

Uen

# MÉMOIRES DE L'INSTITUT SCIENTIFIQUE DE MADAGASCAR

Série F. — Tome II. — 1958

## ETUDE HYDROLOGIQUE DE L'ESTUAIRE DE FASCENE A NOSY BE (MADAGASCAR) DURANT LA SAISON DES PLUIES 1956

par

M. MENACHE

L'étude des estuaires pose à l'océanographe physicien tout un ensemble de questions théoriques et pratiques de haut intérêt. Depuis que les recherches de PRENANT et DUVAL ont montré que le flot de marée et l'eau douce ne se mélangeaient pas instantanément mais pouvaient se superposer, ménageant des poches salées au sein d'un milieu fluvial, les zoologistes et les botanistes ont recherché, dans les modalités de cette superposition et dans les conditions du mélange, l'explication des faits de répartition estuarienne. Ils n'y recherchaient pas seulement les raisons de répartition en apparence aberrantes, mais aussi la prévision du comportement des animaux et des plantes dans un estuaire donné.

Les estuaires ont été de tous temps les points d'embarquement du bois d'œuvre, les points de mouillage des bateaux, des zones d'intense navigation artisanale ou industrielle. Or, la répartition des eaux douces et salées, leur mélange rapide ou lent, conditionnent la répartition des tarets destructeurs du bois d'œuvre ou des coques en bois, la densité et la rapidité de développement des Algues, des Hydraires, des Ascidies et des Bryozoaires qui encrassent les coques de métal ou de bois, en région tropicale la vitesse de croissance des massifs de coraux. De même, c'est du mélange des eaux douces et salées associé aux mouvements des marées que dépendent une série d'effets physiques : corrosion des métaux immergés (coques, chaînes, palanques, pylônes), flocculation et précipitation des argiles colloïdales arrachées par les fleuves aux zones qu'ils traversent (et par suite zone de sédimentation et comblement des ports). De ces effets physiques dépendent encore d'autres faits biologiques : définition des régions de ponte ou de concentration des Poissons en fonction de la turbidité, de la salinité et de la température.

14

5 FEV. 1969

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° / 2921

Ces quelques exemples suffisent à montrer l'importance de l'étude des estuaires et l'intérêt qu'il y aurait à définir les conditions particulières du mélange des eaux dans chaque grande région. Ceci a été si bien compris que dans beaucoup de pays les estuaires ont retenu l'attention des océanographes, et cela en France (où M. MÉNACHÉ a lui-même étudié un estuaire près de Concarneau), en Angleterre (où l'on sait l'œuvre du laboratoire maritime de Plymouth) aussi bien qu'en Australie.

Mais les études faites en région tropicale sont relativement peu nombreuses et pourtant les conditions spéciales de température, et souvent de composition des eaux douces (en pays latéritisé) qui y règnent, rendent leur examen détaillé particulièrement nécessaire. On ne peut en effet se borner à extrapoler pour ces régions à partir des faits obtenus en climat tempéré. A Madagascar la côte Ouest, avec la série des grands fleuves qui y aboutissent (Onilahy, Mangoky, Tsiribihina, Manambolo, Mahavavy du Sud, Betsiboka, Mahajamba, Sofia, Sambirano, Mahavavy du Nord, pour ne citer que les principaux), et les problèmes économiques associés (ports, pêche), méritait au premier chef une analyse des conditions réalisées. Avant de procéder à l'étude des grands estuaires, étude que les conditions géographiques rendraient nécessairement plus superficielle, il paraissait indispensable d'examiner en détail les faits sur un estuaire de dimensions modestes, aisément accessible.

C'est ce qui a motivé la présente étude dont l'objet était de définir -- dans les conditions particulières du climat du Sambirano -- les modalités du mélange des eaux salées de flux et des eaux douces de la rivière et ce qui a entraîné le choix de l'estuaire de Fascène. Celui-ci, par sa proximité d'avec la Station de Nosy Be et par ses caractères en somme classiques, convenant parfaitement à une première confrontation.

