant sa composition granulométrique.

*Teneur en eau.* Les teneurs en eau sont élevées, de 42,7 à 52,7 %, dans la partie superficielle des sols des parcs, au Gorgen et à Saint-Léger. La relation qui les lie aux textures des sols apparaît clairement (tabl. 18) : un sédiment homogène riche en éléments fins, cas du « sol naturel », retient l'eau plus facilement qu'un sédiment hétérogène contenant une fraction grossière importante, cas du « sol nylon » et du parc de Saint-Léger.

En outre, la quantité d'eau susceptible d'être retenue par capillarité dans un sol peut être estimée en mesurant sa capacité de rétention sous tassement libre. Pour les trois sols de parcs étudiés (tabl. 19), les mesures furent effectuées selon la méthode de Kopecki-Siegrist (dans DUCHAUFOR, 1960).

*Porosité totale.* La porosité constitue dans les sols des parcs du Belon la moitié ou plus du volume total. Cependant les interstices sont, pour la plupart, remplis par de l'eau capillaire. On remarque, en effet (tabl. 19), que la porosité capillaire (volume des vides en % du volume total occupés par l'eau capillaire) constitue la plus grande partie de la porosité totale. Le volume des vides susceptibles d'être occupés par l'air, pendant l'émersion, est représenté par la porosité non capillaire qui, avec la capacité en air du sol, traduit sa faculté d'aération par renouvellement fréquent de l'eau d'imbibition non retenue par capillarité. Dans les sols des parcs, l'importance relative des deux types de porosité dépend essentiellement de leurs textures, donc de leur composition granulométrique.

Stations	Porosités totales		Porosité capillaire		Porosité non capillaire	
	volume total	volume total	porosité	volume total	Porosité	
	%	porosité	%	%	%	
Saint-Léger .....	51,2	32,7	63,9	18,5	36,1	
G. « sol nylon » .....	51,9	37,7	72,6	14,2	27,4	
G. « sol naturel » .....	57,5	47,0	81,7	10,5	18,3	

TABL. 19. — Porosités capillaires et porosités non capillaires, dans la couche superficielle des sols de parcs étudiés.

L'eau capillaire n'est pas entièrement stagnante. CALLAME (1960) a mis en évidence l'existence de mouvements de convection entre les eaux surnageantes et les eaux d'imbibition des sédiments marins littoraux. Lorsque celles-ci sont moins denses que celles-là, il y a « pénétration du liquide le plus dense vers le bas et remontée du liquide moins dense vers le haut ». Ce phénomène d'inversion serait d'autant plus rapide que la différence entre les densités des eaux serait plus importante et le sédiment plus perméable. La perméabilité d'un sédiment, exprimée en cm/minute, est la distance verticale qu'y parcourt une colonne d'eau de 1 cm de hauteur et de 1 cm<sup>2</sup> de section. Nous l'avons mesurée d'après BRAJNIKOV et coll. (1943) sur des échantillons de sable du Belon. On obtient :

$$K \text{ sable moyen (0,5 - 0,2 mm) } = 3,40 \text{ cm/mn}$$

$$K \text{ sable fin (0,2 - 0,05 mm) } = 0,45 \text{ cm/mn}$$

valeurs que l'on peut comparer à la perméabilité d'une vase de médiane 16 microns ou  $K = 0,0018 \text{ cm/mn}$  seulement.

Il est donc vraisemblable que les mouvements de convection jouent un rôle non négligeable dans l'aération des sols des parcs du Belon.

En leur absence, notamment en période d'étiage où les écarts de salinité entre les pleines et basses mers sont presque nuls, surtout dans la partie aval de l'estuaire, seuls se produiraient des phénomènes lents de diffusion entre les eaux surnageantes et les eaux d'imbibition. Dans ces conditions, certains sols ostréicoles sont, comme l'attestent les dosages des sulfures, le siège d'importants phénomènes de réduction, en raison de l'importance de leur porosité capillaire. C'est le cas du « sol naturel » à la station du Gorgen.

Un phénomène de ce genre a pu se passer en juillet 1969 où, vers le 10 juillet, pénétra dans le Belon une masse d'eau froide et de salinité élevée donc de forte densité. Des mouvements de convection entre eaux surnageantes et eaux d'imbibition ont probablement favorisé, par endroits, le dégagement de substances toxiques, en particulier de  $\text{SH}_2$ , produites par fermentations anaérobies et dissoutes dans les eaux interstitielles, entraînant l'empoisonnement ou l'asphyxie des huîtres semées sur le sol.

**4° Teneurs en carbonate de calcium.**

Les mesures furent effectuées à l'aide du calcimètre Bernard sur les diverses fractions granulométriques des sols étudiés. Les résultats obtenus (tabl. 20) montrent que le carbonate de calcium se trouve essentiellement sous forme de fins débris organogènes (débris coquilliers, spicules, tests de foraminifères) incorporés aux sables moyens et aux poudres. Il existe en plus, dans le domaine des graviers et des sables grossiers quelques fragments de coquilles, notamment dans le « sol naturel ».

Pour chaque sol, la teneur globale en calcaire dépend :

de la situation des parcs à l'intérieur de l'estuaire, les parcs d'aval étant plus riches en  $\text{CO}_3\text{Ca}$  que ceux d'amont ;

de l'importance relative des différentes fractions granulométriques ;

de l'importance de l'apport de « tuffeau » qui diminue la teneur naturelle.

Stations	G %	Sg %	Sm %	Sf %	p %	Sédiment total %
Saint-Léger	0,8	9,8	19,7	36,5	19,6	13,3
« sol nylon »	1,4	1,8	26,0	44,6	36,6	23,8
« sol naturel »	5,3	30,8	58,8	46,6	33,8	44,0

TABL. 20. — Quantités de carbonate de calcium, au sein des différentes fractions granulométriques (G : graviers et granules ; Sg : sables grossiers ; Sm : sables moyens ; Sf : sables fins ; p : poudres) et dans l'ensemble de la couche superficielle des sols de parcs étudiés.

