

LE COURS INFÉRIEUR  
ET  
L'ESTUAIRE DE LA RIVIÈRE DU CHATEAU  
EN PÉRIODE D'ÉTIAGE  
Iles de Kerguelen  
Étude hydraulique, sédimentologique et chimique\*

par

Léopold BERTHOIS

Professeur à l'École Nationale Supérieure Agronomique de RENNES

et

Philippe BOIS

Ingénieur hydraulicien - Laboratoire de Mécanique des Fluides - GRENOBLE

INTRODUCTION

La rivière du Château est située sur la péninsule Courbet dans la partie Est de l'archipel des Kerguelen au Sud de l'océan Indien, dans la partie que les océanographes désignent le plus souvent sous le nom d'océan Austral. Les coordonnées géographiques de l'estuaire de la rivière du Château sont les suivantes :  $49^{\circ}20'$  de latitude Sud et  $70^{\circ}20'$  de longitude Est (voir cartouche de la figure 1).

La source de la rivière est située dans le cirque formé par les monts du Château, prolongement vers l'Est des grands ensembles montagneux de l'île, son altitude est de 900 m, elle est faiblement enneigée en été.

Le cours a une quinzaine de kilomètres de longueur, pendant lesquels la rivière serpente entre des moraines, dans une zone peu accidentée dont la topographie ondulée offre de nombreuses dépressions, sans écoulement, qui forment autant de petits étangs.

La déflation, qui est très intense, provoque la formation d'aires caillouteuses constituant des "pavages" de blocs assez volumineux entre lesquels la fraction fine a été érodée. Entre ces aires et les étangs s'est installée une végétation rare d'Acoena.

-----  
\* Manuscrit reçu le 5 décembre 1968.

La rivière ne reçoit aucun affluent en rive droite, mais elle en reçoit plusieurs en rive gauche, le plus important de ceux-ci est la rivière des Moraines. Ces derniers affluents sont esquissés sur la figure 1 représentant la partie aval de la rivière sur 8,5 km.

Enfin, elle aboutit, par un estuaire à la baie Norvégienne. C'est cette région qui a été notre principal champ d'expérimentation.

Ce travail qui a été entrepris dans le cadre du programme des recherches scientifiques des Terres Australes et Antarctiques Françaises est divisé en trois parties consacrées :

La première, à l'étude hydraulique en période d'étiage.

La deuxième, à la sédimentologie et à la minéralogie.

La troisième, à l'étude chimique des eaux en période d'étiage.

## lère PARTIE

### ETUDE HYDRAULIQUE EN PERIODE D'ETIAGE

#### 1 - 1 - Considérations générales

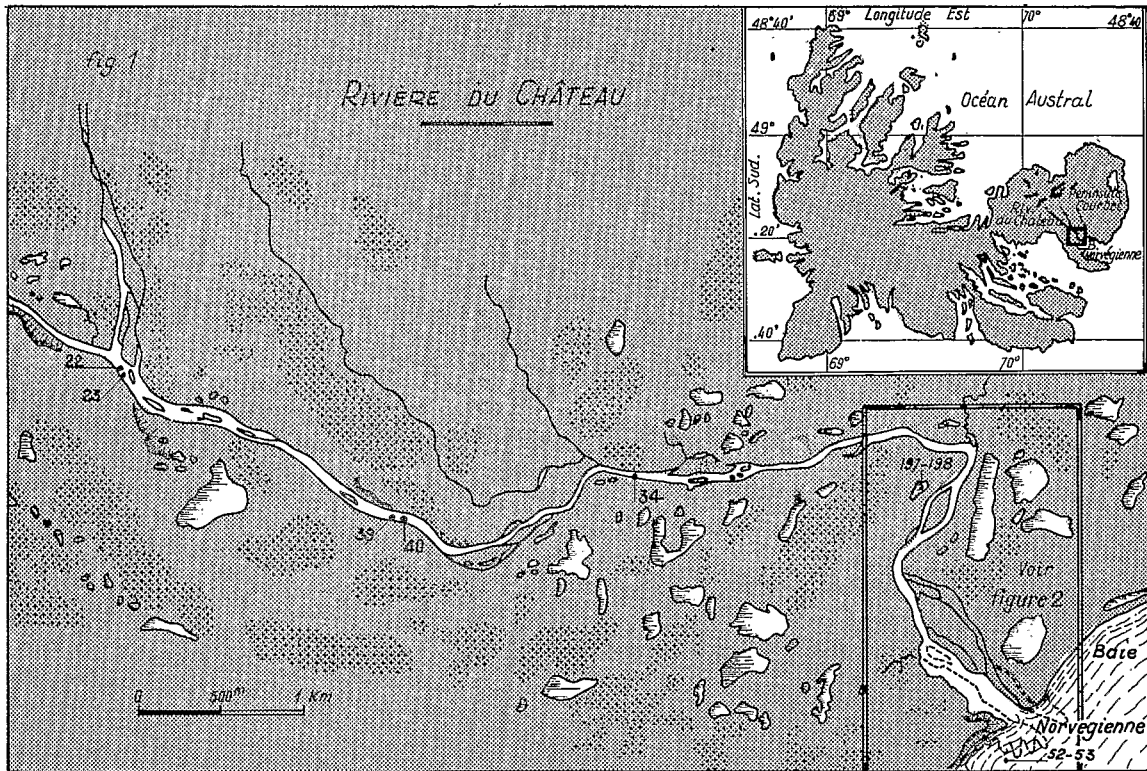
##### - Bassin versant :

Il est difficile de le délimiter car la ligne de partage des eaux est mal définie sauf dans la partie montagneuse. En effet, la partie Est du bassin, c'est-à-dire la rive gauche, est une vaste étendue quasiment plate de lacs et d'étangs ; toutefois, une rivière draine ceux-ci parallèlement à la rivière du Château 4 à 5 km plus à l'Est. On peut donc attribuer au bassin versant une surface d'environ 100 km<sup>2</sup>. L'altitude moyenne est faible et ne doit pas dépasser 100 m.

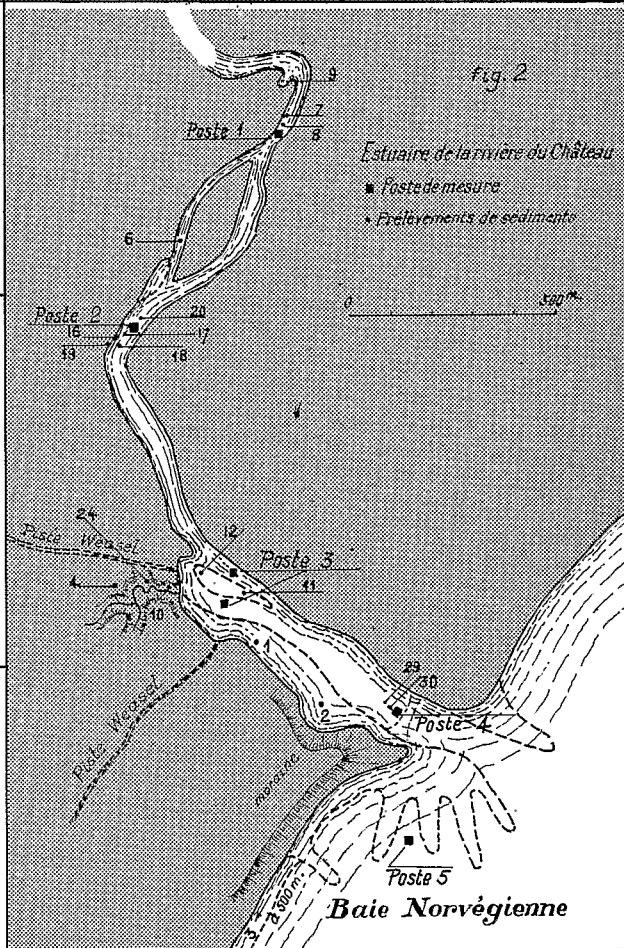
#### 1 - 2 - Conditions hydroclimatiques

Pendant toute la durée de nos mesures (c'est-à-dire pendant les mois de janvier et février 1967), le débit relevé à la station 1 n'a guère varié de plus de 35 % autour de la valeur moyenne de 2,2 m<sup>3</sup>/s ; cette permanence du débit est due à deux causes :

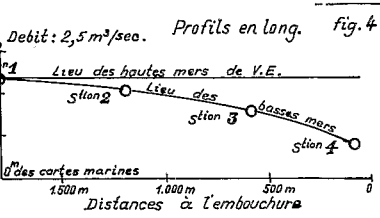
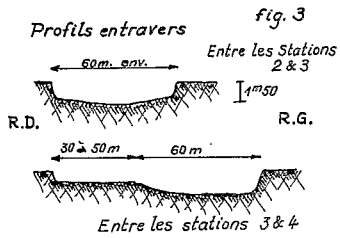
1°) - à la grande fréquence des précipitations de faible durée ; il pleut en effet, en moyenne, un peu plus d'un jour sur deux, mais des valeurs journalières supérieures à 5 mm sont rares : pendant cette campagne d'été, la station météorologique n'en a relevé que cinq.



**Figure 1**  
 Dans l'angle supérieur droit: Esquisse des îles de Kerguelen.  
 Partie centrale: Cours inférieur de la rivière du Château.  
 Aires pointillées: Surfaces caillouteuses sans végétation.



**Figure 2**  
 Estuaire de la rivière du Château  
 ■ Poste de mesure  
 ● Prélèvements de sédiments



2°) - à la part importante de l'alimentation de la rivière par la nappe phréatique dans la partie basse du bassin versant.

Ce caractère de régularité de l'écoulement nous permettra donc de comparer aisément des mesures de vitesse ainsi que des enregistrements de hauteur d'eau effectués en des jours différents, le seul facteur variable de l'écoulement étant alors le niveau de la mer.

Nous avons toutefois noté le passage rapide d'une crue le 5 février ; elle correspond à une précipitation de 8 mm relevée à la Station météorologique.

Par contre, deux facteurs climatiques ont joué un rôle non négligeable dans notre étude :

- 1°) - Le vent - Il entraîne les filets liquides voisins de la surface ; lorsqu'il atteint des vitesses supérieures à 80 km/h. Lorsqu'il souffle dans la direction NNW-SSE, qui est celle du chenal vers l'aval, il abaisse le plan d'eau de la rivière d'une dizaine de cm environ. Par contre, il relève le plan d'eau lorsqu'il souffle en sens contraire, de sorte, qu'à débit égal de la rivière, la profondeur requise pour l'écoulement est alors moindre ou supérieure à sa valeur normale par temps calme.
- 2°) - La pression atmosphérique - L'archipel de Kerguelen est situé sur le passage de fortes dépressions atmosphériques se propageant très rapidement. Des variations de pression de 30 mm de mercure en 24 heures ne sont pas exceptionnelles, il en résulte que le niveau de la mer est fortement influencé localement.

Ainsi le 21 février 1967, la pression enregistrée à la base météorologique de Port-aux-Français ayant rapidement augmenté, la marée océanique dans la baie Norvégienne n'a pas atteint un niveau suffisamment élevé pour être enregistrée au Poste 3 (voir fig.2) ce qui nous a permis d'estimer l'abaissement du niveau de la mer, provoqué par cette élévation de pression, à un minimum de 0,30 m (E. LISITZIN, 1960).

Nous donnons, en annexe :

Un tableau des vents (direction et vitesse) pendant la durée de nos expériences.

Un tableau de la pression atmosphérique durant la même période.

### 1 - 3 - Mesure du débit

La mesure du débit a été effectuée à l'aide d'un micro-moulinet OTT à l'amont de la station 1, dans une section où le chenal est bien rectiligne.

Nous avons prospecté le champ de vitesses le long de 10 verticales ; sur chaque verticale les vitesses ont été mesurées en cinq points au minimum. Le calcul du débit a été effectué selon la méthode classique suivante :

- construction des courbes de vitesses en fonction de la profondeur pour chaque verticale,
- planimétrage de ces courbes pour obtenir le débit unitaire autour de chaque verticale,
- construction de la courbe du débit unitaire en fonction de la distance à la rive,
- planimétrage de cette courbe donnant, après la prise en compte des échelles de graphique, le débit.

Nous avons trouvé un débit de  $2,25 \text{ m}^3/\text{s}$ , pour une profondeur moyenne de  $0,42 \text{ m}$ , une largeur de  $19 \text{ m}$ , une section de  $8 \text{ m}^2$  ; soit une vitesse moyenne en cette section de  $0,28 \text{ m/s}$ .

Il faut insister sur le fait fort intéressant de la stabilité du débit qui a très peu varié pendant cette campagne. En effet, l'élévation du plan d'eau due aux précipitations n'a pas été supérieure à  $15 \text{ cm}$  (ce qui correspondrait à un accroissement relatif de débit de  $35 \%$  et ceci pour des durées de l'ordre d'une dizaine d'heures.

#### 1 - 4 - Profils en travers (voir fig. 3)

Le chenal est bien délimité depuis la station 1 jusqu'à la station 3. Des berges naturelles de  $1,5 \text{ m}$  de hauteur empêchent tout débordement et canalisent le cours d'eau sur presque tout ce parcours. Mais, à partir de la station 3, le lit s'élargit, il apparaît alors une laisse de basse mer ; toutefois, la plus grande partie du débit s'écoule le long de la rive gauche dans une bande du lit de  $60 \text{ m}$  de largeur environ.

#### 1 - 5 - Profils en long (voir fig. 4)

Un relevé topographique nous a permis de tracer le profil en long de la surface libre à marée basse pour un débit de  $2,2 \text{ m}^3/\text{s}$  ; comme le montre la figure 4, sur laquelle nous avons porté en outre le lieu des plus hautes mers, la pente moyenne est de  $1,1 \text{ m/km}$  ; les valeurs les plus fortes de celles-ci se trouvent à proximité de l'embouchure. L'alternance de seuils et de mouilles fait passer, à marée basse, la profondeur maximale de  $30$  à  $80 \text{ cm}$  environ lorsqu'on se déplace le long de l'axe du chenal. D'autre part, à la hauteur de l'embouchure, comme nous l'avons indiqué par un pointillé sur la figure 2, un seuil, localisé à l'extrémité de l'estuaire, en aval du Poste 4, est visible à marée basse de vive-eau, il sert de gué aux véhicules pour traverser la rivière à marée basse.

## 1 - 6 - Principes généraux de la dynamique estuarienne

1°) - La marée aux Kerguelen est du type semi-diurne, sa formule étant :

$$R = \frac{K1 + O1}{M2 + S2} = 0,134. \text{ Elle retarde de 4 h 40 sur la marée à Tuléar.}$$

Monsieur l'Ingénieur Hydrographe en Chef EYRIES avait eu la complaisance de nous faire calculer les hauteurs d'eau, d'heure en heure, à la base de Port-aux-Français. Un enregistrement du niveau de la mer au Poste n°5 dans la baie Norvégienne nous a permis de constater une concordance très satisfaisante entre les prévisions et nos enregistrements.

Le marnage moyen en vive-eau est de :  $1,9 - 0,5 = 1,4$  m et en morte-eau :  $1,5 - 0,9 = 0,6$  ; il en résulte que le débouché de la rivière a une cote superficielle variable avec le temps.

2°) - Les eaux fluviales douces et peu turbides ont une densité nettement plus faible que les eaux marines, ce qui donne naissance à des courants de densité.

Dans la rivière du Château, la marée saline ne se propage pas au-delà du Poste 3 tandis que la marée dynamique s'observe encore au-delà du poste 2.