R. PAULIAN

\*\*

#### ESTUAIRE DE FASCÈNE

L'estuaire de Fascène se situe à l'Est de Nosy-Bé. En amont, il peut être délimité par le pont routier qui conduisait à l'ancien terrain d'aviation. Ce pont n'est en effet pratiquement jamais atteint par la marée. A partir de ce pont, le cours d'eau serpente suivant un dessin sinueux (fig. 1) entre la route qui mène au village de Fascène et l'actuel terrain d'aviation et débouche à environ 1.400 m du pont, dans une large baie peu profonde (baie de Fascène). Cette baie se

trouve barrée vers le large par un petit flot volcanique qui peut correctement servir à délimiter hydrologiquement l'estuaire vers l'aval.

En amont du pont routier, il n'y a pratiquement pas d'eau de mer ; en aval de l'îlot, et sauf sur une très mince couche superficielle, on trouve pratiquement de l'eau de mer pure.

La longueur totale de l'estuaire ainsi délimité (pont routier-flot) est légèrement inférieure à 3 km (2.900 mètres environ). Le mélange des eaux douces de la rivière et de mer du large se fait entre ces deux limites, et notre étude s'est bornée à cet intervalle.

Entre le pont et le point où l'estuaire débouche dans la baie (embouchure) la largeur moyenne varie entre 10 et 20 mètres. Dans cette partie de l'estuaire, la profondeur moyenne (aux mi-marées) varie considérablement, d'un point à un autre, de quelques centimètres à 3,5 m.

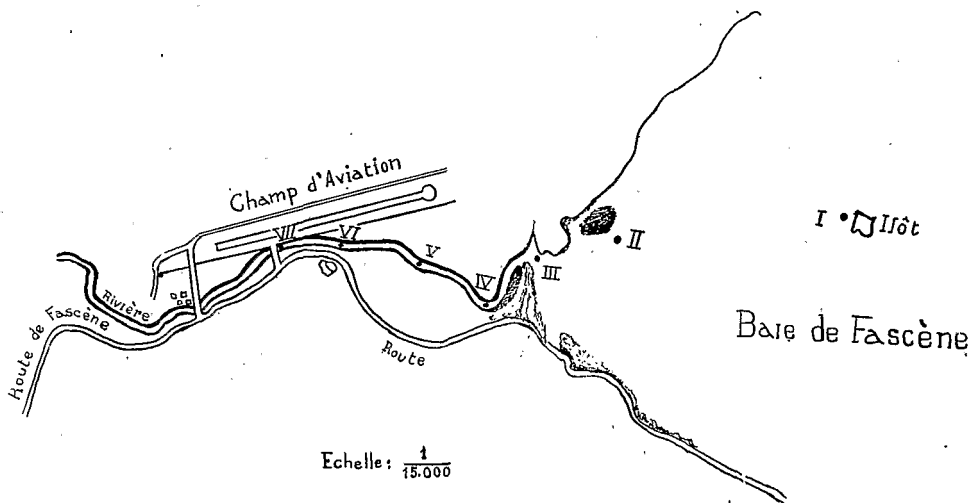


Fig. 1. — Plan de l'estuaire de Fascène et position des Stations fixes d'observation.

La pente du sol, le long du chenal, ne varie pas d'une façon continue. Quand on parcourt ce chenal dans un certain sens, on trouve des montées et des descentes (cf. fig. 2). Certaines dépressions, barrées dans les deux sens par des talus plus élevés, se remplissent en pleine mer, mais ne se vident pas totalement de leur eau salée lorsque la marée se retire. La plus grande de ces dépressions rencontrées, profondeur moyenne 3,5 m, correspond à une fosse au voisinage d'un parc à bœufs (Station IV).

Entre l'embouchure et l'îlot, la baie de Fascène a un fond peu accidenté. Aux grandes marées, presque toute la baie découvre par

basse-mer, révélant un chenal ramifié où la profondeur, toujours faible, varie d'une ramification à une autre.

Le fond est recouvert de sable et de gravier, sauf en quelques endroits de la rive près de l'embouchure, et en quelques points de la baie, où l'on trouve de la vase.

Le chenal, entretenu par le cours d'eau douce, est toujours recouvert de gravier.

La figure 1 qui reproduit le tracé de l'estuaire à l'échelle 1/15.000 est tirée d'une photographie aérienne verticale qui nous a aimablement été communiquée par le Service géographique de Madagascar.