**5° La matière organique.**

Elle a été évaluée sous forme de carbone organique et d'azote total sur les fractions inférieures ou égales à 0,5 mm des échantillons recueillis dans les quatre premiers centimètres des sols des parcs d'observation de nos deux stations. Le dosage du carbone organique a été effectué par la méthode Anne, celui de l'azote total par la méthode du micro-kjeldahl, avec l'appareil de Parnas et Wagner. Les résultats seront exprimés en pourcentage de poids de sédiment sec.

*Son origine.* La matière organique provient, pour une part, des apports extérieurs tels que plancton, débris végétaux, etc., mais se constitue aussi sur place par la décomposition des algues se développant « in situ », par l'accumulation des fèces d'huîtres, par l'action des bactéries, etc.

PAULMIER rapporte, par ailleurs, les variations saisonnières du plancton de l'estuaire du Belon. Ces organismes, au moment de leur mort, se déposent sur les parcs situés dans des zones de faible turbulence. Peu avancée au moment de leur dépôt, leur décomposition serait accélérée ensuite du fait de la pullulation des bactéries plus grandes dans les sédiments que dans l'eau (WAKSMAN et coll., 1933, dans FRANCIS-BŒUF, 1947).

Les débris végétaux constituent une source appréciable de matière organique à certaines époques. Nous avons noté le 21 janvier 1969 sur les parcs du Gorgen, situés à proximité de deux « plaques » d'herbiers, l'accumulation dans de petites dépressions de fins débris végétaux constitués vraisemblablement de fibres de zostères. GLEMAREC (1964) estimait déjà que, dans la partie orientale du Golfe du Morbihan, la dégradation annuelle des herbiers à zostères était à l'origine des variations saisonnières des taux de matière organique. Avant lui, BOURCART et FRANCIS-BŒUF (1939) avaient observé « dans les sables vaseux de la baie de Morlaix, une matière organique verdâtre » qu'on appela « algon » provenant sans doute des fragments d'algues vertes arrachées au fond (FRANCIS-BŒUF, 1947).

A ces apports extérieurs, s'ajoutent d'autres sources. Sur les parcs du Belon, la macroflore, constituée essentiellement par des chlorophycées, est inégalement répartie. Ayant besoin de supports pour se développer, c'est donc sur les sols les plus riches en graviers qu'elle est la plus abondante. Les ulves et les entéromorphes se trouveront en grande quantité sur les sols amendés par des apports de « tuffeau » ; elles seront rares sur les « sols naturels », homogènes et à texture fine, et toujours fixées sur des coquilles d'huîtres. Leur décomposition se produit l'été quand les températures sont maximales.

Les fèces d'huîtres peuvent être la cause d'une pollution organique des sols. ITO et IMAI (1955) ont établi qu'il existait une relation entre la diminution du rendement de certains secteurs affectés à la culture en suspension de *C. gigas* et ladite pollution. Ils estimèrent que les huîtres suspendues sous un seul radeau supportant de 60 000 à 100 000 mollusques rejetaient entre 0,6 et 1 tonne de poids sec de fèces par an.

En ce qui concerne le Belon, nous avons recueilli en moyenne 2 mg de fèces par huître parquée au Gorgen, de novembre 1968 à mars 1969 ; on notait une valeur minimale de 0,4 mg en décembre, les rectums étant vides, et une valeur maximale de 3,7 au début du printemps alors que l'index de condition atteignait 49,9. Si l'on admet avec RAIMBAULT (1966) que l'huître est active en moyenne pendant 80 % du temps et en supposant, par analogie avec *C. virginica* (GALTSOFF, 1964) que la durée de passage de la nourriture à travers le tractus digestif est d'environ 2 heures, la quantité de fèces rejetée par une huître en 24 heures serait de 18 mg. Sur un parc de 25 ares, où les mollusques sont répartis à raison de 100 au mètre carré, le poids des fèces serait voisin de 4,5 kg par jour ou de 135 kg par mois. Les huîtres restant sur les parcs du Belon entre 6 et 7 mois, c'est à 800 ou 900 kg que se monterait le poids sec des matières rejetées. Il s'agit là de quantités vraisemblablement minimales puisqu'elles sont établies sur les mesures effectuées en hiver, période où le taux de filtration est faible. On peut dès lors évaluer l'apport de matière organique qui en résulte, sachant que les fèces contenaient 3,24 % d'azote et pas de carbone en novembre 1968 mais 2,33 % d'azote et 2,50 % de carbone organique en mars 1969.

Dans les zones soumises à l'action des courants, les fèces sont probablement, comme le pense GALTSOFF (1964), désintégrées par action mécanique et décomposées rapidement. En revanche, dans les zones de calme relatif où sont établis les parcs sur lesquels les huîtres elles-mêmes font obstacle aux courants, elles tendent à s'accumuler et à s'incorporer aux sols. En définitive, les huîtres contribuent à l'enrichissement du substrat en matière organique, notamment en substances azotées.

Les bactéries enfin, en proliférant, sont une importante source de matière organique. Selon ZO BELL (cité par PÉRÈS, 1961), la biomasse bactérienne serait de 0,3 à 2 mg par gramme de vase humide. D'après BORDOVSKIY (1965), dans le premier centimètre des sédiments des mers intérieures, elle atteindrait 5 g par m<sup>2</sup> dans la mer de Béring (ISACHENKO, 1949), entre 2 et 50 g par m<sup>2</sup> dans la mer Caspienne (ZHUKOVA) et de 15 à 30 g par m<sup>2</sup> dans la zone à SH<sub>2</sub> de la mer Noire (KRIS, 1959). On trouvera, dans l'étude de GRAS, les fluctuations de la population microbienne au Belon.

#### a) Variations saisonnières.

Les teneurs en carbone organique et en azote total ont subi de larges fluctuations au cours de notre étude (tabl. 21, fig. 23). Bien que moins nombreuses, les observations faites à Saint-Léger permettent cependant d'établir une comparaison entre les parcs d'aval et ceux d'amont.

*Carbone organique.* La moyenne des teneurs, calculée sur l'ensemble des résultats, est de 0,79 % du poids sec de sédiment à Saint-Léger, de 0,52 % sur le « sol nylon » et de 0,41 % sur le « sol naturel » au Gorgen. Pour un coefficient de sécurité de 95 %, les différences entre ces moyennes sont déjà significatives.