## 1 - 7 - Courbes locales de marée (voir fig. 5)

La courbe locale de marée en un point est la courbe qui représente pour un cycle de marée, les variations du niveau du plan d'eau en fonction du temps pour un marnage donné au large et pour un débit donné de la rivière. Ici, le marnage maximal est de 1,80 m. Les enregistrements des courbes de marée ont été effectués grâce à un limnigraphe pneumatique Neyrpic à déroulement rapide ; nous avons constaté que l'erreur absolue sur la hauteur du niveau de l'eau ne dépassait pas 3 cm. D'autre part, l'effet du clapotis est supprimé grâce à l'amortissement des ondes de pression provoqué par la grande longueur du tuyau reliant la prise de pression sous l'eau au manomètre. La figure 5 donne dans sa partie inférieure un exemple de courbe de marée prédite par le Service Central Hydrographique, superposée à la marée enregistrée à la station 5. Nous pensons que les différences constatées lors de la descente du niveau de la mer ont été provoquées par l'arrivée d'une dépression atmosphérique enregistrée quelques heures plus tard à la Station météorologique.

### 1 - 7 - 1 - Courbe locale de marée au Poste 4

Cette station se trouve à l'entrée de l'estuaire, juste en amont du seuil; la courbe de marée dessinée sur la figure 5 n'est pratiquement pas déformée. Toutefois, la marée ne se fait sentir qu'à partir d'une certaine cote (0,70 cote du S.C.H.).

### 1 - 7 - 2 - Courbe locale de marée au Poste 3

La station 3 est située à la limite de remontée des eaux salées à environ 700 m de l'embouchure. La figure montre que la courbe locale de marée est légèrement asymétrique : la montée est plus rapide que la descente puisqu'elle se fait en 2 h 30 alors que la descente n'est terminée que 3 h 30 après le maximum. D'autre part, on constate un léger retard à la montée par rapport aux courbes du S.C.H.

### 1 - 7 - 3 - Courbe locale de marée au Poste 2

Cette station est située à 1300 m à l'amont de l'embouchure : Une seule marée a pu être décelée : celle du 11 février que nous avons reportée sur la figure 5 ; c'était une marée de vive-eau atteignant presque la cote + 2,0 m du S.C.H. Cette courbe locale est très déformée : la montée, en retard sur la courbe du S.C.H. s'effectue en 1 h 30 alors que la descente se fait en 3 heures.

### 1 - 7 - 4 - Conclusions

Avant de conclure, il nous faut signaler que sur les diagrammes de la figure 5, les courbes locales de marée ont été régularisées à des valeurs moyennes, car, comme nous le verrons plus loin, l'onde de marée est presque toujours perturbée par une onde secondaire de période assez constante (25 à 35 mn) et dont l'amplitude a parfois dépassé 15 cm.

Si l'on ne tient pas compte de ces perturbations, nous retrouvons, dans ces courbes locales de marée un résultat classique d'hydrologie estuarienne, à savoir la déformation de plus en plus importante de l'onde de marée lorsqu'on remonte l'estuaire vers l'amont. H. BOUASSE (1924) en a donné une explication théorique, voir également A. GOUGENHEIM (1959).

### 1 - 8 - Observations à Postes fixes (Fig. 2)

#### 1 - 8 - 1 - Remarques préliminaires :

Nous n'avons pas jugé utile de faire des observations de longue durée au Poste 1 qui n'est pas atteint par la marée dynamique et a fortiori par la marée saline.

Par contre, aux Postes 2, 3 et 4 nous avons fait des mesures et des prélèvements d'eau toutes les heures pendant 11 heures pour étudier l'évolution, au cours d'une marée, des vitesses du courant, de la turbidité, de la salinité et de la température. Cette technique d'étude a été décrite en détail par l'un de nous (L. BERTHOIS, 1965), c'est pourquoi nous nous bornerons ici aux explications indispensables à la compréhension des diagrammes.

Pour faciliter la lecture des diagrammes nous n'avons représenté que deux variables sur chaque graphique.

Les mesures de courant ont été faites au micro-moulinet OTT, la température et la salinité ont été mesurées sur place à l'aide d'un pont de salinités-températures, mais nous avons fait des prélèvements d'eau sur lesquels les salinités ont été définitivement dosées par la méthode chimique classique du  $\text{NO}_3\text{Ag}$  (N/100 pour les eaux douces) sur ces mêmes prélèvements nous avons dosé la turbidité par la méthode néphélométrique habituelle (L. BERTHOIS loc. cit.).

Les graphiques sont construits pour chaque poste, en portant en abscisse, les heures d'observation et, en ordonnée les mesures, ou résultats de dosage correspondant à la hauteur d'eau.

Il est bien évident que, dans un tel mode de représentation, les courbes isohalines, d'isoturbidité .... que nous avons tracées n'ont aucune signification intrinsèque, elles n'ont pour but que de faire ressortir les variations observées.

#### 1 - 8 - 2 - Poste N° 2 (Fig.6)

Pendant toute la durée des mesures il n'existe aucun courant à 0,10 m au-dessus du fond. On observe seulement un courant de surface de 0,11 m/sec, 2 h 30 avant la P.M. du matin et un courant de 0,09 m/sec, 1 h avant et 1 h après la B.M. du soir.

Lorsque le courant diminue de vitesse en surface, la turbidité diminue dans la tranche d'eau supérieure (9 h - 10 h) et augmente au fond par décantation. Le phénomène est plus complexe entre 16 et 20 h où l'on observe à la fois une décantation avec augmentation de la turbidité vers le fond et enrichissement en surface au moment de la remise en mouvement de la tranche d'eau superficielle. Entre 11 h et 15 h la turbidité est très faible au fond, les eaux s'étant précédemment décantées, elle est plus forte en surface où le "clapotis" dû au vent suffit à maintenir en suspension les particules très fines.

La température augmente progressivement au cours de la journée et atteint  $8^{\circ}5$  en surface à 18 h. Les eaux sont constamment "douces", mais on observe deux faibles augmentations par diffusion à 12 h et 17 h.

#### 1 - 8 - 3 - Poste N° 3 (voir fig. 7)

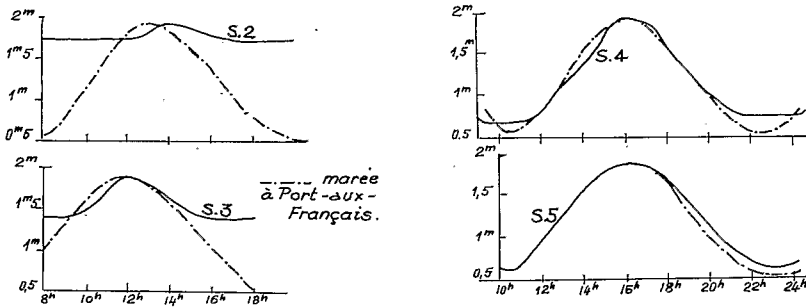
La hauteur d'eau est faible car le lit de la rivière est plus large qu'au Poste 2. Il existe deux bras ; mais, dans le bras Ouest les eaux sont restées immobiles en surface et au fond pendant toute la durée de nos observations qui a été de 10 heures.

Les mesures dont les résultats sont exposés ci-dessous ne concernent donc que le 2ème bras (Est).



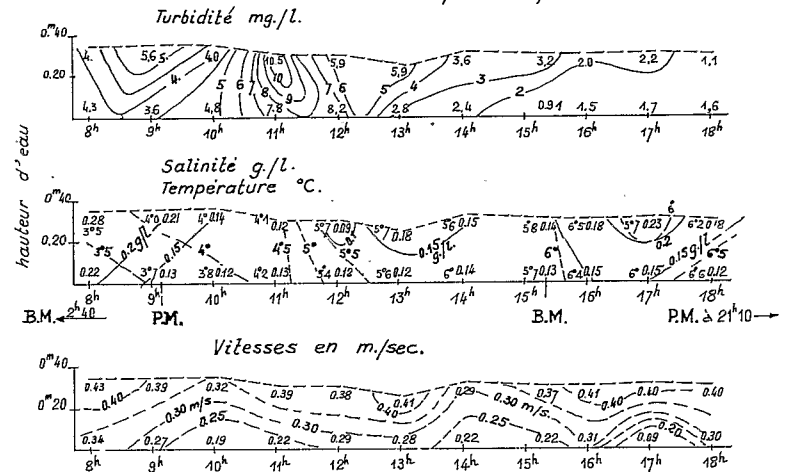
fig. 5

Courbes locales de marées (Postes 2 à 5)



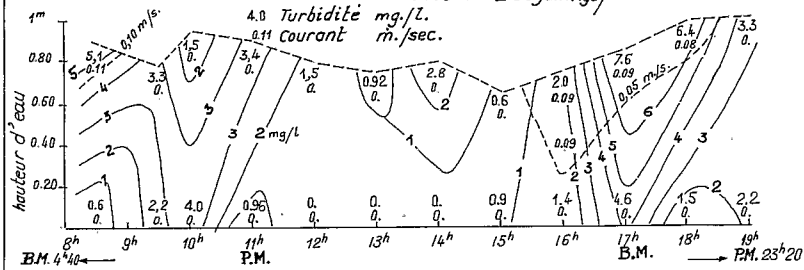
Poste N° 3 - 7 janv. 1967

fig. 7

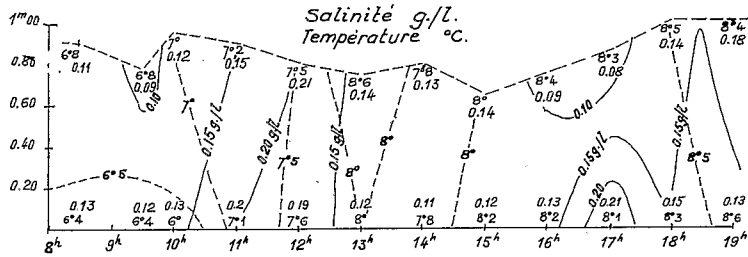


Poste N° 2 - 9 janv. 1967

fig. 6

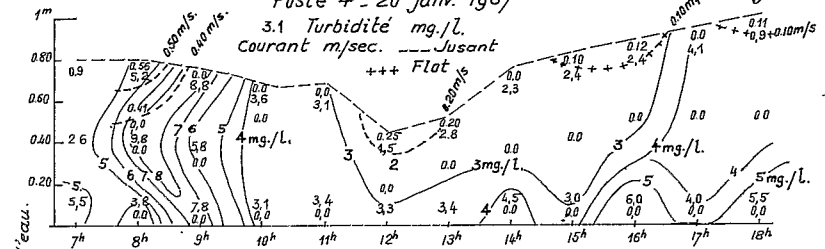


Salinité g/l. Température °C.



Poste 4 - 20 janv. 1967

fig. 8



salinité g/l Température °C

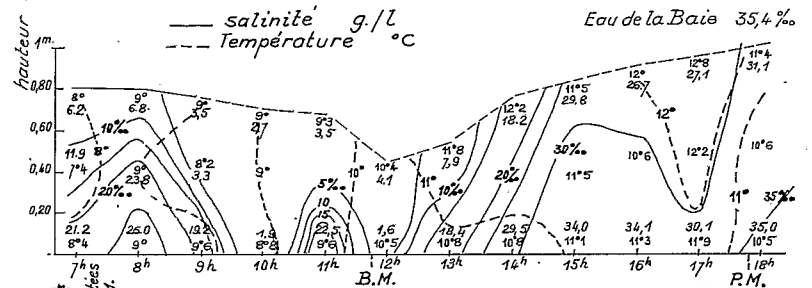
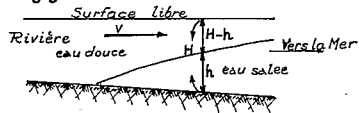
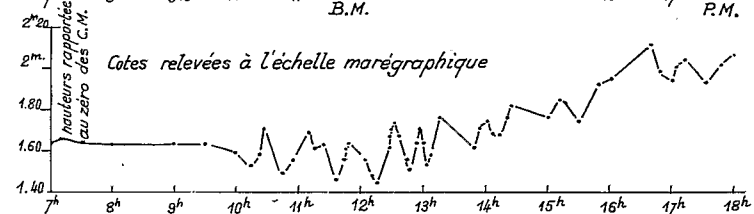


fig. 9 - Géométrie du coin salé



Figures 5 à 9



L'écoulement des eaux est constamment en "jusant" c'est-à-dire dirigé vers l'aval.

Au début des observations les vitesses atteignent 0,43 m en surface et 0,34 m/sec au fond, puis elles diminuent, surtout vers le fond et les eaux décantent. Le maximum de turbidité est atteint à 11 heures lorsque les bancs découvrants ne sont plus recouverts que par une faible lame d'eau que le vent (assez violent pendant toute la journée) agite d'un "clapotis" qui remet les sédiments fins en suspension. Lorsque ces sédiments sont évacués vers l'aval la turbidité diminue malgré les fluctuations de la vitesse du courant parce que le stock d'éléments fins est extrêmement réduit.

La salinité est maximale au moment des premières mesures (8 h du matin), elle décroît jusqu'à 12 h, puis augmente très lentement ensuite. Malgré ces variations les eaux sont toujours douces, c'est seulement par diffusion qu'augmente la quantité de chlorures. Les eaux, qui sont très froides le matin, se réchauffent progressivement au cours de la journée.

1 - 8 - 4 - Mesures au Poste 3 à marée montante le 24 février 1967

Nous n'avons pas recommencé une série de mesures complètes pendant 11 heures, mais seulement des mesures de vitesse et de direction de courant et de contrôle de salinité au pont de Salinités-Températures.

1 - Tableau des mesures de vitesse

Heure	Cote du plan d'eau	Vitesse en m/sec. à 0,40 m sous la surface	Direction
9 h 29	0,16	0,15	vers l'amont
9 h 43	0,28	0,15	- d° -
10 h 00	0,38	0,10	- d° -
10 h 30	0,60	0,07	- d° -
11 h 00 P.M.			

Nous avons remarqué qu'à proximité de la surface la vitesse est très faible, ce fait est attribuable à l'existence de courants d'eau salée à proximité du fond. D'autre part, la présence d'eau salée a été décelée, à deux reprises, sur toute la hauteur de la tranche d'eau, pendant des périodes de quelques minutes.

L'existence de courants de fonds dirigés vers l'amont, montre que l'eau de mer qui est plus dense que l'eau douce, remonte le chenal en créant un courant de flot stratifié, limité aux approches du fond.

#### 1 - 8 - 5 - Poste n° 4 (Fig.8)

Nos observations ont duré 11 heures, mais les mesures de vitesse de courant n'ont pu être exécutées qu'à partir de 8 heures, c'est-à-dire pendant 10 heures.

Pendant toute cette période il n'y a jamais eu de courant décelable au fond avec un micro-moulinet qui est sensible à des courants dont la vitesse atteint 0,05 m/sec.

A 8 h nous avons cependant observé 0,56 m/sec en surface, puis l'eau s'est immobilisée jusqu'à 12 h où nous avons mesuré 0,25 m/sec puis 0,20 m/sec à 13 h, toujours en direction de l'aval.

Enfin à 15 h, 16 h et 18 h, nous avons mesuré un courant de flot, c'est-à-dire vers l'amont, atteignant au maximum 0,12 m/sec.