#### ÉLÉMENTS DE LA MARÉE

Les éléments de la marée (heure et hauteur) auxquels se rapportent nos différentes observations, et qui sont mentionnés sur les figures et aux tableaux d'observations, sont tirés des indications de l'Annuaire des Marées pour le port d'Hellville, proche de l'estuaire de Fascène.

Toutes les valeurs des heures et hauteurs de pleine et basse mer figurant sans mention spéciale dans cette étude se rapportent au port d'Hellville.

#### OBSERVATIONS

Elles ont porté sur la température, la salinité et l'oxygène dissous. Elles ont eu lieu en morte eau et en vive eau, par pleine mer, basse mer et aux deux mi-marées.

Nous disposions pour nos déplacements sur le cours d'eau d'une embarcation pneumatique à rames, plutôt lente, alourdie par le matériel de travail qui s'y trouvait. Très souvent nous étions contraint de quitter l'embarcation et de la porter à bras pour lui faire franchir des passages obstrués par des épaves (troncs d'arbre, touffes de bambou) ou insuffisamment profonds. Une série d'observations ayant pour objet d'étudier la structure hydrologique de l'estuaire à un instant donné de la Marée (PM, BM, mi-marée) durait généralement deux heures. Nous devons donc la commencer une heure trop tôt et la terminer une heure trop tard.

Dans ces conditions, la simultanéité des observations se rapportant à un instant donné de la marée était difficile à admettre. Pour nous faire une idée de l'erreur commise par cette non simultanéité, des séries d'observations rigoureusement simultanées ont été effectuées les 3 et 10 juin (successivement morte eau et vive eau) d'heure en heure, environ entre 8 et 17 h 30, en 7 points répartis le long de l'estuaire (Stations I à VII, fig. 1). Ces observations ont porté sur la salinité seulement. Nous y reviendrons un peu plus loin.

Pour faire nos observations toujours aux mêmes points, nous avons, à deux reprises, planté des perches graduées le long du chenal. Ces perches ont été, les deux fois emportées par des crues violentes et nous avons dû finalement renoncer à ce procédé. De ce fait, les stations d'observation ont été choisies, chaque fois, par rapport à des repères voisins (arbres, parc à bœufs, forme caractéristique de la rive...). Elles ne se faisaient donc pas rigoureusement aux mêmes endroits et *pas toujours dans le chenal*. Le tracé du profil du fond se trouve ainsi légèrement modifié d'une série d'observations à une autre.

ETUDE DE LA MARÉE ET OBSERVATIONS SIMULTANÉES DE LA SALINITÉ LE LONG  
DE L'ESTUAIRE

L'Annuaire des Marées des Territoires français d'Outre-Mer et de quelques Ports étrangers pour l'an 1955 fournit des indications sur les heures et hauteurs des PM et BM dans le port d'Hellville. Nous avons voulu savoir, d'une part, si ces caractéristiques de la marée étaient les mêmes à l'entrée de la baie de Fascène et étudier, d'autre part, le mode de propagation de la marée dynamique le long de l'estuaire.

Cette étude a été faite le 3 juin en morte eau et le 10 juin en vive eau, environ de 8 h à 17 h 30. Sept stations réparties le long de l'estuaire ont été choisies et concrétisées par des perches graduées plantées dans le chenal. Nous nous trouvions vers la fin de la saison des pluies et les perches ont pu être maintenues en place durant le temps nécessaire.

Voici la position de ces stations, dont les emplacements sont marqués sur la fig. 1 :

STATION N°		DISTANCE DE L'ENTRÉE DE LA BAIE (ILOT St. I)	DISTANCE DE L'EMBOUCHURE (St. III)
I	Ilot .....	0 m	1 450 m
II	Palétuviers .....	1.040 m	410 m
III	Embouchure .....	1.450 m	0 m
IV	Parc à bœufs .....	1.770 m	320 m
V	Mi-distance entre IV et VI .....	2.150 m	700 m
VI	Point d'accès à la rivière à partir de la route ...	2.550 m	1.100 m
VII	Pont routier .....	2.870 m	1.420 m

A toutes les observations hydrologiques que nous avons faites jusqu'en juin, nous n'avons jamais trouvé trace d'eau de mer devant le pont routier. Ce point ne semble donc pas affecté par la marée et il

était en tous cas inutile d'occuper la Station VII durant la Marée de morte eau du 3 juin.