En fait, les variations furent deux fois plus importantes au Gorgen qu'à Saint-Léger du 15 mai 1968 au 16 avril 1969 :

	maximum	minimum	écart
« sol naturel »	0,72 (21/1/69)	0,14 (23/10/68)	0,58 %
« sol nylon »	0,82 ( d° )	0,30 ( d° )	0,52 %
Saint-Léger	0,89 ( 9/8/68)	0,61 (20/ 3/69)	0,28 %

On notait encore une relation entre la texture des sols et leurs teneurs maximales ou minimales

en carbone organique. Les maxima, en effet, augmentaient sensiblement avec l'hétérogénéité et la grossièreté des sédiments ; l'incorporation de la matière organique pouvant être facilitée par l'existence entre les particules minérales d'interstices et diamètres élevés. En revanche, les minima étaient d'autant plus accentués que les sols étaient plus homogènes et contenaient davantage d'éléments fins.

Alors que les variations des teneurs en carbone organique des terrains du Gorgen et de Saint-Léger ne sont pas synchrones, celles du « sol naturel » et du « sol nylon » sont rigoureusement parallèles (fig. 23). Ce fait souligne l'incidence de la situation du parc (aval ou amont) et confirme, en outre, le caractère saisonnier des fluctuations. Ainsi, au Gorgen, les teneurs maximales de juin et de novembre 1968 semblent correspondre à des poussées phytoplanctoniques mises en évidence par PAULMIER (cf infra) tandis que le maximum de janvier 1969 semble être lié à l'accumulation, déjà

Dates de prélèvement	Gorgen « sol naturel »			Gorgen « sol nylon »			Saint-Léger		
	C %	N %	C/N	C %	N %	C/N	C %	N %	C/N
14 et 15-V-68	0,23	0,049	4,6	0,44	0,093	4,7	0,70	0,094	7,4
12 et 13-VI-68	0,53	0,045	11,7	0,80	0,089	9,0	0,77	0,072	10,7
10 et 11-VII-68	0,50	0,070	7,1	0,73	0,093	7,8	0,80	0,093	8,6
8 et 9-VIII-68	0,37	0,042	8,9	0,52	0,064	8,0	0,89	0,101	8,9
24 et 25-IX-68	0,29	0,061	4,8	0,42	0,075	5,7	0,87	0,105	8,3
22 et 23-X-68	0,14	0,052	2,7	0,30	0,040	7,6	0,66	0,048	13,8
20 et 21-XI-68	0,55	0,051	10,9	0,82	0,077	10,7	0,87	0,070	12,4
20-XII-68	0,48	0,048	10,1	0,54	0,053	10,2			
21-I-69	0,72	0,056	12,9	0,67	0,055	12,2			
19-II-69	0,42	0,040	10,5	0,55	0,059	9,3			
20 et 21-III-69	0,39	0,059	6,7	0,53	0,073	7,2	0,61	0,092	6,6
16-IV-69	0,39	0,064	6,1	0,44	0,081	5,5			
1-VII-69	0,40	0,057	7,0	0,57	0,096	5,9			
29-VII-69	0,43	0,086	5,0	0,48	0,076	6,3			
27-VIII-69	0,31	0,073	4,2	0,33	0,066	5,0			
25-IX-69	0,24	0,048	5,0	0,28	0,044	6,5			
10-XII-69	0,58	0,028	20,6	0,45	0,019	23,5			
10-II-70	0,35	0,039	8,9	0,53	0,057	9,3			

TABLE. 21. — Variations de la matière organique dans la couche superficielle des sols des parcs étudiés.

signalée, de fibres végétales dans la partie aval. Les valeurs minimales, quant à elles, seraient le résultat de la minéralisation de la matière organique accumulée, comme tend à le démontrer l'étude de GRAS, publiée plus loin.

Enfin, lors de la mortalité survenue dans l'été 1969, les teneurs en carbone organique furent nettement plus faibles qu'en 1968, soit 0,46 % et 0,38 % respectivement sur « sol nylon » et « sol naturel » contre 0,68 % et 0,47 % l'année précédente. Cependant, la pénétration dans l'estuaire, vers le 10 juillet 1969, d'une masse d'eau froide avait provoqué une importante mortalité de la biomasse planctonique (PAULMIER); une grande partie des organismes morts se déposa vraisemblablement sur le sol, le phénomène ayant eu lieu en période mortes-eaux où la vitesse des courants de marée est faible. Dans ces conditions, doit-on admettre que la dégradation de la matière organique accumulée y fut particulièrement rapide et intense ?

*Azote total.* Les teneurs relevées par nous en 1968 et 1969 ont largement varié, ce qui contredit les observations faites par HINARD (1923) dans d'autres conditions.

Les plus fortes moyennes en azote total ont correspondu aux plus fortes teneurs moyennes en carbone organique. Elles atteignirent 0,084 % à Saint-Léger, 0,067 % sur le « sol nylon » et 0,054 %

sur le « sol naturel ». Pour un coefficient de sécurité de 95 %, la différence entre les teneurs moyennes de Saint-Léger et du « sol nylon » n'était pas significative mais ces deux moyennes différaient, cependant, chacune significativement de celle du « sol naturel ».

Toutefois, si les deux paramètres, carbone organique et azote total, ont généralement varié dans le même sens, les coefficients de corrélation C-N étant de + 0,59 sur « sol naturel », de + 0,44 sur « sol nylon » et de + 0,43 à Saint-Léger, aux maxima de l'un n'ont pas toujours correspondu ceux de l'autre, et inversement.