La turbidité a dépassé 8 mg/l, lorsque les vitesses étaient élevées, puis les eaux se sont décantées lorsque le courant de surface s'est arrêté, les particules très fines sont seules restées en suspension, en plus grande abondance près du fond qu'en surface.

Les eaux étaient plus chaudes qu'au moment des mesures au Poste n°3 ; (8°C à 7 h) elles se sont progressivement réchauffées au cours de la journée.

Entre 7 h et 10 h du matin la salinité des eaux de surface s'abaisse progressivement jusqu'à 2,7 ‰, entre 10 h et 13 h elle augmente à nouveau assez lentement pour atteindre 7,9 ‰. Mais avec l'apparition du courant de flot les eaux deviennent franchement salées 18,2 ‰ à 14 h à 31,1 ‰ à 18 h.

Au fond, la salinité est beaucoup plus élevée, mais elle subit de brusques et énormes fluctuations : 19,2 ‰ à 9 h, 1,9 ‰ à 10 h, 22,5 ‰ à 11 h, 1,6 ‰ à 12 h, 18,4 ‰ à 13 h ; nous examinerons plus tard cette extraordinaire évolution, dont nous nous contentons de signaler l'existence.

#### 1 - 9 - Géométrie du coin salé (Fig.9)

Dans un estuaire à marées, comme celui de la rivière du Château, l'eau de mer forme à l'entrée une lentille d'eau quasi-immobile ou se déplaçant lentement avec la marée, mais sa stabilité est parfois précaire.

Nous avons noté que la marée saline, c'est-à-dire la remontée de l'eau de mer ne franchissait pas le Poste 3. Nous avons pu mesurer l'épaisseur du coin salé au Poste 4, en remarquant que l'interface eau douce-eau salée était bien définie à 0,05 m, près. En effet, la vitesse du courant passait de 0,10 m/sec à zéro en quelques centimètres et la résistivité de l'eau diminuait brutalement.

Nous avons observé une hauteur d'eau salée  $h = 0,35$  m pour une profondeur totale de  $H = 0,60$  m, une vitesse moyenne  $V = 0,35$  m/sec et pour la différence de densité entre l'eau salée et l'eau douce :  $E = 1,029 - 1 = 0,029$  (d'après J.ROUCH-1943). Le calcul théorique d'après LARRAS (1964) donnerait :  $h = H \left( \frac{1 - V^2}{\epsilon g H} \right) = 0,50$  m, ce qui est en accord acceptable avec l'observation.

#### 1 - 10 - Stabilité du coin salé

D'après les calculs théoriques de J. LARRAS (loc. cit. p. 47) la limite de stabilité du coin salé correspondrait à l'inégalité.

$$V \leq \frac{\sqrt[3]{\nu g \epsilon}}{0,178}$$

sans laquelle : la viscosité cinématique de l'eau  $\nu = 0,01519 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/sec à 20°C,  $\epsilon = 0,029$  comme précédemment.

On trouve alors  $V \simeq 0,04$  m/sec.

Or, nous avons observé une certaine stabilité pour une vitesse  $V$  voisine de 0,30 m/sec.

Il apparaît donc que ces critères de stabilité, utilisés sur modèle réduit, ne puisse pas être extrapolés à l'échelle des estuaires naturels. Mais, nous verrons plus loin qu'une autre cause provoque des brassages intermittents et rapides entre le coin salé et l'eau douce.

#### 1 - 11 - Existence d'une onde secondaire modulant l'onde de marée (Fig.10 et 11)

Les enregistrements limnigraphiques du niveau de l'eau effectués successivement aux postes n<sup>os</sup> 2, 3 et 4 ont confirmé l'existence d'un phénomène que nous avons découvert en effectuant des lectures aux échelles limnimétriques à

des intervalles de 5 mn ; à savoir : l'existence d'une onde de période bien définie (25 à 35 mn) et d'amplitude assez variable (10 à 20 cm) qui se superpose à l'onde de marée.

Nos observations sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau n° 2 - Observations de l'onde secondaire du 8 janvier au 18 février par marées de V.E. et marées de M.E.

Poste	Date	Remarques	Période en mn	Amplitude moyenne en m
5	27/1 30/1	} aucune oscillation		
	31/1	oscillation à marée haute	30	0,10
	1/2	- d° -	45	0,10
	2/2	oscillations importantes à marée haute, faibles à marée basse	45	0,10
	3/2	oscillations très faibles	45	0,05
4	20/1 au 25/1	} existence quasi continue des oscillations	30	0,15
	26 et 27/1	oscillations très faibles		
	8/1 au 20/1	} existence des oscillations dès l'apparition de la marée dynamique	30	0,15
2	4/2 au 18/2	} oscillations très marquées au cours d'une seule marée le 11 février	30	0,10

Sur la figure 11 nous avons représenté un choix de courbes de marée enregistrées au Poste 4 et dans la baie Norvégienne, au Poste 5. De l'examen de ces courbes, il apparaît que l'onde secondaire existe en marée descendante, et en marée montante, mais elle se manifeste seulement lorsque la marée dynamique atteint le poste d'enregistrement du limnigraphe, ce fait est parti-

culièrement bien visible sur la courbe du Poste 2 et surtout sur les courbes enregistrées au Poste 3 où toutes les courbes marégraphiques modulées sont précédées et suivies d'un enregistrement rectiligne qui dure pendant plusieurs heures.

On observe également l'onde secondaire aux postes successifs de l'estuaire dès qu'ils sont atteints par la marée dynamique.

Les renseignements que nous avons recueillis ne sont pas assez complets pour nous permettre d'aborder complètement le problème posé, nous ne pouvons donc formuler qu'une hypothèse. Les oscillations constatées dans la baie Norvégienne seraient dues à une seiche causée par la houle venant du large et entretenue par résonance. Il existerait alors un ventre du mouvement vertical au fond de la baie (vers l'estuaire) et un noeud vers l'entrée, si l'on adopte cette hypothèse : la période (T) la plus longue correspond donc à une longueur d'onde  $\lambda$  égale à quatre fois la longueur "a" de la baie, on aura alors : La longueur de la baie étant d'environ 3,3 milles.

Nous pouvons poser  $a = 6\ 000\ m$ .

T étant compris entre 30 et 40 mn, on a  $T \approx 2\ 000\ sec$ ,

$$\text{donc } T = \frac{\lambda}{V} = \frac{4 a}{\sqrt{gh}}$$

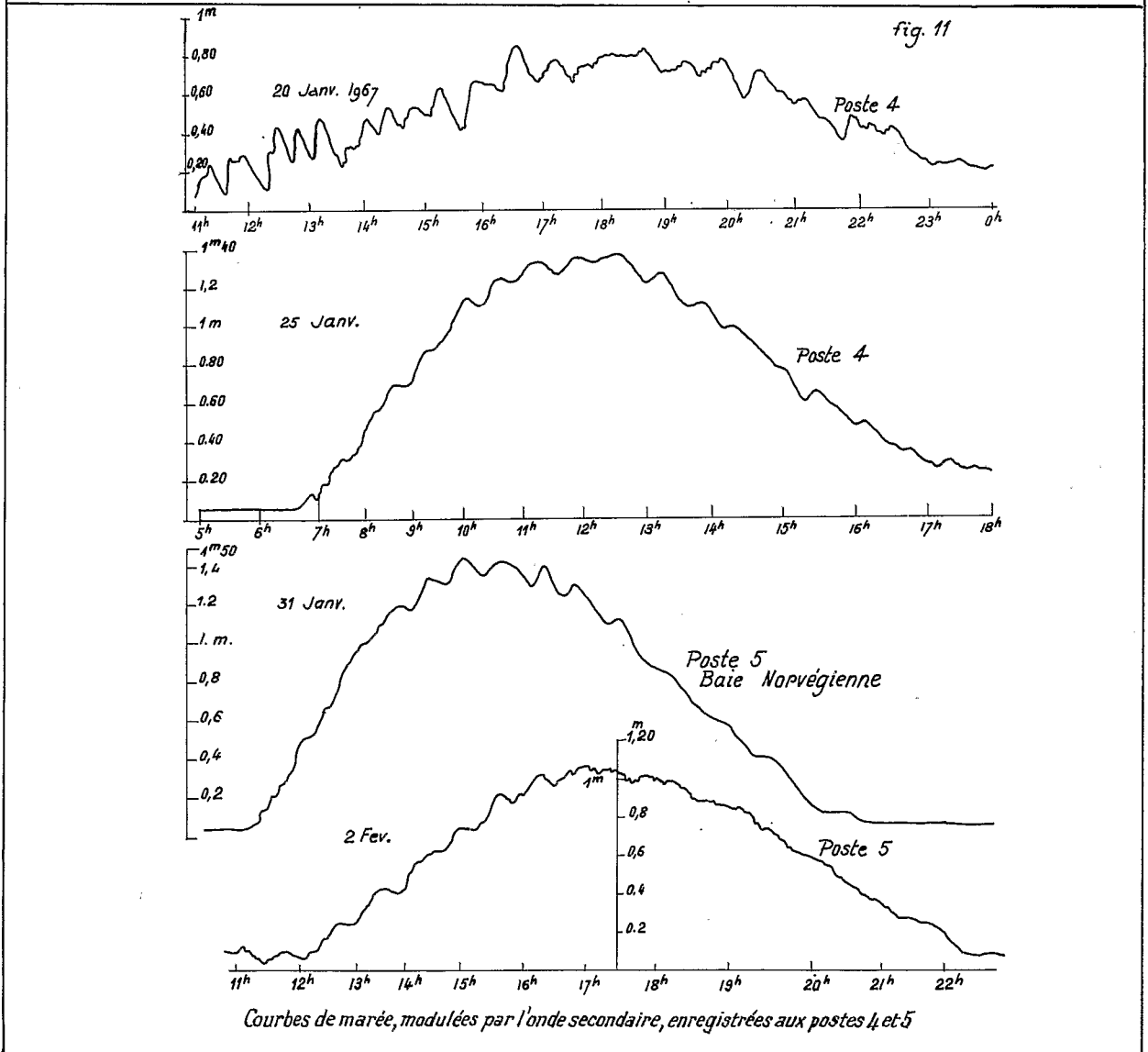
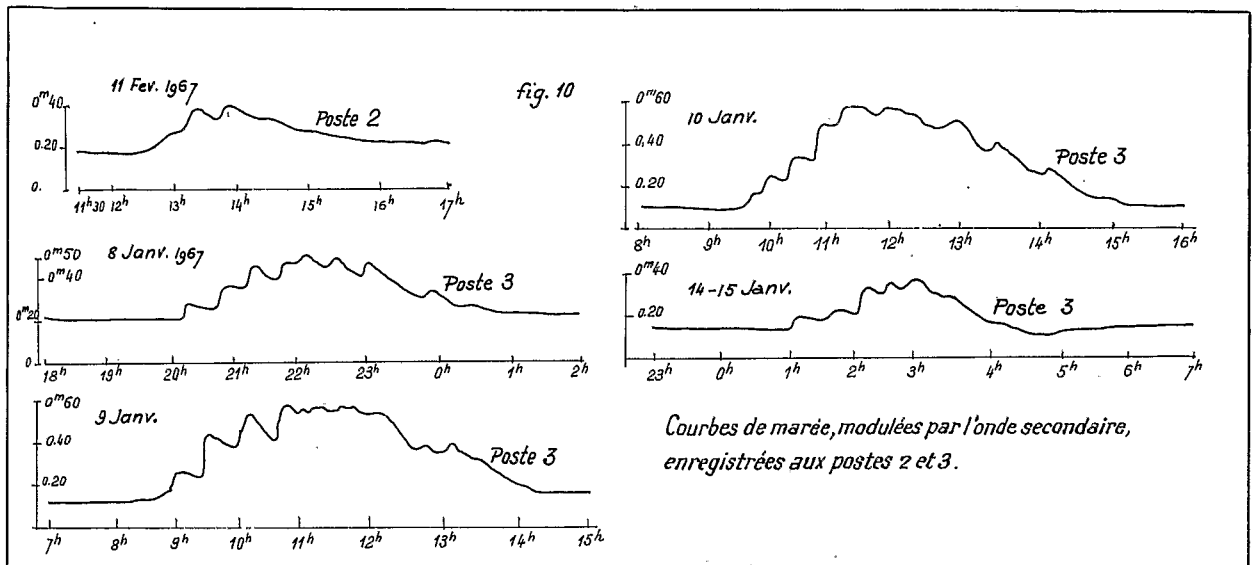
$$\text{d'où } h = \frac{16 a^2}{g T^2} = 15\ m.$$

Nous ne possédons, d'après la carte marine n° 5 748, que trois cotes de sondage dans cette baie : 5,50 m, 9 m et 20 m. Tout ce que nous pouvons dire actuellement, c'est que la profondeur calculée n'est pas invraisemblable. Nous noterons, pour terminer, que les amplitudes de l'onde secondaire sont comparables à celles observées par V. ROMANOVSKY dans l'Anse de Saint Roch (Antibes) et dans le Port de Bonifacio (1953 - 1956).

#### 1 - 11 - 1 - Discussion des résultats

La propagation de cette onde secondaire dans l'estuaire, pose un problème très complexe dont nous avons découvert les différents aspects à mesure de l'avancement de nos observations.

1° - Nous avons déjà signalé l'absence d'onde secondaire aux Postes 3 et 2 lorsque la marée dynamique ne les a pas atteints.



Figures 10 et 11

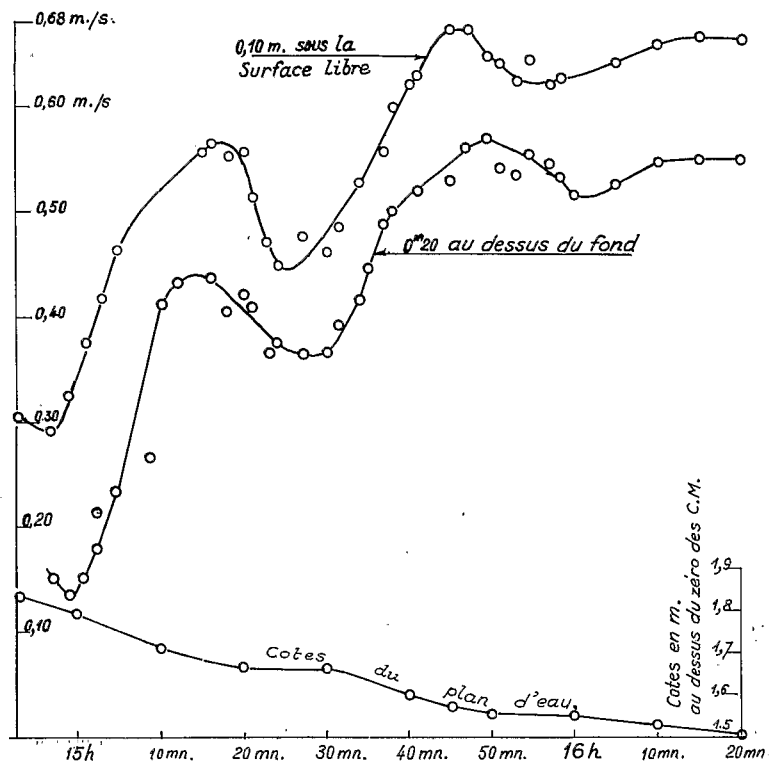


Fig.12. Vitesses du courant mesurées en eau douce au P.3 le 27 février 1967

Mais nous ne disposions que d'un seul limnigraphe et en conséquence nous n'avons pas pu faire d'enregistrement simultané dans la baie Norvégienne et dans un poste de l'estuaire. D'autre part, il ne nous a pas été possible de faire un relevé complet du profil en long du fond du chenal, dans lequel nous avons cependant constaté l'existence de seuils importants.