Nous avons voulu vérifier que les marées de vive-eau des 9 et 10 juin (amplitude moyenne 3,7 m) n'atteignaient pas non plus cette Station. Celle-ci a donc été occupée le 9 juin de 15 h 35 à 17 h 40 durant les deux heures qui encadrent la pleine mer à Hellville (PM à 16 h 36). Durant ces deux heures, la perche graduée a été continuellement surveillée et des échantillons d'eau ont été prélevés toutes les demi-heures. Aucune dénivellation sensible n'a été observée et tous les échantillons récoltés avaient une salinité nulle.

Ces constatations nous ont autorisé à ne pas occuper davantage la Station VII le 10 juin, ce qui nous a permis de faire l'économie d'un observateur.

La station I (flot) a été occupée par l'auteur, les Stations II à VI par cinq observateurs improvisés et hâtivement initiés à ce genre de travail.

Il ne nous a pas été possible d'augmenter davantage le nombre des stations d'observation par suite de la difficulté de rassembler un plus grand nombre d'observateurs compétents et surtout de pirogues (1).

Durant les deux journées d'observations, les six perches graduées placées aux Stations I à VI ont été continuellement observées et le niveau de l'eau noté à intervalles de temps rapprochés, environ toutes les minutes au voisinage des PM et BM, cet intervalle de temps augmentant progressivement jusqu'au quart d'heure vers la mi-marée.

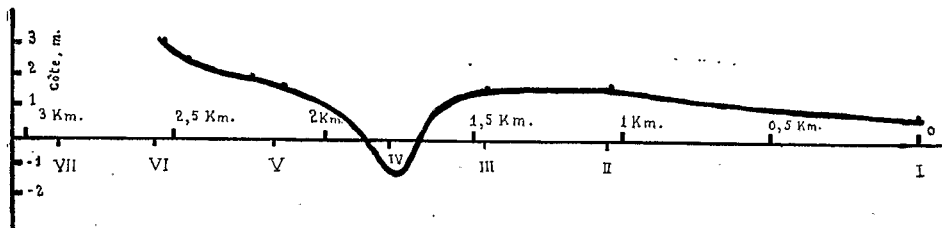


Fig. 2. — Tracé schématique du profil du fond du chenal suivant l'axe de l'estuaire, avec les positions des Stations fixes d'observation. Les côtes sont rapportées au zéro des cartes marines.

Les perches ont été graduées en décimètres et les lectures ont été interpolées au centimètre. Au voisinage des pleine et basse mer, un double-décimètre était attaché contre la perche, permettant ainsi une

(1) Nous tenons ici à exprimer notre respectueuse gratitude à Monsieur le Mpanjaka Amada, Gouverneur, Chef des Tribus Sakalava Bemihisatra, dont l'autorité nous a valu la sympathie active de la population de Fascène et assuré le concours des pirogues dont nous avons besoin les 3 et 10 juin, et dont certaines ont dû être amenées du village voisin d'Ambatozavavy.

estimation précise des variations du niveau de l'eau et une détermination suffisamment exacte des sommets de la courbe de marée.

Ces observations, outre les renseignements qu'elles nous ont fournis sur la marée, nous ont permis de déterminer avec une précision satisfaisante par rapport au zéro des cartes marines, la cote du fond aux Stations I à VI, et d'avoir ainsi une image schématique du profil de ce fond suivant l'axe de l'estuaire (fig. 2).

Nous avons par ailleurs profité de l'existence simultanée de six observateurs échelonnés le long de l'estuaire pour faire procéder à des prises d'échantillons d'eau d'une façon parfaitement synchrone, d'heure en heure, certaines de ces prises d'échantillons se situant aux instants exacts de pleine mer, de basse mer et de mi-marée à Hellville.

Ces échantillons d'eau ont été récoltés sans précautions spéciales, en vue seulement de la détermination de la salinité. Il n'était en effet guère possible d'espérer obtenir d'observateurs hâtivement improvisés, ni des observations correctes de la température ni, dans la collecte et la manipulation des échantillons d'eau, les précautions indispensables au dosage de l'oxygène dissous.