Si, comme nous l'avons fait pour le carbone organique, nous comparons les résultats obtenus aux trois stations pendant une année complète d'observations (15 mai 1968 - 16 avril 1969), nous relevons les écarts suivants :

	maximum	minimum	écart
« sol naturel »	0,070 (11/7/68)	0,040 (19/ 2/69)	0,030 %
« sol nylon »	0,093 ( d° )	0,040 (23/10/68)	0,053 %
Saint-Léger	0,105 (24/9/68)	0,048 (22/10/68)	0,057 %

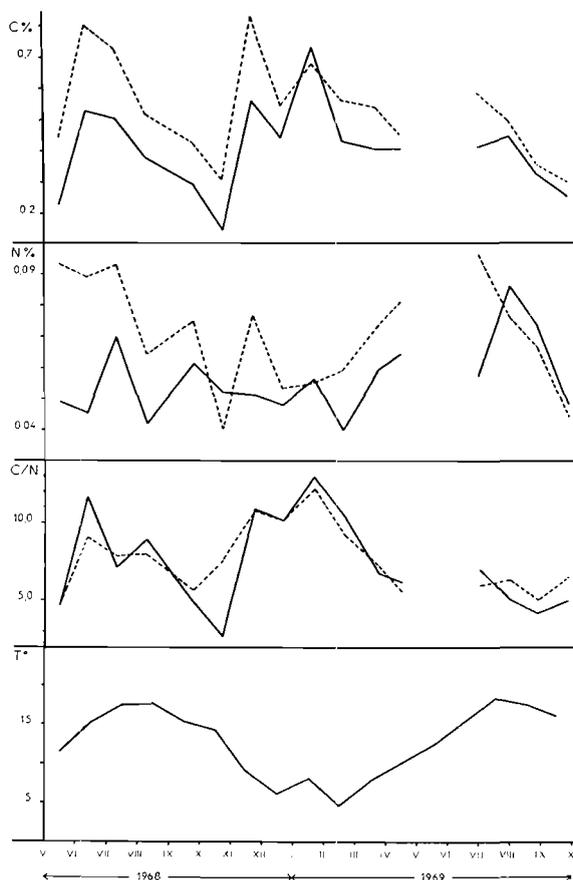


FIG. 23. — Variations saisonnières, dans la couche superficielle des sols ostréicoles du Gorgen, des teneurs en carbone organique (C %) et en azote total (N %) et des valeurs du rapport C/N. « Sol naturel » (trait plein) ; « sol nylon » (tireté). Correspondance des variations de ces trois paramètres avec celles de la température (moyennes mensuelles des températures atmosphériques).

pondante de 1968 sur le « sol naturel » (0,072 % contre 0,052 %) tandis qu'elle était du même ordre sur le « sol nylon » (0,083 % contre 0,082 %). Cette augmentation du taux d'azote total dans le seul « sol naturel » pourrait être liée à la prolifération bactérienne observée par GRAS, à la même époque.

Les teneurs maximales progressèrent donc dans le même ordre que celles du carbone organique, la plus élevée étant observée à Saint-Léger, la plus basse sur le « sol naturel ». Les valeurs minimales, par contre, furent comparables sur les trois parcs. En définitive, l'azote total varia dans un intervalle beaucoup plus étroit sur le « sol naturel » que sur le « sol nylon » et à Saint-Léger où l'amplitude de variation fut sensiblement la même. Ainsi, ces deux parcs, bien que différemment situés dans l'estuaire, présentent une certaine ressemblance, peut-être en raison de la texture voisine de leurs sols.

La représentation graphique des variations de l'azote total dans les sols du Gorgen conduit à deux courbes en « dents de scie » (fig. 23) qui sont moins strictement parallèles que celles des fluctuations du carbone organique. Les maxima et minima sont difficilement interprétables ce qui s'explique par le fait qu'à la matière organique détritique s'accumulant normalement sur les sols s'ajoute, en quantités parfois appréciables, de la matière vivante bactérienne. Selon FEDOROV, 1969 (dans BORDOVSKIY, 1965), les bactéries contiendraient 50,4 % de carbone et 12,3 % d'azote, donnant un rapport C/N égal à 4,1. A cause de la pauvreté relative des sédiments en azote, ces micro-organismes seraient susceptibles de faire varier, sensiblement, en fonction de leur cycle de développement, les teneurs des sols en cet élément alors qu'ils modifieraient à peine les teneurs en carbone organique.

Si l'on considère, enfin, l'évolution de l'azote pendant la mortalité estivale de 1969, on constate que la teneur moyenne fut, pendant cette période, supérieure de 30 % à celle de la période corres-

**Rapport C/N.** Troisième paramètre caractérisant la matière organique des sols, le rapport C/N s'établit à une valeur moyenne, calculée sur l'ensemble des mesures effectuées, de 9,6 à Saint-Léger, 8,6 sur le « sol nylon », 8,2 sur le « sol naturel ». Toutefois, des écarts importants ont été relevés entre teneurs maximales et minimales tout au long d'une année s'étendant de mai 1968 à avril 1969 :

	maximum	minimum	écart
« sol naturel »	12,9 (21/ 1/69)	2,7 (23/10/68)	10,2 %
« sol nylon »	12,2 ( d° )	4,7 (14/ 5/68)	7,4 %
Saint-Léger	13,8 (22/10/68)	6,6 (20/ 3/69)	7,2 %

Si les valeurs maximales furent comparables, les teneurs minimales furent, en revanche, d'autant plus accentuées que les sédiments considérés étaient plus fins. C'est, en effet, sur le « sol naturel » que le rapport C/N atteignit, avec 2,7, sa valeur la plus faible. Sur les sédiments de Saint-Léger et du « sol nylon », très proches par leurs compositions granulométriques, les écarts furent très voisins et nettement inférieurs à celui du « sol naturel ». L'influence de la texture du sol sur l'ampleur des variations du rapport C/N paraît donc évidente.

Les valeurs du rapport C/N, si elles traduisent l'origine de la matière organique, peuvent aussi caractériser son degré d'évolution. Sur les parcs du Gorgen (fig. 23), par exemple, les maxima relevés, où C/N est supérieur à 10, liés aux fortes teneurs des sols en carbone organique, correspondraient

	Gorgen « sol naturel »	Gorgen « sol nylon »	Saint- Léger
Carbone organique	— 0,36	— 0,17	+ 0,21
Azote total	+ 0,56	+ 0,39	+ 0,26
Rapport C/N	— 0,56	0,53	— 0,05

comme elles à des apports récents de matière organique essentiellement végétale tandis que les minima, où C/N est inférieur à 6, seraient la conséquence d'une minéralisation intense à la suite d'une recrudescence de l'activité bactérienne.