En première hypothèse, nous avons donc pensé que ces seuils imposeraient à marée basse, des écoulements torrentiels interdisant la remontée des ondes ; par contre, nous supposons qu'à marée haute, les seuils étant largement immergés, l'écoulement y redevenait normal, et qu'en conséquence les ondes pouvaient remonter le courant.

Mais d'autres observations nous ont montré que le phénomène était beaucoup plus complexe.

2° - Observations faites au Poste 3 le 27 février 1967 en marée descendante de vive-eau : (fig. 12).

La mer avait atteint son plein à 14 h. Les mesures de vitesse ont été faites de manière continue pendant deux heures, à l'aide d'un micro-moulinet Ott à 0,10 m sous la surface libre, et à 0,20 m au-dessus du fond.



La répartition des points expérimentaux du graphique n° 12 montre l'influence de l'onde secondaire de période 30 mn, sur la vitesse d'écoulement de l'eau. En effet, bien que les cotes du plan d'eau ne fassent pas nettement apparaître l'onde secondaire, car les lectures ont été trop espacées, on voit très nettement que les vitesses ont subi deux décroissances anormales séparées par un intervalle d'une demi-heure. Ce fait est incontestable puisqu'il s'agit d'un grand nombre de mesures effectuées en eau douce.

3° - Observations faites au Poste 4 le 20 janvier 1967.

Lorsque nous avons fait, au Poste 4, des mesures continues pendant 11 heures nous ne connaissions pas encore les modalités de l'onde secondaire que nous observions pour la première fois. Mais nous avons fait de nombreux relevés à l'échelle marégraphique qui ont suppléé à l'enregistrement limnigraphique qui n'a commencé qu'en milieu de journée.

Nous avons signalé au passage, dans l'étude des mesures au Poste 4 (1 - 8 - 5) d'énormes fluctuations dans le taux de salinité des eaux profondes (voir fig.8).

En établissant la corrélation entre la salinité et les fluctuations du niveau de la rivière on peut faire les constatations suivantes :

La salinité, qui s'est élevée entre 7 h et 8 h s'abaisse en surface à mi-profondeur et au fond (19,2 ‰) par un afflux d'eau douce qui correspond à une stabilité du niveau fluvial.

- A 10 h - l'abaissement du niveau fluvial entraîne une chute considérable de la salinité du fond (1,9 ‰).
- A 12 h - nouvelle chute de la salinité (1,6 ‰) au fond correspondant encore à un abaissement du niveau de la rivière.
- A 13 h, 14 h, 15 h et 16 h - les teneurs importantes en chlorures coïncident avec des niveaux élevés de l'écoulement fluvial.
- A 17 h - un abaissement brusque de salinité au fond (30,1 ‰) est accompagné d'une importante élévation de la température, qui devient presque égale à celle des eaux médianes, ces variations coïncident encore une fois avec un abaissement brusque du niveau fluvial.

#### 1 - 11 - 2 - Conclusion

En rapprochant ces faits de l'existence d'un phénomène de seiche dans la baie Norvégienne nous pouvons en proposer l'interprétation provisoire suivante :

Le phénomène de seiche de la baie Norvégienne provoque périodiquement (environ toutes les 30 mn) une élévation momentanée et supplémentaire du niveau marin qui renforce l'obstacle s'opposant à l'écoulement fluvial.

En conséquence : durant cette période la stratification saline des eaux s'accroît et la vitesse du courant d'écoulement des eaux fluviales se ralentit.

Lorsque le phénomène de seiche abaisse le niveau des eaux marines dans la baie Norvégienne, l'eau fluviale accélère son écoulement comme lors de l'ouverture d'une vanne, il en résulte une augmentation brusque de la vitesse du courant et un abaissement considérable de la salinité sur toute la hauteur de la tranche d'eau, mais particulièrement près du fond.

Mais ces phénomènes sont très fugitifs et les mesures que nous avons faites toutes les heures n'ont permis qu'une observation partielle de leur complexité qui ne nous est apparue qu'au cours du dépouillement complet de nos observations et l'achèvement des dosages qui ont été faits après notre retour en France.

Une étude complète de cet intéressant problème nécessiterait des mesures continues pendant une longue période et sur des cycles complets de marée (c'est-à-dire au moins 11 heures consécutives) mais il faudrait alors disposer d'un matériel considérable installé à poste fixe. On ne peut envisager qu'un observateur travaille plus de deux heures consécutives, avec une combinaison étanche, dans 60 ou 80 cm d'eau, dont la température est souvent voisine ou même inférieure à 5°C.

## DEUXIEME PARTIE

### SEDIMENTOLOGIE ET MINERALOGIE

#### II - 1 - Granulométrie des dépôts sédimentaires

##### II - 1 - 1 - Remarques préliminaires

La granulométrie des dépôts fluviaux, telle que nous la présentons est très incomplète, car nous l'avons limitée à un petit nombre de types sédimentaires, alors qu'elle aurait pu avoir une extension considérable dans le domaine des sédiments grossiers : graviers et galets.

En effet, les sédiments du lit fluvial sont en corrélation étroite avec la nature des sédiments des berges, principalement sur les deux rives découvertes :

- Lorsque les parois des berges sont limoneuses ou sableuses, avec des graviers, la granulométrie des dépôts fluviatiles, reflète la granulométrie du talus, en particulier dans les zones où des rides découvrent à basse mer.

- Lorsque le talus est uniquement sableux, il est bordé de rides sableuses quasi dépourvues de graviers.

- Lorsque le talus est sablo-vaseux ou limoneux, il y a du limon dans les creux des rides; on observe de petits graviers dans les rides.

Ainsi, les dépôts fluviatiles de l'estuaire ou de l'amont de la rivière procèdent directement du lessivage, du transport puis du dépôt des anciennes formations morainiques, ce qui implique l'existence, dans le lit de la rivière du Château, d'éléments de toutes tailles depuis les graviers jusqu'à des blocs de 1 m<sup>3</sup>. Mais ces matériaux pondéreux sont stables ou rarement déplacés, par affouillement des éléments plus petits sur lesquels ils reposent.

Nous avons donc choisi de présenter seulement la granulométrie de quelques sédiments susceptibles d'être fréquemment déplacés par la rivière, en sélectionnant des points favorables du cours d'eau.

Nous les avons classés en trois groupes qui vont être décrits successivement (voir les points de prélèvement fig.2).

#### II - 2 - 1 - Sables estuariens

#### II - 2 - 2 - Sédiments très hétérométriques contenant des éléments de diamètres compris entre 12 mm et 0,0002 mm

##### a) Gisements (voir fig.2)

Ech. N° 2 - Le sédiment dominant est composé de gros blocs morainiques, galets et graviers, mais dans la partie profonde de l'anse découvrant à basse mer, coulent des ruisselets et de petits étiers de marée, il existe alors une mince couche de sédiments fins représentant le dépôt actuel s'incorporant à la fraction grossière.

Ech. N° 9 - Sur la rive droite, à 150 m en amont du Poste 1, pellicule vaseuse riche en débris végétaux au bord d'une petite mare, communiquant périodiquement avec la rivière.

Ech. N° 11 et 12 - Le banc découvrant en face le Poste 3 est constitué de sédiments très hétérométriques auxquels se mélangent des apports plus fins. Les courbes granulométriques cumulatives (voir fig.13) montrent des ensembles

très hétérométriques (sédiment complet). Nous avons sélectionné par le calcul, la fraction grossière et la fraction fine pour permettre des comparaisons ultérieures.

II - 2 - 3 - Sédiments moyennement hétérométriques grossiers, contenant des éléments compris entre 40 mm et 0,09 mm.

Ech. N° 17 et 18 - Sable du lit de la rivière, recueilli à basse-mer à 10 - 15 m de la rive au Poste 2.

Ech. N° 20 - Sable du milieu du lit, récolté à la drague à cônes (L. BERTHOIS - 1950) en remontant dans l'axe du lit, en amont du Poste 2.

Ech. 29 et 30 - Sable dragué à la drague à cônes dans l'axe du lit, en amont du Poste 4.

Les courbes granulométriques cumulatives (voir fig.14) sont très dissemblables, celles représentant les échantillons 29 et 30 notamment, renferment des éléments très grossiers qui forment la partie essentielle du lit fluvial aux bords du Poste 4.

En calculant séparément la fraction sableuse des éch. 29 et 30, on constate qu'elle se rapproche sensiblement des courbes des sédiments 17 et 18 récoltés aux abords du Poste 2, le sable du lit en amont de ce même Poste 2 est le moins grossier des cinq sédiments analysés.

II - 2 - 4 - Sédiments peu hétérométriques composés d'éléments dont les diamètres sont compris entre 2,18 mm et 0,060 mm.

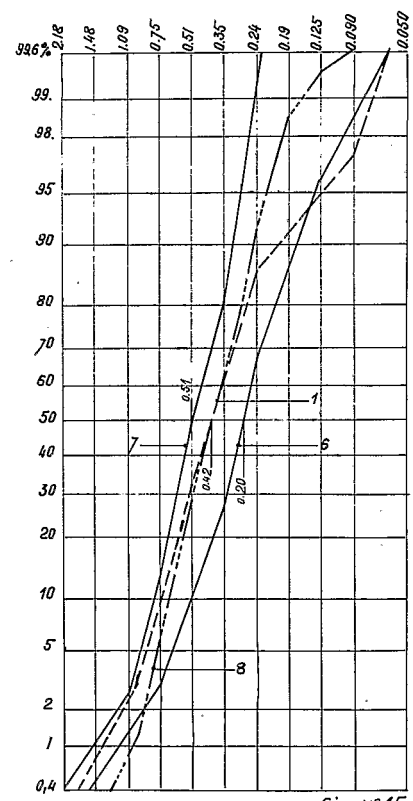
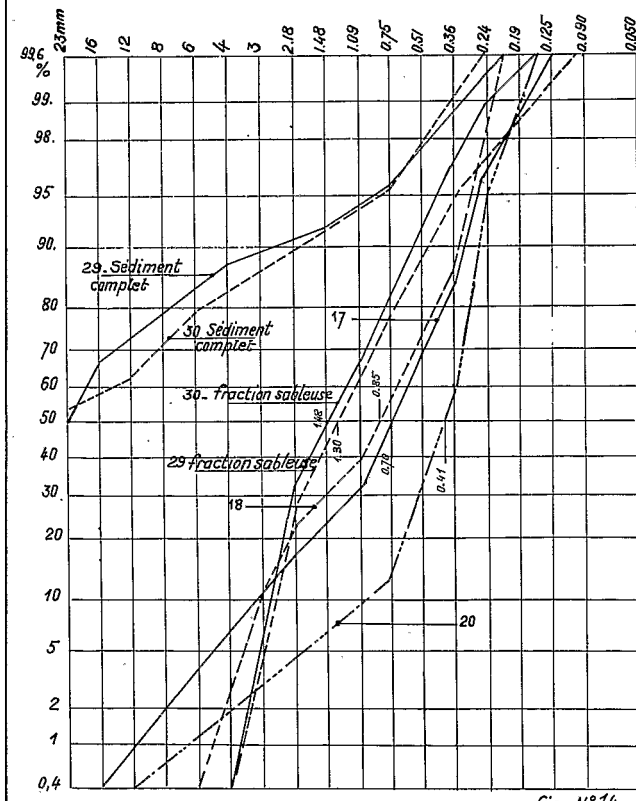
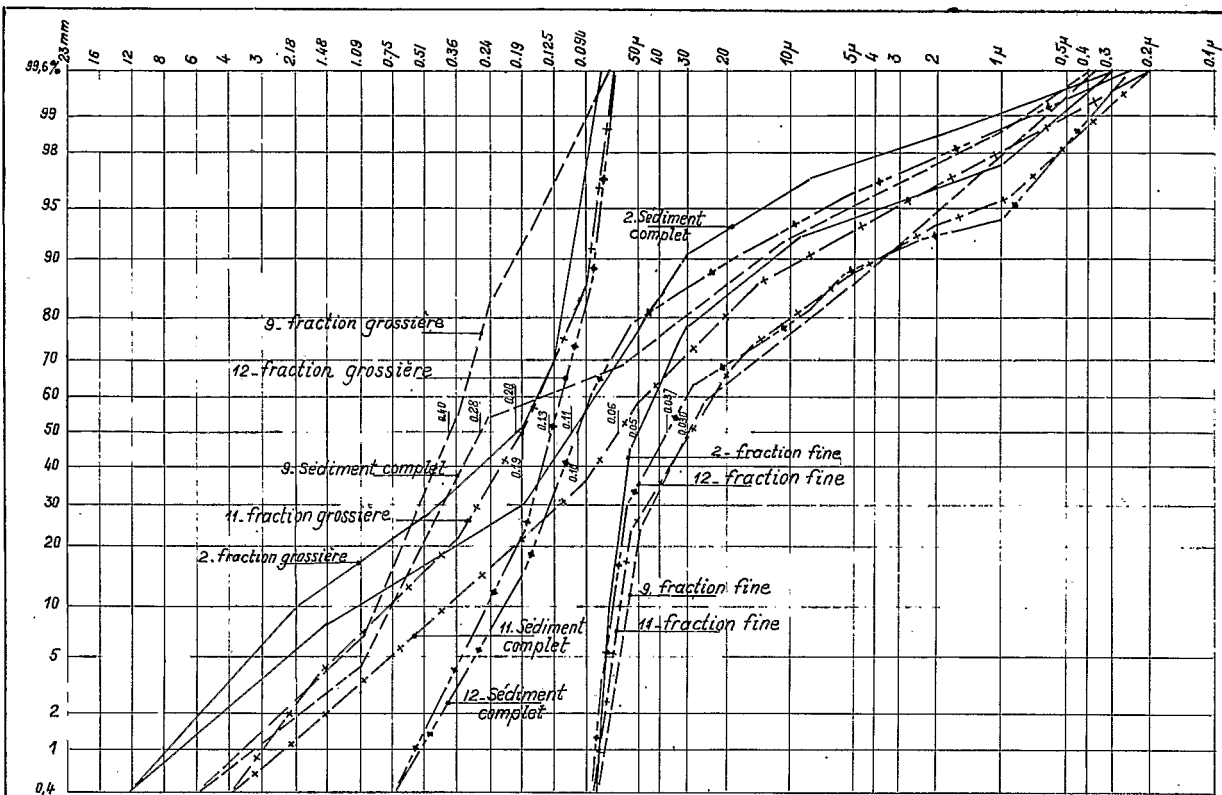
Ech. N° 1 - Sur le même banc découvrant à marée basse que l'éch. N°2, mais en amont de celui-ci ; ce platier est recouvert d'alignements graveleux disposés perpendiculairement à la rive donc transversalement aux courants.