Nous avons pu ainsi tracer d'heure en heure le profil instantané des isohalines le long de l'estuaire durant une marée de morte-eau et une marée de vive-eau (fig. 10 à 28).

#### MATÉRIEL ET MÉTHODES D'OBSERVATIONS

A chaque station, et pour les profondeurs supérieures à 50 cm, les observations étaient faites à quatre profondeurs régulièrement réparties : surface, fond et deux profondeurs intermédiaires. Pour des profondeurs inférieures ou égales à 50 cm, le nombre d'observations était réduit à trois ou même à deux (surface et fond).

#### OBSERVATIONS EN SURFACE — BOUTEILLES A CONSERVATION DES ÉCHANTILLONS D'EAU

L'échantillon de surface était directement recueilli à l'aide de la bouteille qui devra le conserver jusqu'au moment des analyses (bouteille à conservation). Il s'agit d'une bouteille en verre de 200-300 ml, portant gravé un numéro d'identification, fermée soit à l'aide d'un bouchon en verre rodé, soit par un système analogue à celui qui équipait les anciennes canettes à bière.

La bouteille est d'abord remplie d'eau de surface et maintenue une minute immergée dans la couche superficielle. Un thermomètre au 1/10° C y est alors plongé et la température notée.

La bouteille est ensuite vidée, puis remplie à nouveau avec précautions de manière à éviter toute agitation à l'intérieur et tout brassage d'air. Pour cela, elle est d'abord maintenue presque horizontale,

une partie seulement de l'orifice se trouvant sous le plan d'eau. L'eau y pénètre doucement. Au fur et à mesure que la bouteille se remplit, on en fait basculer le fond jusqu'à la position verticale finale. Totalement pleine, elle est bouchée de façon à éviter d'y emprisonner de l'air.

#### OBSERVATIONS AU-DESSOUS DE LA SURFACE — BOUTEILLE A PRÉLÈVEMENT

Les prélèvements au-dessous de la surface sont faits à l'aide d'une bouteille en verre (fig. 3), d'un litre de capacité, ayant, outre l'orifice classique à sa partie supérieure, un second orifice horizontal au niveau de son fond.

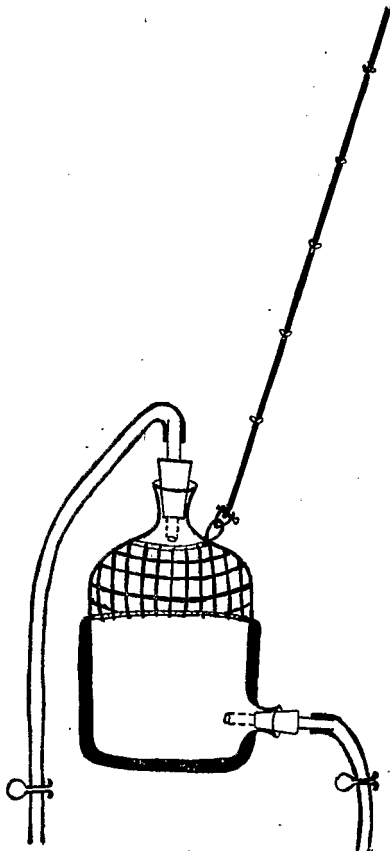


Fig. 3.  
Bouteille à prélèvement.