Au temps de la mortalité estivale de 1969, enfin, les valeurs du rapport C/N furent, dans les sols du Gorgen, beaucoup plus faibles que celles qui avaient été relevées en 1968, allant d'une moyenne de 5,4 sur le « sol naturel » à 5,7 sur le « sol nylon » en 1969 contre 9,2 et 8,3 en 1968. C'était là, sans doute, le résultat de l'intense minéralisation de la matière organique accumulée à la suite de la pénétration, dans l'estuaire, des eaux froides.

TABLE. 22. — Corrélation existant entre les variations de la température atmosphérique et celles des paramètres caractérisant la matière organique.

### b) Influence de la température.

La température étant l'un des principaux facteurs modifiant l'activité biologique, nous avons étudié la corrélation existant entre ses variations et celles des trois paramètres caractérisant la matière organique des sols, carbone organique, azote total, rapport C/N.

Les mesures de la température de l'eau ne furent exécutées qu'à l'occasion des récoltes d'échantillons en vue de l'étude hydrologique. Toutefois, comme l'a signalé MARTEIL (1960), les variations moyennes des températures de l'eau, dans les estuaires bretons, suivent assez étroitement celles des températures atmosphériques qui peuvent donc servir de références. Nous avons utilisé, pour notre travail, les moyennes mensuelles des températures relevées par la station météorologique de Lann-Bihoué, station la plus proche du Belon.

Le refroidissement des eaux constaté dans ce secteur vers le 10 juillet 1969 (cf étude hydrologique) ne dura que peu de temps puisque dès la fin du mois de juillet, les températures étaient à nouveau comprises entre 18 et 19°. De ce fait, la moyenne ne fut abaissée que très légèrement.

Parmi les coefficients de corrélation, calculés à chaque station pour les trois couples de paramètres (tabl. 22), seuls sont significativement différents de 0, pour un coefficient de sécurité de 95 %, ceux qui sont supérieurs, en valeur absolue, à 0,47 pour le Gorgen (18 couples de variables) et à 0,71 pour Saint-Léger (8 couples de variables). Il apparaît ainsi qu'il existe au Gorgen une relation entre les variations de la température et celles du rapport C/N : la minéralisation rapide de la matière organique que traduit la chute du rapport C/N aurait pour origine la prolifération de bactéries provoquée, dans les sols, par des températures élevées.

**c) Distribution verticale de la matière organique dans les sols des parcs (Gorgen).**

Deux séries de carottages effectuées le 1<sup>er</sup> juillet et le 25 septembre 1969, tant sur le « sol naturel » que sur le « sol nylon » permirent de préciser la distribution de la matière organique sur un plan vertical. Le carbone organique et l'azote total furent dosés à chacun des quatre niveaux suivants :

Stations	Niveaux en cm	C %	N %	C/N
« sol naturel »	0-5	0,32	0,053	6,0
	5-10	0,34	0,055	6,1
	10-15	0,43	0,053	8,1
	15-20	0,47	0,052	9,0
« sol nylon »	0-5	0,43	0,070	6,1
	5-10	0,47	0,072	6,5
	10-15	0,42	0,061	7,0
	15-20	0,42	0,050	8,3

- niveau 1 : entre 0 et 5 cm
- 2 : entre 5 et 10 cm
- 3 : entre 10 et 15 cm
- 4 : entre 15 et 20 cm

Les résultats obtenus (tabl. 23) peuvent être ainsi résumés :

la teneur en carbone organique augmente avec la profondeur sur le « sol naturel » tandis qu'elle diminue, du niveau 2 au niveau 4, sous la feuille de polyéthylène posée entre les niveaux 1 et 2 (« sol nylon »);

la teneur en azote total est sensiblement la même dans les vingt premiers centimètres du « sol naturel » alors qu'elle diminue avec la profondeur, sur le « sol nylon »;

le rapport C/N augmente régulièrement de la surface vers le niveau 4 sur les deux sols malgré la différence de distribution du carbone organique et de l'azote total dans les vingt premiers centimètres.

**6° Les sulfures dans les sols des parcs du Gorgen.**

Les teneurs en sulfures furent mesurées sur des échantillons prélevés à partir du 1<sup>er</sup> juillet 1969 dans quatre premiers centimètres. Les dosages étaient effectués généralement dès le retour au labo-

Dates	Soufre des sulfures en mg/kg de sédiments frais	
	« sol naturel »	« sol nylon »
1 <sup>er</sup> juillet 1969 .....	79,6	40,0
29 juillet 1969 .....	216,0	76,0
27 août 1969 .....	216,0	80,0
25 septembre 1969 .....	136,0	36,0
10 décembre 1969 .....	96,0	32,0

TABL. 24. — Variations saisonnières des sulfures dans la couche superficielle des sols des parcs du Gorgen.

ratoire sur une prise de 20 g de sédiment frais ; lorsque l'analyse devait être différée, l'échantillon était conservé à -20 °C. Les composés soufrés, réduits, libèrent, par acidification et chauffage, de l'hydrogène sulfuré. On fixe ce dernier sous forme de sulfure de zinc qu'on traite par l'acide chlorhydrique. SH<sub>2</sub>, alors libéré, est oxydé par une solution d'iode. On dose l'iode en excès à l'aide d'une solution de thiosulfate. La teneur en sulfures est exprimée en mg de soufre des sulfures par kilogramme de sédiments frais (tabl. 24).

**a) Variations saisonnières.**

Le « sol naturel » est beaucoup plus riche en sulfures que le « sol nylon » du fait de sa plus grande porosité capillaire. Au début de juillet, les teneurs étaient respectivement de 79,6 et 40,0 mg/kg ; aussitôt après, elles augmentaient rapidement, particulièrement sur le « sol naturel » où

	« sol naturel »	« sol nylon »
Température	+ 0,64	+ 0,67
Carbone organique.	- 0,18	- 0,12
Azote total . . . . .	+ 0,81	+ 0,44
Rapport C/N . . . . .	- 0,56	- 0,53

elles atteignaient, entre le 29 juillet et le 27 août, 216,0 mg/kg contre 76,0 à 80,0 mg/kg sur le « sol nylon ». Sur celui-ci, le 25 septembre, les valeurs mesurées étaient redevenues proches de celles du 1<sup>er</sup> juillet alors qu'ailleurs, elles commençaient seulement à baisser pour être encore, le 10 décembre, de 20 % plus élevées qu'elles ne l'étaient le 1<sup>er</sup> juillet.