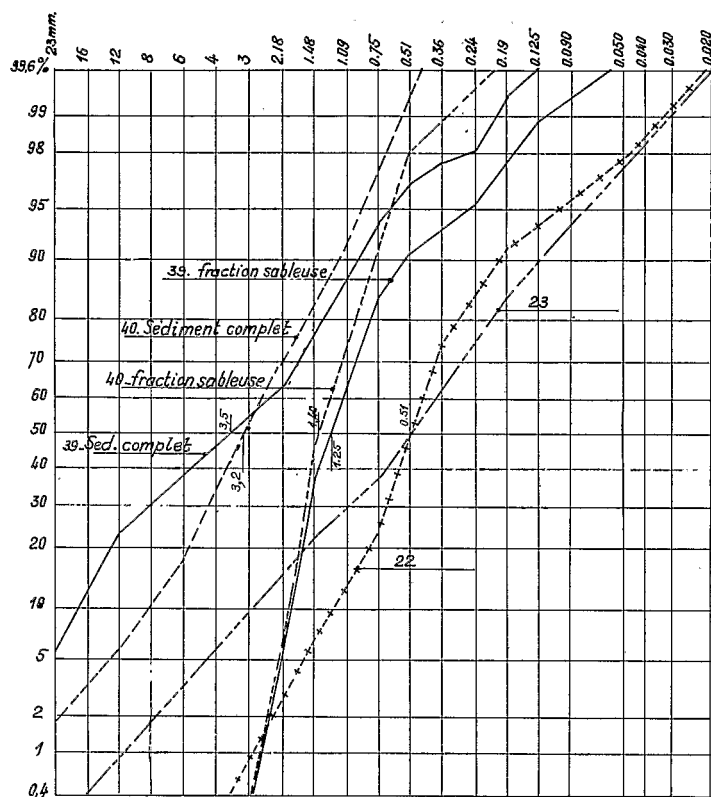
Le prélèvement a été fait dans une lentille sableuse entre les alignements graveleux.

Ech. N° 6 - Prélèvement de sable sur les petites rides dans le faux bras de la rivière ; en aval de ce point de prélèvement il existe une petite zone de rides ayant 2 m de longueur d'onde et 0,04 à 0,08 d'amplitude.

Ech. N° 7 et 8 - Prélèvements sur la rive droite à 150 m en amont du Poste 1, zone de rides (longueur d'onde 1,50 m à 2,40 m, amplitude 0,15 à 0,30). Prélèvement n°7 vers l'amont, prélèvement n°8 vers l'aval.

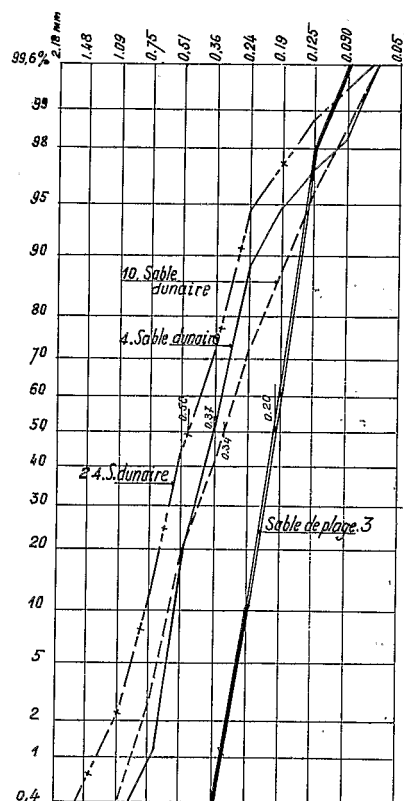
Les sédiments sont compris dans l'intervalle granulométrique des sables mais leur triage n'est pas très sélectif (fig.15) ; ils témoignent du peu d'aptitude au transport de la rivière du Château qui ne déplace pas suffisamment ses sédiments moyens pour provoquer une bonne sélection granulométrique.





Sédiments fluviatiles à l'amont de la zone estuarienne

fig. 16



Sable dunaire et sable de plage

fig. 17

### II - 3 - 1 - Sédiments fluviatiles à l'amont de la zone estuarienne (Situation des prélèvements fig. 1)

Ech. 39 et 40 - Sable du lit de la rivière, rive droite, à 4,400 km en amont du Poste 1.

Ech. 22 et 23 - Lit de la rivière, rive droite, un peu en aval de l'affluent de gauche à 5,950 km en amont du Poste 1.

Les sables du prélèvement aval n<sup>os</sup> 39 et 40 sont notablement plus grossiers que ceux du prélèvement amont (N<sup>os</sup> 22 et 23). Les courbes granulométriques cumulatives de la fig. 16 montrent qu'en isolant la fraction sableuse du prélèvement aval les diamètres des grains moyens restent encore plus importants. Ceci confirme le peu d'aptitude au triage présenté par la rivière du Château.

## II - 4 - 1 - Sables dunaires et sables de plage

### a) Sables dunaires :

Les formations de type dunaire qui existent dans la région voisine de l'embouchure de la rivière du Château et, en particulier près du petit ruisseau s'y déversant en aval du Poste 3 ne sont pas de véritables dunes, au sens habituel de ce mot qui désigne, au Sahara, par exemple, de grands ensembles sableux accumulés par le vent.

Ici les dunes sont essentiellement d'anciennes formations morainiques à la surface desquelles le vent a remanié et par là même, trié les éléments peu volumineux ; en effet, sous quelques centimètres, ou au plus quelques décimètres de sable très meuble, on découvre des couches agglomérées d'aspect argilo-sableux qui constituent toute l'ossature de la dune.

En conséquence de cette origine probablement fluvio-glaciaire, la zone dunaire est constituée par des îlots plus ou moins étendus, séparés les uns des autres par des couloirs façonnés par l'érosion éolienne et parfois approfondis par le passage des éléphants de mer qui les franchissent en rampant.

L'aspect des gisements est toujours à peu près conforme aux normes suivantes. Une végétation d'Acoena couronne le sommet du talus, au-dessous les racines sont prédominantes sur 0,40 m, puis s'amorce un talus concave très abrupt vers le sommet; il a une hauteur de 1 m à 1,50 m, il est revêtu d'une couche de sable meuble. C'est dans cette couche qu'ont été faits nos prélèvements.

Les courbes granulométriques cumulatives montrent que le triage n'est pas sensiblement meilleur que celui des sables fluviatiles (voir fig.17) alors qu'il devrait être notablement plus sélectif. Ceci confirme qu'il s'agit de faibles remaniements d'un matériel local, originellement hétérométrique, dont le transport est insuffisant pour assurer un bon triage.

### b) Sable de plage (voir fig.2)

L'embouchure de la rivière du Château est bordée au Nord par une flèche simple découvrant largement à marée basse. Au Sud de l'embouchure s'étend une flèche, plus importante que celle du Nord, et se terminant par quatre digitations, une cinquième digitation se développe au Sud, elle est constituée de gros blocs et de galets. La plage en arc, qui s'étend ensuite vers le Sud, est d'abord formée de graviers basaltiques et de petits galets ordonnés en plusieurs étages de "croissants de plage" grossièrement dessinés, les matériaux grossiers sont progressivement remplacés par des éléments graveleux et sableux dans lesquels les "croissants" sont mieux dessinés. C'est dans une de ces zones sableuses qu'a été prélevé l'échantillon n° 3.

La courbe granulométrique cumulative de l'éch. N°3 montre un triage beaucoup plus sélectif que ceux des autres échantillons provenant de la rivière du Château ou du remaniement éolien. Cette constatation montre qu'à partir d'un matériel originellement très hétérométrique, la mer peut, par son action indéfiniment répétée au même endroit, constituer localement des aires de sélection granulométrique que les cours d'eau ne réalisent qu'après un transport sur de longues distances.

Tableau n° 3 - Récapitulation des diamètres moyens, diamètre moyen ( $\varphi$  m), en mm.

	N°	N°	N°	N°	N°
	$\varphi$ m	$\varphi$ m	$\varphi$ m	$\varphi$ m	$\varphi$ m
<u>Sables estuariens</u>					
<u>Très hétérométriques</u>	<u>2</u>	<u>9</u>	<u>11</u>	<u>12</u>	
Sédiment complet	0,11	0,28	0,06	0,10	
fraction sableuse seule	0,20	0,40	0,19	0,13	
fraction fine seule	0,05	0,03	0,03	0,037	
<u>Moyennement hétérométriques</u>	<u>17</u>	<u>18</u>	<u>20</u>	<u>29</u>	<u>30</u>
Sédiment complet	0,70	0,85	0,41	23,00	27,00
fraction sableuse seule				1,30	1,48
<u>Peu hétérométriques</u>	<u>1</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	
Sédiment complet	0,42	0,20	0,51	0,42	
<u>Sables de l'amont</u>	<u>22</u>	<u>23</u>	<u>39</u>	<u>40</u>	
Sédiment complet	0,51	0,51	3,5	3,2	
fraction sableuse seule			1,25	1,40	
<u>Sable dunaire et sable marin</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>10</u>	<u>24</u>	
Sédiment complet	0,20	0,37	0,34	0,50	

L'examen du tableau n° 3 montre qu'en faisant abstraction des blocs et des galets, pour les raisons indiquées en tête de ce chapitre, nous sommes en présence de trois stocks granulométriques :

- des sables graveleux : N° 29, 30, 39, 40, diamètres moyens compris entre 1,25 et 1,48 mm.



- Sables : N<sup>os</sup> 2, 9, 11, 12, 17, 18, 20, 1, 6, 7, 8, 22, 23  
3, 4, 10, 24, diamètres moyens compris entre  
0,13 et 0,85 mm pour l'ensemble et entre 0,34  
et 0,51 mm pour 60 % des échantillons.

Fraction fine des sédiments très hétérométriques : N<sup>os</sup> 2, 9,  
11, 12, diamètres compris entre 0,03 et 0,05 mm.

## II - 5 - Conclusions

Nous avons déjà exposé que tous ces ensembles sédimentaires procèdent des coulées volcaniques et des moraines qui les ont partiellement démantelées et remaniées. Les gros matériaux ne sont pratiquement pas déplacés (sauf peut-être en cas de très grandes crues) par la sédimentation fluviale actuelle.

Le transport fluvial, qui ne s'exerce que sur une quinzaine de kilomètres, est insuffisant en parcours et en efficacité locale pour provoquer une bonne sélection granulométrique dans un matériel originellement hétérométrique.

En période d'étiage le transport sédimentaire en suspension est extrêmement réduit pour deux raisons :

- 1° - La pénurie relative en matériel très fin.
- 2° - La faible vitesse des courants estuariens.

L'absence de slikke paraît montrer que, même en période hivernale, le transport sédimentaire fluvial doit être restreint ; les expériences en cours pendant l'hivernage 1968-1969 permettront de vérifier ou d'infirmer cette interprétation.

Nous savons déjà que la fraction fine, qui est incorporée aux sédiments très hétérométriques, par la sédimentation actuelle, est elle-même insuffisamment triée par les courants qui la transportent à son aire de dépôt.

## III - MINÉRALOGIE

### III - 1 - Minéralogie de la fraction grossière des sédiments

Les résidus de chaque tamis ont été mis en sachets pour être ensuite examinés à la loupe binoculaire. La composition minéralogique qui peut être identifiée par ce procédé est assez monotone, il en résulte que la description de tous les échantillons qui ont été examinés occuperait une place considérable et donnerait lieu à de nombreuses répétitions sans intérêt.

C'est pourquoi nous avons groupé les principaux caractères observés en une seule description.

Fraction grossière : 20 mm à 2 mm.

On observe en général une nette prédominance de débris basaltiques galets et graviers, noirs ou gris très foncé, ils sont compacts ou faiblement vacuolaires.

Il existe peu d'éléments anguleux sans aucune trace d'usure, cependant les graviers fortement émoussés sont peu abondants et les grains très roulés encore plus rares.

Dans les plus faibles dimensions on remarque des grains de teinte gris clair portant de très fines vacuoles provenant de lapillis d'origine andésitique ou trachytique.

Fraction moyenne : 2 mm à 0,1 mm.

Les grains sombres, d'origine basaltique sont en général dominants dans la fraction comprise entre 2 mm et 1 mm, ils sont souvent émoussés mais les grains roulés sont rares, ils portent parfois un enduit ferrugineux.

Les grains clairs sont des débris de roche andésitique ou trachytique, faiblement ponceux, presque toujours émoussés.

Les minéraux identifiables sont peu abondants : la sanidine occupe le premier rang, surtout dans les résidus de diamètres inférieurs à 1 mm, elle est accompagnée d'olivine, de pyroxène, d'amphibole et de quelques feldspaths calcosodiques, grains de verre volcanique noir.

### III - 2 - Minéralogie de la fraction fine

La composition minéralogique de la fraction fine a été déterminée par analyse thermique différentielle et analyse diffractométrique (raie  $K\alpha$  du cobalt).

Nous avons parfois exécuté deux analyses aux rayons X, l'une sur l'ensemble de la fraction sableuse et de la fraction fine et une autre sur la fraction fine seule.

Les gisements de tous les échantillons sont déjà connus sauf le n° 34 qui est un dépôt pelliculaire de sédiments fins sur des blocs rocheux dans le lit de la rivière du Château à 2,700 km en amont de la Station 1.

III - 2 - 1 - Composition minéralogique des dépôts sédimentaires, déduite des analyses diffractométriques

Tableau n° 4

Signes conventionnels

++ +++ : Très abondant, prédominant  
 ++++ : Abondant  
 +++ : Peu abondant  
 ++ : Rare  
 + : Très rare (à l'état de trace)

Numéro du prélèvement	Fraction analysée	Albite	Sanidine	Goethite	Montmorillonite
<u>Dépôts fluviatiles</u>					
1	80		++	+	+
2	{ entier 80	++++ +	+++ +	+	+
9	{ entier 80	+++ ++	+++ +		+
11	{ entier 80	++++ ++	++ +		
12	{ entier 80	+++ ++	++ +		
34	80	+	+++		
<u>Dépôt de plage</u>					
3	80		+++		
<u>Dépôt dunaire</u>					
4	80		++	+	

Remarques :

Les diagrammes des analyses diffractométriques se signalent tous par un très faible développement des pics, qui ont fréquemment moins de 5 mm de

hauteur au-dessus du fond continu. Une seule exception à cette règle concerne le pic de 3,21 - 3,22 Å qui a un développement d'une vingtaine de millimètres sur la plupart des diffractogrammes des échantillons bruts.

La fraction minérale est quasi exclusivement composée de feldspaths, dans le sédiment entier ils sont assez abondants et l'on rencontre presque toujours l'albite accompagnant la sanidine, parfois avec une fréquence égale, lorsqu'il y a une prédominance elle est souvent en faveur de l'albite. La présence d'albite secondaire a été signalée par E. JEREMINE et A. SANDREA (1958).

Cependant, la discrimination entre les variétés est parfois douteuse à cause du faible développement des pics et des petits écarts angulaires qui les différencient, mais lorsque le plagioclase existe il est certainement du groupe des alcalins très pauvres en chaux, c'est pourquoi nous l'avons assimilé à l'albite.

Dans la fraction inférieure à 0,080 mm, les pics sont encore moins marqués sur les diffractogrammes, on observe les mêmes éléments mais à l'état de traces ; toutefois, les insuffisances constatées dans les enregistrements peuvent aussi bien résulter de la pénurie de minéraux que de leur mauvaise cristallinité.

Les argiles paraissent absentes, sauf des traces de montmorillonite qui ne sont pas toujours déterminées avec une certitude absolue.

La goethite existe également à l'état de traces dans trois échantillons.

### III - 2 - 2 - Analyses thermiques différentielles

Les diagrammes d'analyses thermiques différentielles fournissent très peu de renseignements sur la composition minéralogique de la fraction sédimentaire de diamètres inférieurs à 0,080 mm ; les crochets endo et exothermiques y sont peu développés. On reconnaît seulement le crochet de la montmorillonite sur quelques échantillons, les n<sup>os</sup> 2 et 9 notamment (voir fig.18).

Par contre, tous les diagrammes présentent une énorme protubérance exothermique atteignant son maximum à 300-350°, après traitement de l'échantillon à H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> à 20 vol. ce grand crochet exothermique disparaît en grande partie.

On peut donc conclure qu'il est dû à la présence de matière organique et de gels alumino-ferriques qui ne peuvent être décelés par l'analyse diffractométrique.

### III - 3 - Conclusions

L'examen des fractions grossière et fine des sédiments confirme que leur origine est localisée au bassin versant de la rivière du Château, aucune roche d'origine lointaine et aucun minéral aberrant n'a été trouvé par nos observations. S'il existe des matériaux allochtones ils sont certainement rares.

### IV - ETUDE DE LA MATIERE ORGANIQUE DE LA FRACTION FINE

L'analyse thermique différentielle nous ayant révélé l'abondance de gels de matière organique nous avons cherché à la définir avec plus de précision.

Des prélèvements ont été faits sur quatre échantillons : N° 2 - 9 - 11 - 12 qui nous ont paru les plus riches, pour procéder au dosage de l'Azote total par la méthode du microkjeldahl et au dosage du carbone par la méthode d'Ann.

Nous avons porté les résultats obtenus sur un graphique où figurent d'autres dosages exécutés à Kerguelen et dans d'autres régions à climat frais ou froid (voir fig.19).

On remarquera que les sédiments de la rivière du Château sont plus riches en C que ceux de la baie du Morbihan (Kerguelen). Ils sont également plus riches en C que ceux de la baie de Clew qui est en pays tempéré et de 3 à 30 fois plus riches en N et C que les sédiments du Kangerdlugssuaq.

## TROISIEME PARTIE

### V - ETUDE CHIMIQUE DES EAUX EN PERIODE D'ETIAGE

#### V - 1 - Remarque préliminaire :

Dans ce chapitre nous avons séparé l'étude des eaux fluviales constamment douces, de celles des eaux estuariennes.

Les eaux douces seront comparées à celles de la Loire, d'après des prélèvements faits à Mauves-sur-Loire, sur lesquels l'un de nous (L.B.) a exécuté plusieurs milliers de dosages entre 1957 et 1967.

Les eaux estuariennes seront étudiées en fonction de leur chlorinité telle qu'elle est définie dans les tables internationales établies d'après les travaux de C. FORCH, J.P. JACOBSEN, M. KNUDSEN et S.P.L. SPRENSSEN (M. KNUDSEN - 1901).

Les dosages ont été effectués par les méthodes suivantes :

- Salinité - (utilisée pour le calcul de la chlorinité) suivant la méthode classique au  $\text{NO}_3$  Ag en présence de  $\text{CrO}_3$  K.
- $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  par la méthode classique au complexone III.
- $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$  , au photomètre à flamme.
- $\text{Si O}_2$  et  $\text{Fe}^{+++}$  , par des méthodes colorimétriques classiques sur un néphélomètre de Hilger.
- Résidu sec - Après filtration sur une membrane "Coli", montée dans un entonnoir spécial, sur une fiole de Kitazato ; un prélèvement d'eau est versé dans un bécher, préalablement taré, après évaporation de l'eau, le résidu sec est pesé à poids constant sur une balance de précision.

#### V - 2 - Etude chimique des eaux douces

##### V - 2 - 1 - Teneur en $\text{Ca}^{+++}$ par rapport au résidu sec (fig. 20)

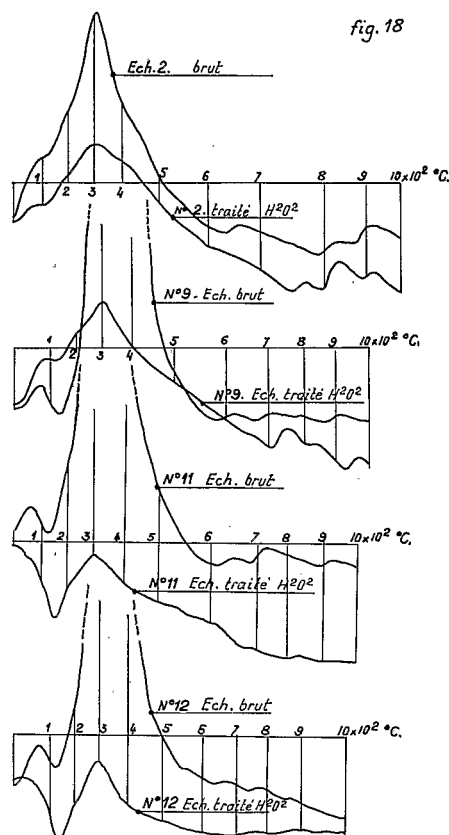
Les résultats des dosages effectués sur les eaux de la rivière du Château occupent, sur le graphique, un domaine nettement séparé de celui des eaux de la Loire qui représentent les dosages effectués pendant l'année 1959. Tout d'abord les teneurs en matières dissoutes sont notablement plus élevées en Loire mais il est très intéressant de remarquer que la disparité entre les deux résultats est bien loin de refléter la disproportion entre les deux cours d'eau, puisque la Loire a 1 012 km de longueur, 115 000 km<sup>2</sup> de bassin versant et un débit qui ne s'abaisse guère au-dessous de 100 m<sup>3</sup>/sec en grand étiage, mais atteint ou dépasse 4 000 m<sup>3</sup>/sec à toutes ses crues hivernales.

Enfin, d'après l'ensemble des dosages effectués sur les eaux de la Loire entre 1957 et 1966 inclus, la moyenne du résidu sec a été de 169,35 mg/l.

Nous avons signalé, dans la première partie, que la rivière du Château était alimentée par sa nappe phréatique pour une part importante, nous en avons ici la confirmation, car la teneur moyenne en  $\text{Ca}^{++}$  n'est pas beaucoup inférieure à la moitié de celle des eaux de la Loire dont une partie notable du cours traverse une région calcaire.

##### V - 2 - 2 - Etude du rapport $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$

Le graphique (fig.21) met en évidence les rapports  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$  dans les eaux de la rivière du Château et de la Loire.



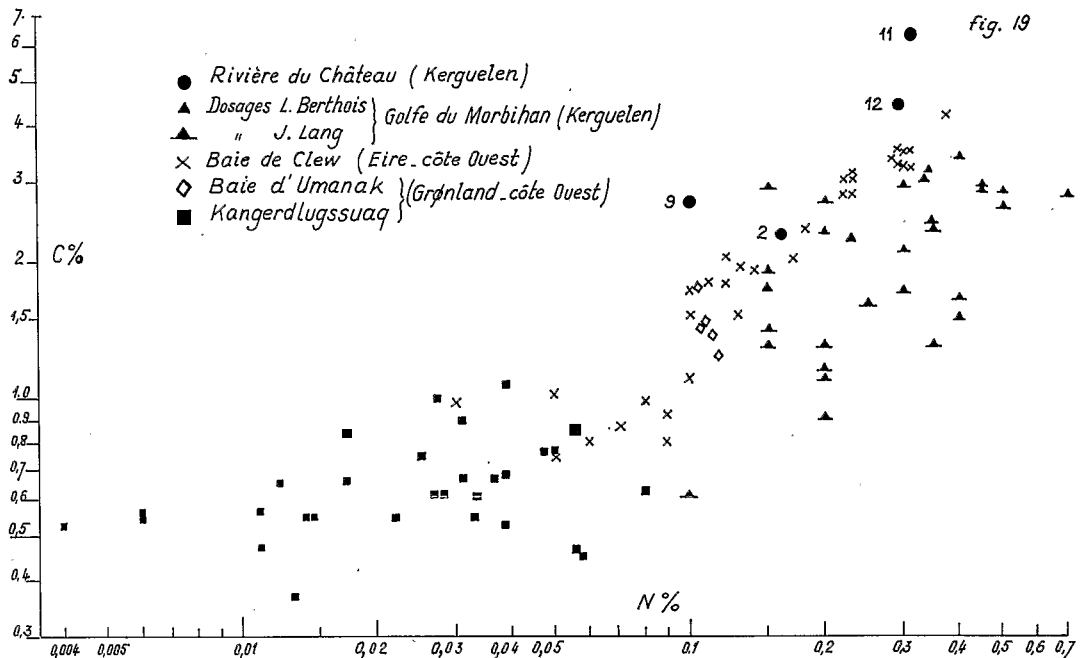
*Courbes d'analyses thermiques différentielles de la fraction fine.*

Les dosages ont été faits sur des eaux prélevées aux Postes de mesure 1, 2 et 3, les teneurs en  $\text{Na}^+$  supérieures à 20 mg/l qui sont anormalement élevées sont sans doute attribuables à une diffusion du Cl Na vers le poste 3 où les eaux peuvent être légèrement salées pendant de courtes périodes.

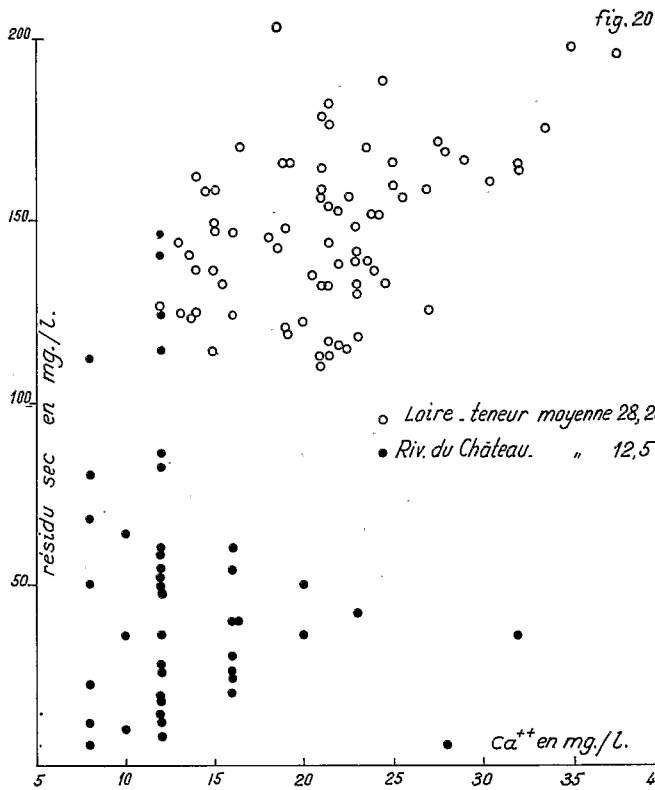
On notera que les teneurs en  $\text{Na}^+$  sont aussi élevées que dans le bassin de la Loire malgré des teneurs en  $\text{Ca}^{++}$  moins importantes. Ces teneurs, relativement élevées en  $\text{Na}^+$ , dans les eaux de la rivière du Château sont en corrélation avec l'abondance des feldspaths sodiques dont la présence a été signalée par les analyses diffractométriques.

#### V - 2 - 3 - Etude du rapport $\text{K}^+/\text{Ca}^{++}$

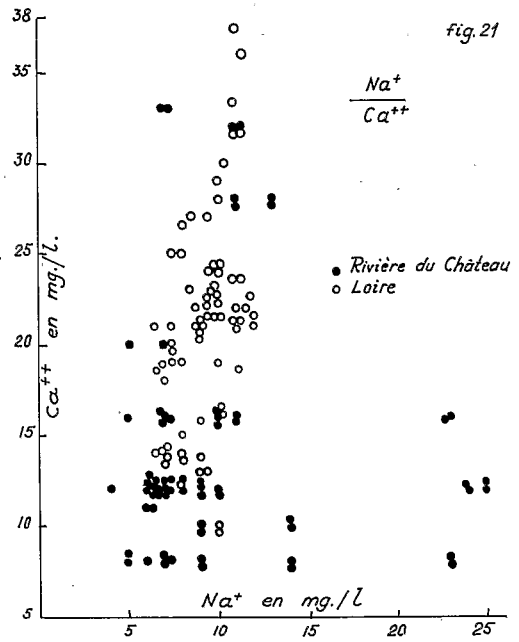
L'étude du rapport  $\text{K}^+/\text{Ca}^{++}$  est important ; associé à celui de  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$  il fournit une base géochimique des rapports possibles entre les feldspaths potassiques et calcosodiques.



Teneurs en C et N des sédiments de la rivière du Château en comparaison avec des sédiments de diverses provenances.



Teneur en  $Ca^{++}$  en fonction du résidu sec dans les eaux douces.



Rapport  $Na^+/Ca^{++}$  dans les eaux de la rivière du Château et de la Loire



Les teneurs en  $K^+$  sont faibles (voir fig.22) les plus fréquentes atteignent le cinquième des teneurs en  $Na^+$  ; malheureusement le nombre de nos dosages étant insuffisant, nous nous bornerons à attirer l'attention sur cet intéressant problème de la solubilité relative des feldspaths potassiques et sodiques. Les dosages qui seront exécutés sur les eaux récoltées pendant la campagne 1968-1969 permettront peut-être de préciser ces résultats.

#### V - 2 - 4 - Etude des rapports $Ca^{++}/Si O_2$ , $Na^+/Si O_2$ et $Fe^{+++}/Si O_2$

Nous avons différencié par des hachures deux aires dans lesquelles sont inclus la majorité des résultats bien groupés, concernant  $Ca^{++}$  et  $Na^+$ . Nous pensons en effet, en fonction du petit nombre de dosages que nous avons effectués, que les mesures qui s'écartent trop de ces deux aires peuvent être suspectées, et qu'il est préférable, au moins dans l'état actuel de nos recherches, de ne pas les incorporer dans l'examen des résultats.

Les teneurs en  $Fe^{+++}$  sont toujours très faibles et pratiquement constantes quelles que soient les teneurs en  $Si O_2$ , ce qui nous conduit tout naturellement à penser que les orthosilicates et les métasilicates sont peu altérés malgré leur abondance dans les roches basiques du bassin de la rivière du Château.

Les aires concernant le  $Ca^{++}$  et le  $Na^+$  se recouvrent partiellement, mais il appert cependant que les teneurs en  $Ca^{++}$  sont en général plus élevées que celles en  $Na^+$ . Il faut toutefois remarquer que les teneurs en  $Ca^{++}$  sont de 3 à 5 fois plus élevées que celles de  $Si O_2$ , ce qui suggère l'idée d'une altération des minéraux calco-magnésiens.

Les teneurs en  $Na^+$  sont moins élevées que celles en  $Ca^{++}$  par rapport à  $Si O_2$  cependant les minéraux de type sodique semblent prédominants dans les analyses diffractométriques.

#### V - 2 - 5 - Conclusion

Cette étude des eaux douces de la rivière du Château en périodes d'étiage fournit quelques renseignements sur leur composition chimique, qui était totalement inconnue, mais elle pose beaucoup plus de problèmes qu'elle ne peut en résoudre actuellement.

Les mesures et prélèvements en cours (en période de crue de la rivière) devraient permettre d'utiles comparaisons sur les variations des pourcentages des corps en solution, et peut-être, de comprendre certains aspects des problèmes pour lesquels nous avons souvent formulé des hypothèses.

### V - 3 - Etude chimique des eaux saumâtres

Note - Tous les résultats sont exprimés, suivant la méthode classique, en fonction de la chlorinité qui a été calculée à partir de la salinité à l'aide des tables de M. KNUDSEN (loc. cit.).