Les variations des teneurs des sols en sulfures ont paru liées à celles de la température et des différents paramètres caractérisant la matière organique. Les coefficients de corrélation trouvés (tabl. 25), bien qu'inférieurs au seuil de signification de 0,88 (pour une sécurité de 95 % et 5 couples de variables), permettent toutefois d'esquisser une interprétation et de définir certaines tendances. Les teneurs en sulfures semblent augmenter avec la température et présenter une relation

Tabl. 25. — Corrélations existant, dans les sols des parcs du Gorgen, entre les variations des teneurs en sulfures et celles de la température, du carbone organique, de l'azote total et du rapport C/N.

avec la dégradation de la matière organique que manifestent la diminution des teneurs en carbone organique, l'augmentation des teneurs en azote total et la diminution des valeurs du rapport C/N. C'est ainsi qu'au début de l'été 1969 l'augmentation spectaculaire des taux de sulfures dans les sols du Gorgen a coïncidé avec l'existence de températures élevées dont la moyenne des maxima était de 23,1 °C tandis que le maximum absolu atteignait 29,5 °C et qu'une large part des sulfures produits semblait être le résultat de la minéralisation anaérobie de la matière organique.

**b) Distribution verticale des sulfures.**

Trois séries de carottes furent prélevées sur les « sols nylon et naturel », les 1<sup>er</sup> juillet, 25 septembre et 10 décembre, les dosages étant effectués aux quatre niveaux précédemment définis (fig. 24).

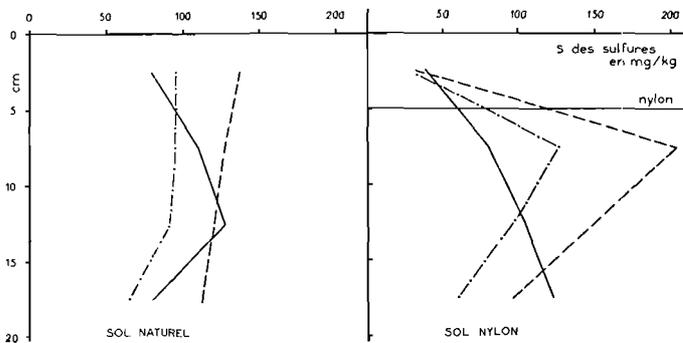


FIG. 24. — Distributions verticales des sulfures, dans les 20 premiers centimètres des sols ostréicoles du Gorgen. Trait plein : le 1<sup>er</sup> juillet 1969 ; tireté : le 25 septembre 1969 ; point-tiret : le 10 décembre 1969.

Les teneurs en sulfures des niveaux sous-jacents présentent, comme en surface, des variations de caractère saisonnier. Le 1<sup>er</sup> juillet, dans le « sol naturel », les sulfures augmentaient de la surface (79,6 mg/kg) jusqu'au niveau 3 (127,2 mg/kg), le gradient s'inversant ensuite au niveau 4 dont la composition granulométrique, plus grossière, rappelle celle du « sol nylon » où les sulfures augmen-

taient de la surface (40,0 mg/kg) jusqu'au niveau 4 (123,8 mg/kg). Bien que les teneurs fussent plus élevées en septembre qu'en décembre, les courbes de distribution évoluaient de façon parallèle à ces deux dates, les sulfures diminuant régulièrement du niveau 1 au niveau 4 dans le « sol naturel » tandis que dans le « sol nylon », les teneurs passaient par un maximum au niveau 2, isolé de la surface par les feuilles de polyéthylène.

### **Discussion et conclusion.**

Dans l'estuaire du Belon, les sols des parcs à huîtres sont habituellement durcis par des dépôts d'arène granitique, communément appelée « tuffeau ». On y étale aussi parfois des feuilles de polyéthylène, dénommées « nylon », qu'on recouvre ensuite du tuffeau ; ces feuilles conservent au sol la texture appropriée en même temps qu'elles constituent un barrage efficace contre l'action perturbatrice des annélides tubicoles, arénicoles et lanices. Toutefois, elles ralentissent les phénomènes d'oxydation dans le niveau qui leur est immédiatement sous-jacent.

De la texture d'un sol dépend l'importance relative des deux types de porosité, non capillaire et capillaire. Les valeurs élevées que présente celle-ci au sein des deux sols du Gorgen traduisent leur état de « confinement ».

Quand elle est facilitée et accélérée par des températures ambiantes élevées (« crochet thermique »), la destruction de la matière organique des sols, dans des conditions essentiellement anaérobies, conduit à une abondante formation de sulfures auxquels seraient associés des gaz, dissous dans les eaux d'imbibition, tels que  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SH}_2$ . Ces gaz et peut-être d'autres substances toxiques seraient susceptibles de se dégager dans la zone de contact eau-sédiment à la faveur des mouvements de convection se produisant entre eaux interstitielles et eaux surnageantes, à la suite de la pénétration des eaux froides dans l'estuaire.

En ce qui concerne particulièrement  $\text{SH}_2$ , deux cas sont à envisager : ou les eaux de fond contiennent suffisamment d'oxygène et  $\text{SH}_2$ , libéré, est entièrement oxydé, ou le contenu des eaux surnageantes en oxygène dissous est insuffisant (or les eaux froides sont sous-saturées en  $\text{O}_2$ ) et la partie de  $\text{SH}_2$ , non oxydée, détermine momentanément à la surface des parcs, un milieu anaérobie peu propice à la survie des huîtres.

Il paraît possible de limiter la formation des sulfures et des autres produits de fermentation anaérobie dans les sols des parcs à huîtres. On peut :

modifier la texture du sol par des apports ou des aménagements divers de façon à augmenter la porosité non capillaire et donc la faculté d'aération par circulation libre d'une grande partie de l'eau interstitielle ;

empêcher le développement et par la suite la décomposition des diverses chlorophycées, notamment des ulves et des entéromorphes, en semant sur les parcs des *Littorina littorea* L. qui les brouteront ;

faciliter par des hersages, aussi fréquents que possible, l'oxydation de la couche superficielle des sols.

### **Conclusion.**

L'étude des conditions physico-chimiques du Belon a permis de mettre en évidence un certain nombre de faits dont la conjonction peut, à un moment donné, rendre le milieu défavorable à la survie des huîtres qui y sont élevées.

Au plan morphologique, l'existence, dans le lit de l'estuaire, d'une barre sableuse et de fosses perturbe le renouvellement des eaux notamment lorsque le courant de jusant est faible, en période de mortes-eaux et d'étiage.

Au plan hydrologique, des eaux océaniques, nettement caractérisées, stationnées l'été au large de l'estuaire, remontent les vallées sous-marines conduisant au Belon et Merrien et, pour des raisons à déterminer, y pénètrent plus ou moins profondément, selon les années. Etant donné leur densité supérieure à celle des eaux estuariennes, ces eaux océaniques provoquent des courants de convection notamment au niveau de la zone de contact eau-sédiment.

Au plan pédologique, la destruction de la matière organique dans la couche superficielle des sols des parcs à huîtres, pendant l'été, dans des conditions anaérobies, conduit à la formation de sulfures

dont l'abondance est d'autant plus grande que la texture du sol est plus fine. Y sont associés des gaz dissous dans les eaux d'imbibition, notamment H<sub>2</sub>S. Lorsque la perméabilité des sols est suffisamment élevée, la remontée des eaux interstitielles et des substances qu'elles contiennent peut être provoquée par les mouvements de convection jusqu'à la zone de contact eau-sédiment. Suivant la teneur en oxygène dissous des eaux sus-jacentes, l'hydrogène sulfuré libéré peut être oxydé et détruit ou, au contraire, créer à la surface des sols un milieu anaérobie peu favorable à la survie des huîtres.

#### BIBLIOGRAPHIE

- Institut géographique national. — Carte n° 3-4 « Concarneau », éch. 1/25 000°  
Service de la carte géologique détaillée de France. — Feuille Lorient n° 88, éch. 1/80 000°  
Service hydrographique de la Marine. — Carte 5479, éch. 1/46 160°
- AMOUREUX (L.), 1961. — Quelques observations de base concernant les méthodes granulométriques. — *Comm. int. Explor. sci. Mer Médit.*, **16** (3), p. 705-710.
- BADER (R.G.), 1955. — Carbon and nitrogen relations in surface and subsurface marine sediments. — *Geochim. et Cosmochim. acta*, **7**, p. 205-211.
- BERTHOIS (L.), 1955. — Contribution à l'étude de la sédimentation et de la géologie sous-marine dans le golfe de Gascogne. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **19** (4), p. 501-579.
- 1957. — Recherches sur les sédiments de la mer du Nord et de la mer d'Irlande. — *Ibid.*, **21** (4), p. 485-554.
- BERTHOIS (L.) et AUBERT (M.), 1950. — Nouvelle méthode d'étude des sables marins. — *C.R. Acad. Sci.*, **230**, p. 1304-1306.
- BERTHOIS (L.) et BERTHOIS (C.), 1954. — Etude de la sédimentation dans l'estuaire de la Rance. — *Bull. Lab. marit. Dinard*, **40**, p. 4-15.
- 1955. — Etude de la sédimentation dans l'estuaire de la Rance. — *Ibid.*, **41**, p. 3-18.
- 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), p. 467-499.
- BERTHOIS (L.) et LE CALVEZ (Y.), 1959. — Deuxième contribution à l'étude la sédimentation dans le Golfe de Gascogne. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **23** (3), p. 323-377.
- BLANC (J.J.), 1955-56. — Etudes géologiques et sédimentologiques sur l'îlot du Grand Conglué (région de Marseille). — *Ann. Inst. océanogr.*, **31** (3-4) - **32**.
- BORDOVSKIY (O.K.), 1965. — Accumulation and transformation of organic substances in marine sediments. — *J. mar. geol.*, **3** (162), p. 3-114.
- BOUCHET (J.M.), 1962. — Etude préliminaire des conditions physiques et sédimentologiques d'un chenal du bassin d'Arcachon (chenal du Courbey). — *Bull. Inst. océanogr., Monaco*, n° 1233, 19 p.
- BOURCART (J.), 1955. — Etude des échantillons récoltés en juillet-août 1946 par le « Président Théodore-Tissier ». — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **19** (4), p. 447-464.
- BOUYASSE (P.), et VANNEY (J.R.), 1966. — La baie de la Vilaine. Etude sédimentologique et morphologique. — *Cah. Océanogr.*, n° 4.
- BRAJNIKOV (B.), FRANCIS-BŒUF (C.) et ROMANOVSKY (V.), 1943. — Techniques d'étude des sédiments et des eaux qui leur sont associées. — Hermann et Cie, Paris, 110 p.
- BRIENNE (H.) et MARTEIL (L.), 1968. — L'Arénicole (*Arenicola marina* LINNE). — *Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches marit.*, n° 173, p. 1-7.
- CAILLEUX (A.) et TRICART (J.), 1959. — Initiation à l'étude des sables et des galets. — *C.D.U.*, Paris, **1**, 369 p. ; **2**, 194 p. ; **3**, 202 p.
- CALLAME (B.), 1960. — Etude sur la diffusion des sels entre les eaux surnageantes et les eaux d'imbibition dans les sédiments marins littoraux. — *Bull. Inst. océanogr., Monaco*, n° 1181, 19 p.
- COLLIN (L.), 1935. — Vallées sous-marines du sud du Finistère. — *Bull. Soc. océanogr. France*, n° 84, p. 1467-1472 ; n° 85, p. 1482-1486.
- COTTON DE BENNETOT (M.), GUILCHER (A.) et SAINT-REQUIER (A.), 1965. — Morphologie et sédimentologie de l'Aber Benoît (Finistère). — *C.O.E.C.*, n° 6, p. 377-387.
- DELTRÉIL (J.P.), 1969. — Observations sur les sols ostréicoles du bassin d'Arcachon. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **33** (3), p. 343-349.
- DUCHAUFOUR (P.), 1960. — Précis de Pédologie. — Paris, Masson et Cie, 348 p.
- DUFFIEUX (M.) et BERTHOIS (L.), 1939. — Contribution à l'étude des sables de plage de St-Quay-Portrieux. — *Bull. Soc. sci. Bretagne*, **16** (2), 18 p.
- ELHAI (H.), 1958. — Morphologie littorale : un havre de la côte ouest du Cotentin. — *Bull. Assoc. Géogr. franç.*, n° 284-285, p. 2-19.