#### V - 3 - 1 - Résidu sec en fonction de la chlorinité ‰

Les résultats sont groupés sur le graphique n°24 suivant une représentation semi-logarithmique, on constate que les résultats sont bien groupés suivant la courbe expérimentale. (fig.24).

Nous avons tracé, à titre de comparaison la courbe  $\sigma_0$ .  $\sigma_0$  est la densité d'un échantillon de chlorinité (Cl ‰) sous la pression atmosphérique à la température de 0°C. C'est donc directement une fonction de la chlorinité (H. LACOMBE, loc. cit. p. 2-8) qui a été tracée d'après les tables de M. KNUDSEN (loc. cit.).

On voit que la courbe théorique de densité à 0°C est extrêmement voisine de notre courbe expérimentale et on peut remarquer que les teneurs en résidu sec augmentent de plus en plus rapidement avec la chlorinité.

Le tracé de ces deux courbes, en dehors des renseignements qu'il procure concernant les eaux estuariennes, a le très gros avantage de fournir à la fois une vérification des dosages de salinité et de résidu sec. Les résultats qui s'écarteraient notablement de la courbe devraient être suspectés.

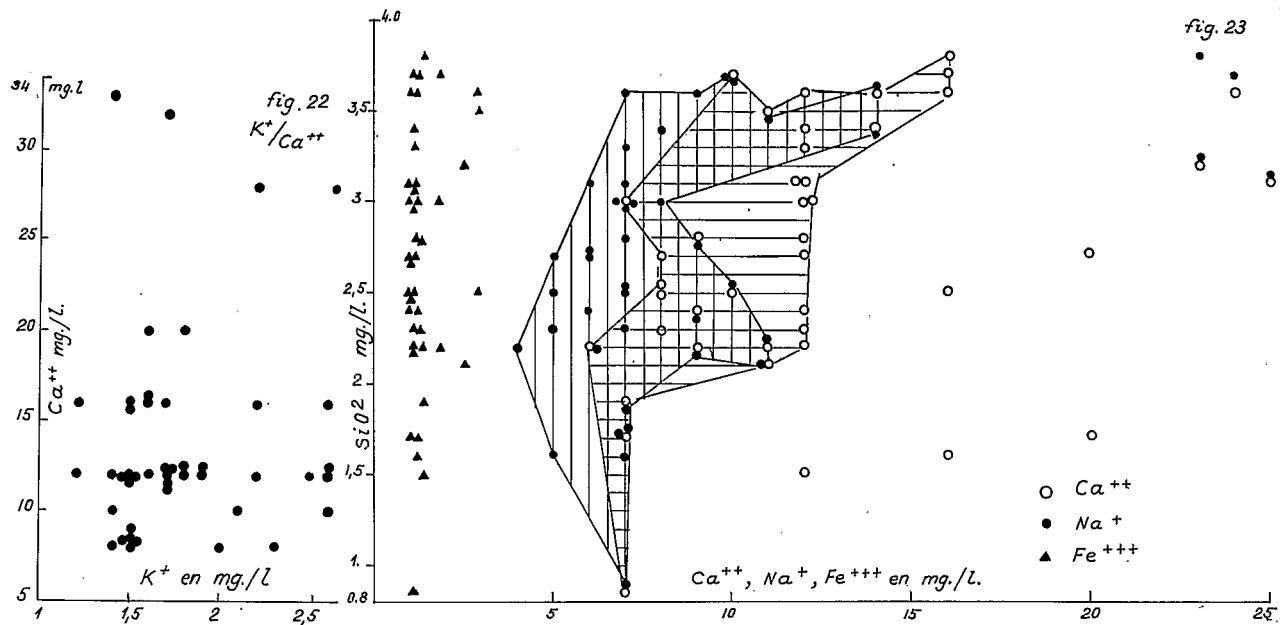
#### V - 3 - 2 - Teneurs en $\text{Ca}^{++}$ , $\text{K}^+$ et $\text{Mg}^{++}$ en fonction de la chlorinité ‰

Ces relations sont groupées sur la figure 25 où la chlorinité est en ordonnées arithmétiques, tandis que les teneurs en  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Mg}^{++}$  sont exprimées en abscisses logarithmiques.

Calcium - Les teneurs en calcium s'ordonnent suivant une courbe de type exponentiel, dont très peu de résultats sont écartés. A la chlorinité de 10 ‰, correspond une teneur en  $\text{Ca}^{++}$  de 150 mg/l, mais au-delà de cette chlorinité la proportion de  $\text{Ca}^{++}$  tend à diminuer puisque à la chlorinité de 20 ‰, correspond seulement 260 mg/l de  $\text{Ca}^{++}$ .

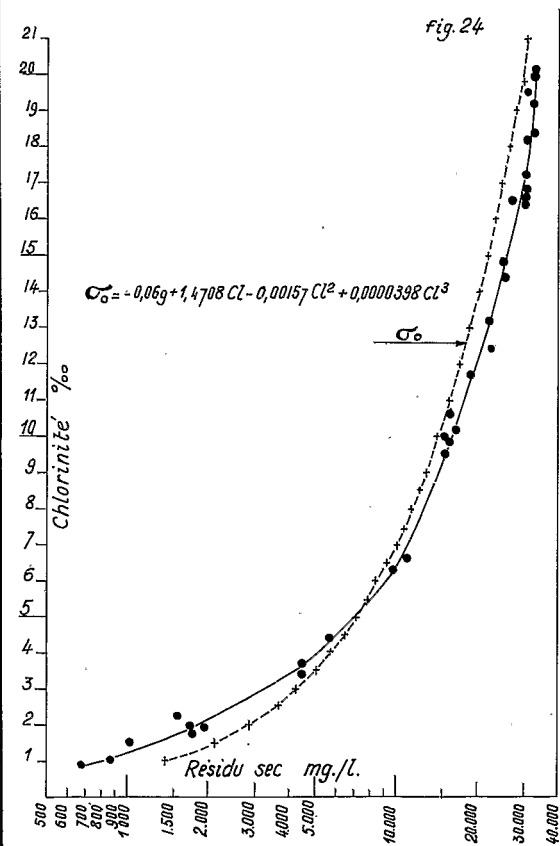
Magnésium - Les teneurs en  $\text{Mg}^{++}$  augmentent plus régulièrement que celles en  $\text{Ca}^{++}$ , et sont, comme de coutume, notablement plus élevées : 500 mg/l à 10 ‰ de Cl et 1 050 mg/l à 20 ‰ de Cl.

Potassium - Les résultats des dosages  $\text{K}^+$  s'ordonnent suivant une courbe qui est presque une droite, dans le mode de représentation semi-logarithmique que nous avons adopté. Ce qui signifie que le rapport  $\text{K}^+/\text{Cl}$  ‰, a tendance à augmenter lorsque la chlorinité augmente.

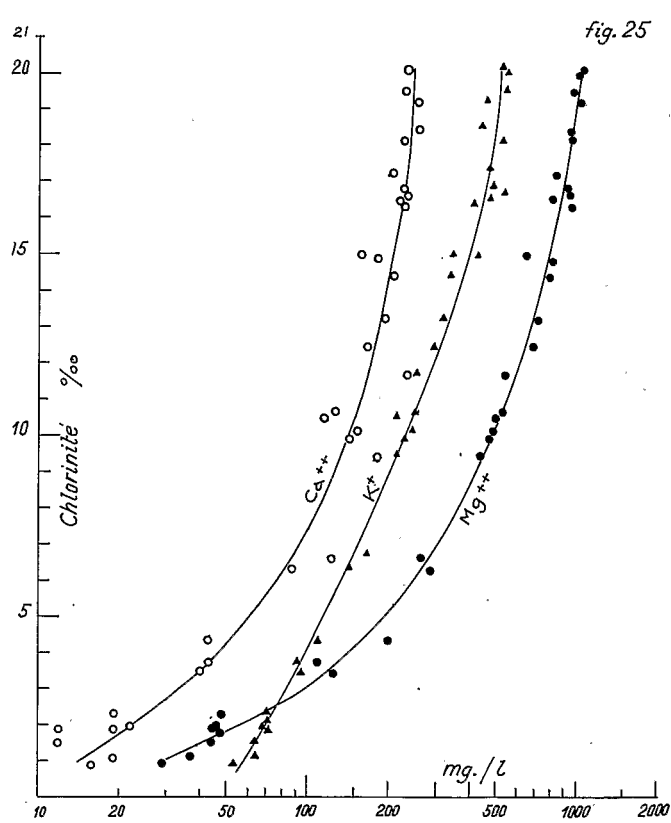


Rapport  $K^+/Ca^{++}$  dans les eaux de la rivière du Château.

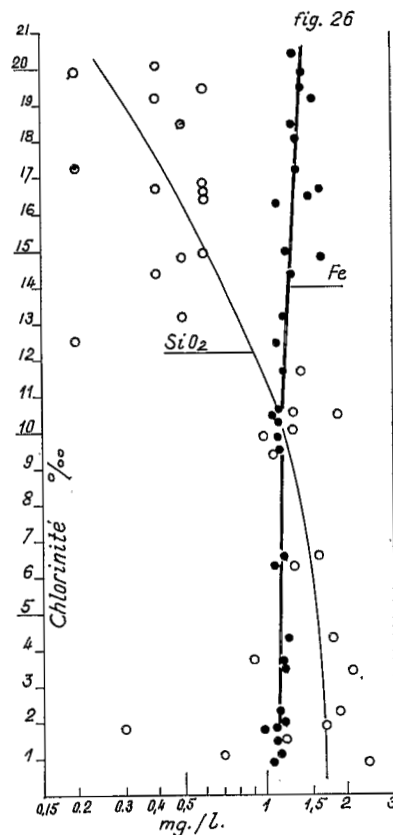
Rapports  $Ca^{++}/SiO_2$ ,  $Na^+/SiO_2$ ,  $Fe^{+++}/SiO_2$  dans les eaux douces de la rivière du Château.



Courbe du résidu sec en fonction de la chlorinité.



Teneurs en  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$  et  $K^+$  en fonction de la chlorinité.



Teneurs en  $Fe^{+++}$  et en  $SiO_2$  par rapport à la chlorinité.

En résumé : le rapport  $Ca^{++}/Cl$  ‰ tend à diminuer lorsque la chlorinité augmente.

Le rapport  $Mg^{++}/Cl$  ‰ reste sensiblement stable lorsque la chlorinité augmente, alors que le rapport  $K^+/Cl$  ‰ est en légère augmentation.

Il sera intéressant d'observer le sens d'évolution de ces rapports sur des dosages qui seront faits sur les eaux estuariennes en période de crue fluviale.

#### V - 3 - 3 - Teneurs en Fe et $SiO_2$ en fonction de la chlorinité

Les teneurs en  $Fe^{+++}$  sont comprises entre 1 et 2 mg/l et restent cantonnées dans ces limites, quelle que soit la chlorinité. Le résultat est à rapprocher de ce que nous avons observé dans les eaux douces de la Loire où les teneurs en Fe sont du même ordre et restent également quasi constantes.

Les teneurs en  $\text{Si O}_2$  sont assez dispersées et malheureusement trop peu nombreuses pour fournir une indication précise de l'évolution de la silice. Il semble cependant qu'il y ait une tendance à la réduction de la teneur en  $\text{Si O}_2$  lorsque la chlorinité augmente :

Si ce fait est confirmé par des mesures ultérieures, on observerait ici une évolution du rapport  $\text{Fe/Si O}_2$  différente de celui noté dans l'étude des eaux douces.

#### V - 3 - 4 - Conclusion

L'étude chimique des eaux saumâtres en fonction de la chlorinité fournit surtout des documents de base pour des recherches futures.

Mais dans l'état actuel des recherches quelques remarques intéressantes peuvent être faites.

- La courbe des teneurs en résidu sec s'écarte de la courbe de  $\sigma_0$ , la différence atteint 500 mg/l à partir de 15 ‰ de chlorinité.

- A chlorinités égales les teneurs en  $\text{Mg}^{++}$  sont notablement plus élevées que celles en  $\text{Ca}^{++}$  ce qui est habituel dans les eaux marines, mais la proportion de  $\text{K}^+$  est intermédiaire entre celles de  $\text{Ca}^{++}$  et de  $\text{Mg}^{++}$ , même pour une chlorinité de 20 ‰, soit pour une salinité de 36 ‰.

Cette répartition est inhabituelle d'après les auteurs (HARVEY-1949, GUILCHER-1957) qui indiquent :

	Pourcentages des sels	Proportions relatives
$\text{K}^+$ .....	1,1	1
$\text{Ca}^{++}$ .....	1,16	1,054
$\text{Mg}^{++}$ .....	3,7	3,363

Ces proportions sont respectées dans le Kangerdlugssuaq, fjord de la côte Ouest du Groenland, ainsi qu'a pu le vérifier l'un de nous. (L.BERTHOIS-1968).

La teneur en  $\text{Fe}^{+++}$  est très faible et quasi constante, elle est semblable à celle des eaux douces. Par contre la teneur en  $\text{Si O}_2$  semble avoir une évolution inverse de celle de la chlorinité.

## CONCLUSIONS GENERALES

Dans la première partie de ce travail, qui est consacrée à l'hydraulique de la rivière du Château, nous avons montré que cet estuaire, malgré ses dimensions réduites, présente tous les caractères essentiels de la dynamique estuarienne.

- Déformation de l'onde de marée lorsqu'on remonte la rivière, qui entraîne dans certains estuaires des phénomènes d'ensablement.
- Renverse de la direction du courant dans la partie aval de l'estuaire.
- Existence de courants de densité pouvant se traduire par des vitesses de sens différents, simultanément sur une même verticale.
- Formation d'une lentille d'eau immobile constituant un "coin salé" qui a une influence notable sur la sédimentation puisqu'il forme un obstacle au passage des sédiments transportés par roulement ou saltation au voisinage du fond.

Nous avons pu montrer au passage que la formule théorique de la géométrie du coin salé s'accordait convenablement avec nos observations. Par contre, celle concernant la stabilité de ce coin salé, qui est appliquée sur les modèles de laboratoire ne semble pas pouvoir être extrapolée aux estuaires naturels.

- Phénomène d'onde stationnaire dans la baie Norvégienne et ses répercussions sur l'écoulement fluvial dans lequel on observe :

- a) la superposition de l'onde secondaire à l'onde de marée,
- b) les variations brusques des conditions d'écoulement de la rivière, se traduisant par un ralentissement ou une accélération momentanée des vitesses du courant coïncidant avec un abaissement brusque de la salinité.

La plupart de ces phénomènes sont connus dans les estuaires, mais l'étude de la rivière du Château, fait ressortir l'intérêt des études sur de petits estuaires, où les mesures sont d'exécution rapide et facile avec des moyens réduits, mais permettent cependant d'observer réellement des phénomènes naturels.

L'étude sédimentologique qui constitue la deuxième partie de ce travail montre que les sédiments recueillis dans le lit fluvial de la rivière du Château procèdent des coulées volcaniques et des moraines qui les ont démantelées et remaniées.

Les gros blocs, dégagés par l'érosion paraissent jouir d'une grande stabilité, les éléments moyens et fins sont seuls remaniés par le courant flu-

vial, cependant celui-ci est impuissant à assurer un triage sélectif et les sédiments sont toujours assez notablement hétérométriques.