- FAURE (L.), 1959. — Variations de la température et de la salinité de l'eau de mer aux environs de Roscoff. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **23** (1), p. 153-160.
- FRANCIS-BCEUF (C.), 1947. — Recherches sur le milieu fluvio-marin et les dépôts d'estuaire. — *Ann. Inst. océanogr.*, **23**, p. 149-344.
- GALTSOFF (P.S.), 1964. — The american oyster, *Crassostrea virginica* GMELIN. — *Fish. Bull.*, **64**, p. 1-480.
- GLANGEAUD (L.), 1941. — Evolution morphologique et dynamique des estuaires. — *Bull. Assoc. Géogr. franç.*, n° 140-141, p. 95-103.
- GLEMAREC (M.), 1964. — Bionomie benthique de la partie orientale du Golfe du Morbihan. — *Cah. Biol. mar.*, **5**, p. 33-96.
- GUERIN-CANIVET (J.), 1910. — Notes préliminaires sur les gisements de mollusques comestibles des côtes de France. La côte méridionale de la Bretagne comprise entre le plateau de Kerpape et la pointe de Trévignon. — *Bull. Inst. océanogr.*, n° 178, 11 p.
- HERMAN (A.), 1935. — Rapport sur la reproduction des huîtres indigènes dans le Morbihan et le Finistère en 1934. — *Rev. Trav. Off. Pêches marit.*, **8** (1), p. 70-78.
- 1936. — Rapport sur la reproduction des huîtres indigènes dans le Morbihan et le Finistère en 1935. — *Ibid.*, **9** (1), p. 77-82.
- 1937. — La reproduction des huîtres indigènes dans le Morbihan et le Finistère en 1936. — *Ibid.*, **10** (1), p. 60-66.
- 1938. — La reproduction des huîtres indigènes dans le Morbihan et le Finistère en 1937. — *Ibid.*, **11** (2), p. 189-195.
- 1938. — La reproduction des huîtres indigènes dans le Morbihan et le Finistère en 1938. — *Ibid.*, **11** (4), p. 477-485.
- HINARD (G.), 1923. — Les fonds ostréicoles de la Seudre et du Belon. — *Notes et Mém., Off. Pêches marit.*, n° 31, 27 p.
- ITO (S.) et IMAI (T.), 1955. — Ecology of oyster bed. I — On the decline of productivity due to repeated cultures. — *Tohoku J. agric. Res.*, **5** (4), p. 251-268.
- KURC (G.), 1961. — Foraminifères et ostracodes de l'étang de Thau. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **25** (2), p. 133-247.
- LAMOTTE (M.), 1967. — Initiation aux méthodes statistiques en biologie. — Paris, Masson et Cie, 144 p.
- LE DANOIS (E.), 1921. — Recherche sur le régime des eaux atlantiques au large des côtes de France et sur la biologie du thon blanc ou germon. — *Notes et mém., Off. Pêches marit.*, n° 9, p. 1-16.
- 1934. — Les transgressions océaniques. — *Rev. Trav. Off. Pêches marit.*, **7** (4), p. 367-459.
- 1938. — L'Atlantique. Histoire et vie d'un océan. — Albin Michel, Paris, 290 p.
- LIBAULT (A.), 1966. — La cartographie. — Paris, P.U.F., 128 p.
- LUX (R.), 1938. — Sur la teneur en matières organiques des sédiments marins à Monaco et à Concarneau. — *Bull. Inst. océanogr.*, n° 760, 14 p.
- MARTEIL (L.), 1960. — Ecologie des huîtres du Morbihan, *Ostrea edulis* LINNE et *Gryphaea angulata* LAMARCK. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **24** (3), p. 329-446.
- 1962. — Composition des sols des parcs à huîtres. — *Cons. int. Explor. Mer*, 3 p. (ronéo).
- MERIAUX (S.), 1957. — L'analyse granulométrique par densimétrie. — *Ass. franç. ét. du sol*, n° 90, 12 p.
- MINAS (M.), 1965. — Distribution verticale de la matière organique et de la fraction calcaire dans les sédiments de l'étang de Berre. — *Rec. Trav. Sta. mar. Endoume*, **37** (53), p. 11-17.
- OTTMANN (F.), 1965. — Introduction à la géologie marine et littorale. — Paris, Masson et Cie, 259 p.
- OTTMANN (J.M.) et OTTMANN (F.), 1961. — Sur le rapport C/N dans les sédiments littoraux. — *C.R. Acad. Sci.*, **252**, p. 2277-2279.
- PERES (J.M.), 1961. — Océanographie biologique et biologie marine. — I. La vie benthique. — Paris, P.U.F., p. 185-191.
- PRENANT (M.), 1932. — Etudes de bionomie intercotidale. La baie et la pointe de Quiberon. — *Trav. Sta. biol. Roscoff*, **10**, p. 37-103.
- RAIMBAULT (R.), 1966. — L'alimentation des mollusques planctonophages (dans *Eléments de planctonologie appliquée*). — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **30** (2), p. 224-250.
- RULLIER (F.), 1959. — Etude bionomique de l'Aber de Roscoff. — *Trav. Sta. biol. Roscoff*, **10**, 350 p.
- TACLET (P.), 1935. — Recherches sur la reproduction des huîtres indigènes dans le Morbihan et le Finistère en 1933. — *Rev. Trav. Off. Pêches marit.*, **8** (1), p. 63-69.
- TERMIER (H.) et TERMIER (G.), 1960. — Erosion et sédimentation. — Paris, Masson et Cie, 412 p.
- VINCENT (A.) et KURC (G.), 1969. — Hydrologie. Variations saisonnières de la situation thermique du Golfe de Gascogne en 1967. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **33** (1), p. 79-96.
- VOISIN (P.), 1932. — Recherches sur la reproduction des huîtres indigènes dans le Morbihan. — *Rev. Trav. Off. Pêches marit.*, **5** (4), p. 471-490.