Malgré la violence des vents, les remaniements locaux et les accumulations de type dunaire, qu'ils provoquent, n'entraînent pas de sélection granulométrique très marquée. C'est seulement sur la plage de la baie Norvégienne que la mer peut, très localement, effectuer un bon triage.

L'étude minéralogique des sédiments montre qu'ils proviennent du bassin versant de la rivière du Château, s'il existe des matériaux allochtones ils sont certainement rares. Les minéraux des argiles sont pratiquement inexistant.

L'analyse thermique différentielle nous a signalé l'abondance de la matière organique probablement associée à des gels alumino-ferriques. Nous avons cherché à préciser les caractères de cette matière organique, par des dosages de C et N. Ils ont mis en évidence une teneur en carbone, en fonction de la teneur en azote total, qui est supérieure à celles obtenues pour d'autres sédiments de régions froides.

L'étude chimique des eaux de la rivière du Château a été scindée en deux groupes :

a) Les eaux douces de l'amont dans lesquelles ont été examinés les rapports de  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  entre eux et en fonction du résidu sec, puis les rapports de  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Fe}^{+++}$  par rapport à la teneur en  $\text{Si O}_2$ .

Les comparaisons qui ont pu être faites avec les corps en solution dans les eaux de la Loire a permis de souligner l'importance de la nappe phréatique dans l'alimentation de la rivière du Château.

b) Les eaux saumâtres de l'estuaire ont également été analysées et les résultats des dosages présentés en fonction de la chlorinité.

La courbe des teneurs en résidu sec a été comparée à celle des  $\sigma_0$ .

La comparaison des teneurs en  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Mg}^{++}$  en fonction de la chlorinité a mis en évidence une prédominance du  $\text{K}^+$  sur  $\text{Ca}^{++}$  qui est inhabituelle. Elle résulte peut-être de la pénurie relative de minéraux calciques mais plus probablement de l'abondance des feldspaths potassiques dont la Sanidine est le représentant le plus commun dans le bassin de la rivière du Château.

Mais il nous faut bien avouer que cette étude chimique des eaux est incomplète, car nous n'avons dosé qu'un petit nombre de cations sur un nombre insuffisant d'échantillons. Il en résulte que cette ébauche qui répond cependant à quelques questions, pose plus de problèmes qu'elle n'en résoud et ouvre un large champ de recherches futures.

La direction scientifique des T.A.A.F. a bien voulu inclure dans le programme 1968-1969, une nouvelle série de mesures et de prélèvements dans la rivière du Château en périodes de crues fluviales. La nouvelle étude que nous entreprendrons dans une année nous apportera sans doute de précieux renseignements complémentaires.

## Annexe 1

## TABLEAU DES VENTS

Date 1967	Heure locale (T.U. + 5)																Vitesse moyenne en m/s
	2		5		8		11		14		17		20		23		
	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	
Janvier																	
11	26	8	28	6	26	7	26	8	24	19	26	12	28	10	28	11	9
12	28	11	28	8	30	8	30	11	30	12	30	13	30	13	32	20	12
13	30	19	30	6	/	0	26	3	22	2	32	4	2	2	16	16	5
14	18	3	24	8	22	11	22	11	24	11	24	10	28	7	32	7	9
15	32	10	30	12	28	12	28	14	28	13	30	16	28	18	26	12	13
16	26	14	26	14	24	15	24	16	24	15	24	13	24	11	24	4	13
17	26	6	30	5	30	4	30	6	30	12	30	11	32	13	30	11	9
18	30	6	26	7	28	6	28	12	28	12	30	15	30	15	30	15	11
19	30	14	30	14	30	13	30	11	30	13	30	11	30	9	30	7	12
20	28	5	04	5	04	4	10	1	24	2	28	11	28	10	28	9	6
21	28	9	30	8	30	8	26	12	30	12	28	10	26	11	26	11	10
22	24	17	24	11	26	11	24	10	22	11	24	11	24	8	24	5	10
23	32	1	32	1	34	3	20	3	36	6	24	7	06	6	06	5	4
24	10	4	10	3	18	4	18	5	24	4	04	5	36	6	34	7	5
25	32	6	34	12	34	9	34	10	30	11	06	7	28	6	18	4	8
26	02	2	04	2	04	6	04	7	04	7	30	12	36	10	30	7	8
27	28	14	28	14	28	15	26	16	28	16	04	23	26	17	26	15	16
28	26	13	24	10	24	13	24	12	24	15	28	13	22	13	24	8	12
29	28	4	32	3	30	8	34	12	28	9	24	16	28	13	28	14	10
30	28	15	30	9	28	7	26	4	24	11	26	10	24	11	22	14	10
31	24	12	22	9	24	10	22	11	24	9	24	4	/	0	02	6	8



Février																	
1	02	5	34	5	36	7	36	11	34	11	26	16	26	21	26	17	12
2	26	16	28	14	28	12	28	8	28	9	34	9	/	0	20	11	10
3	22	14	26	7	26	10	24	14	22	12	22	12	24	13	24	9	11
4	24	12	26	7	24	8	30	7	26	10	24	10	28	6	28	5	8
5	28	6	30	11	36	14	02	16	34	15	28	6	/	0	26	17	11
6	28	17	28	14	30	16	30	8	24	7	26	13	26	15	24	17	13
7	26	13	26	11	26	6	24	6	24	7	24	11	24	10	28	7	9
8	24	5	24	4	24	5	24	10	24	12	22	10	22	10	30	4	8
9	32	3	30	4	32	1	30	14	30	6	32	14	30	13	30	7	8
10	28	2	28	4	28	6	28	10	28	13	32	9	30	10	30	2	7
11	30	14	34	6	36	6	32	14	32	15	32	9	32	5	34	14	10
12	34	12	36	15	32	7	32	23	24	14	26	6	28	8	28	5	11
13	26	2	26	6	22	5	26	7	24	5	04	4	36	5	30	6	5
14	32	3	34	4	36	8	26	5	18	6	18	9	20	9	20	7	6
15	22	6	28	9	32	2	32	10	32	12	32	10	30	17	30	8	9
16	30	9	28	10	28	10	28	14	26	10	28	13	30	7	30	9	10
17	30	15	28	10	28	12	28	18	26	12	26	11	26	11	30	11	12
18	30	5	30	3	30	7	30	14	28	11	30	13	32	8	30	7	9
19	28	8	30	7	10	1	24	4	28	8	26	5	30	16	30	8	7
20	30	9	28	4	32	10	30	23	30	23	32	21	28	8	28	13	14
21	28	14	28	16	28	16	28	15	26	15	24	11	26	14	26	10	14
22	26	10	26	7	26	9	26	10	26	9	26	10	28	10	30	8	9
23	30	9	28	10	28	10	28	8	30	7	28	9	28	6	34	5	8
24	34	8	36	9	36	11	36	15	36	20	34	11	36	7	34	14	12
25	32	14	30	15	32	16	26	11	26	18	24	24	24	24	26	15	17
26	26	13	26	10	28	6	28	8	30	11	34	10	36	11	28	11	10
27	30	10	28	11	26	2	28	9	28	10	28	9	32	1	32	5	7
28	28	3	28	3	30	13	32	8	30	15	30	10	34	10	34	21	10

D = Direction du vent suivant une rose de 36 (28 = 280°)

V = Vitesse en m/sec.

/ = Calme

## Annexe 2

## TABLEAU DE LA PRESSION ATMOSPHERIQUE

Tableau de la pression atmosphérique relevée au Laboratoire d'étude des rayons cosmiques situé à Port-aux-Français ; elle est donnée en mm de mercure au-dessus de 700 mm toutes les 2 heures. L'heure indiquée est l'heure T.U. (heure locale - 5)

Date 1967	Heure T.U. (locale - 5)											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Janvier												
11	55	55	56	56	57	57	58	59	59	60	61	62
12	63	64	64	63	62	60	59	57	55	53	53	53
13	53	53	52	51	51	50	50	49	48	48	48	49
14	50	52	53	54	54	55	55	54	52	50	46	43
15	43	43	43	43	42	40	39	38	40	42	45	47
16	50	53	56	57	60	61	62	64	65	65	65	66
17	66	65	65	64	63	62	62	61	60	60	60	61
18	62	62	62	62	61	61	60	60	60	60	60	60
19	61	61	61	62	61	61	59	59	59	59	59	58
20	59	59	58	57	56	56	56	56	55	55	55	54
21	54	54	53	52	52	51	51	52	52	53	54	56
22	57	57	57	58	58	59	59	59	59	59	59	58
23	57	57	56	55	55	56	56	57	57	57	58	59
24	60	61	61	62	62	62	62	63	62	62	61	60
25	60	58	58	56	56	56	56	56	56	57	57	57
26	57	55	53	51	48	45	41	40	39	39	39	40
27	40	41	42	43	44	45	45	46	46	46	46	47
28	48	49	51	53	55	56	57	58	58	58	58	56
29	54	52	46	44	45	46	46	46	46	46	45	45
30	45	45	45	46	47	50	52	54	56	57	58	60
31	61	62	63	63	63	63	63	62	60	59	58	56
Février												
1	54	52	51	50	50	50	50	50	51	51	52	51
2	51	51	49	47	45	41	39	39	41	44	46	47
3	49	51	53	56	58	60	62	63	65	66	67	68
4	69	69	69	69	69	69	69	69	68	67	65	62
5	59	55	50	46	44	42	38	38	38	39	40	41
6	40	39	37	36	37	38	40	41	42	43	46	47
7	49	51	52	53	55	56	57	58	59	60	61	62
8	63	64	65	66	66	67	68	68	68	68	68	67
9	65	64	63	61	60	59	59	59	60	61	61	62

10	63	63	64	64	64	64	64	64	64	62	61	60
11	60	59	59	59	59	58	58	57	56	54	52	46
12	45	45	47	50	52	54	55	56	57	57	57	57
13	58	58	58	58	57	58	58	58	58	57	56	54
14	52	50	48	48	48	50	52	55	59	61	62	63
15	65	65	65	64	62	61	59	57	56	56	56	57
16	58	59	60	60	61	61	62	62	62	62	62	60
17	59	58	58	59	60	61	62	62	63	63	63	64
18	64	65	65	65	65	65	65	65	65	66	65	65
19	65	65	64	63	62	61	59	58	56	54	53	52
20	52	52	51	50	49	49	49	50	50	51	52	53
21	54	56	57	59	60	62	63	65	67	68	69	70
22	71	72	72	73	73	73	73	72	72	72	72	71
23	71	71	71	71	70	69	69	69	68	67	65	63
24	60	58	54	51	49	48	48	47	46	44	42	42
25	41	40	41	44	47	49	53	55	58	60	61	62
26	63	63	63	62	61	59	57	56	56	57	58	58
27	59	60	61	61	62	63	63	63	62	61	60	59
28	59	59	59	58	58	56	55	53	50	46	44	41
29	40	40	40	40	41	42	42	43	43	43	43	44

## BIBLIOGRAPHIE

- Anonyme (1965) - Marée à Port-aux-Français - Iles de Kerguelen. Cahiers Océanographiques, XVII, 7, pp.494-496.
- AUBERT M.A. (1966) - Contribution à l'étude sédimentologique de quelques matériaux marins et lacustres dans l'archipel de Kerguelen. Diplôme d'Etudes supérieures. Labo. Géol. Sorbonne.
- BELLAIR P. (1965) - Un exemple de glaciation taberrante. Les îles Kerguelen. Bull. C.N.F.R.A. - N° II - pp.1-27.
- BELLAIR P. (1965) - Niveaux marins aux îles Kerguelen. C.R.A.S. T. 262 - pp.1185-1187.
- BELLEVAUX C. (1966) - Etude des courants induits par les vents sur l'océan Indien, par la méthode des analogies électriques. Bull. Ass. Fr. Etude Gr. Prof. Océan. n° 5, p.21.
- BERTHOIS L. (1950) - Drague à éléments multiples - Bull. Soc. Scient. de Bretagne. T. XXV, pp.63-64.
- BERTHOIS L. (1965) - Techniques d'études estuariennes. Centre Docum. Univ. Paris 144 p.

- BERTHOIS L. (1968) - Contribution à l'étude sédimentologique du Kangerdlugssuaq. Côte Ouest du Groenland. Medd om Grønland-Bd 187 - N° I - Vol. 7, n° 3, 185 p. (sous presse).
- BOUASSE H. (1924) - Houle, rides, seiches et marées. Paris. Delagrave Ed. 516 p. 199 fig.
- CHIA-SHUN YIH (1965) - Dynamics of non homogeneous fluids - Mac Millan Co of New York, 306 p.
- CLOS-ARCEDEC A. (1963) - Etude simultanée des seiches et de l'alluvionnement. Cahiers Océanographiques, XV, 1, p.53.
- COUR P. (1964) - Contribution à l'étude hydrographique et hydrologique de quelques cours d'eau de la péninsule Courbet (Archipel de Kerguelen). Bull. C.N.F.R.A., Vol.I, N°4, pp.93-107.
- GOUGENHEIM A. (1955) - Les seiches marines, état actuel de la question. Cahiers Océanographiques, VII, 2, p.251.
- GOUGENHEIM A. (1959) - Cours de pratique des marées. Ecole d'Application du Serv. Cent. Hydrog., Paris. (Marées fluviales Chap.16).
- GUILCHER A. (1957) - Cours d'Océanographie. Centre de Doc. Univ., Paris, 195 p.
- GUILCHER A. (1965) - Précis d'Hydrologie marine et continentale. Masson Edit., Paris, 390 p., 217 fig.
- HARVEY H.W. (1949) - Chimie et biologie de l'eau de mer (Trad. Cl. Francis-Boeuf et Cl. Lalou). Press. Univ. Fr., 177 p.
- JEREMINE E. et SANDREA A. (1958) - Contribution à la lithologie de l'archipel volcanique de Kerguelen. Péninsule Courbet. Bull. Volcanol., Série II, T. XIX, pp.179-193 et 5 pl.
- KNUDSEN M. (1901) - Hydrographical tables. International Committee Charlottenlund, Copenhagen. Ed.1953, 63 p.
- LACOMBE H. (1960) - Cours de dynamique des mers (Circulation générale, houles et vagues). Ec. d'Ap. du Serv. Cent. Hydrog., Paris.
- LANG J. (1967) - Contribution à l'étude sédimentologique du golfe du Morbihan. Thèse Ing. Docteur - Paris 1967.
- LARRAS J. (1964) - Embouchures, estuaires, lagunes et deltas. Eyrolles Edit., Paris, 171 p.

- LISITZIN E. (1960) - L'effet de la pression atmosphérique sur les variations du niveau des océans. Cahiers Océanographiques; XII, 7, p.461.
- ROMANOVSKY V. (1953) - Etude de la seiche dans l'anse de Saint-Roch à Antibes. Bull. du C.O.E.C. V, 3, pp.114-118.
- ROMANOVSKY V. (1956) - La seiche du port de Bonifacio (Corse). Bull. du C.O.E.C., VIII, 3, pp.129-132.
- ROUCH J. (1943) - Traité d'Océanographie physique. Payot Edit. Paris. 256 p., 100 fig., 11 tableaux.

551.465.78

551.468.6

13 JANV 1970

Comité National Français  
des Recherches Antarctiques

# CNFRA

Le Cours inférieur  
et l'estuaire de la rivière du Château  
en période d'étiage (Iles de Kerguelen)

par Léopold BERTHOIS et Philippe BOIS



Extrait des "cahiers océanographiques", XXI, 8 (septembre-octobre 1969)

B32881