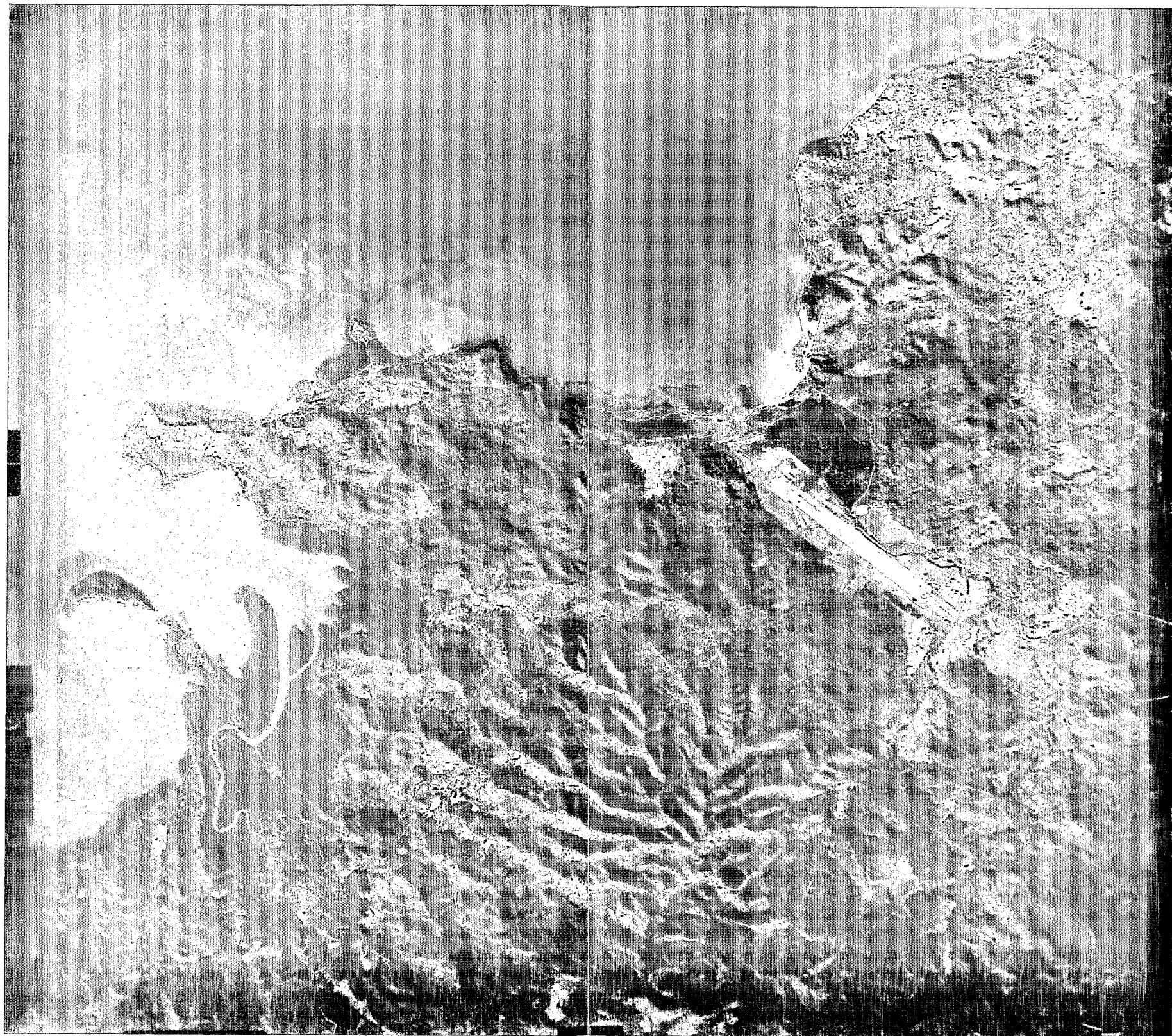
Un bouchon en caoutchouc, traversé par un tube de verre de quelques millimètres de diamètre et de 5 à 6 cm de long est enfoncé dans chacune des deux ouvertures. Le tube de verre supérieur se termine par un tuyau en caoutchouc de 4 m de long. Une pince métallique permet, à volonté, d'obturer ou d'ouvrir ce tuyau en caoutchouc.

La bouteille est lestée par un manchon cylindrique en plomb et suspendue à une corde graduée en mètre.

Pour procéder à un prélèvement d'eau, le tuyau de caoutchouc est d'abord obturé et la bouteille rapidement descendue à la profondeur désirée. Elle est maintenue verticale par le lest en plomb. Au cours de la descente, une quantité négligeable d'eau, provenant des couches supérieures, arrive à pénétrer dans la bouteille. La pince est alors desserrée, l'air contenu dans la bouteille s'échappe par le tuyau de caoutchouc et l'eau pénètre doucement par la tubulure inférieure. Suivant la profondeur de l'immersion, la bouteille est remplie en 2 à 3 minutes. Le tuyau de caoutchouc est alors obturé et la bouteille rapidement remontée.

Un tuyau de caoutchouc d'environ 15 cm de long est rapidement adapté au tube de verre inférieur et plongé dans une bouteille à conservation, *son extrémité atteignant le fond de la bouteille*. La pince





est desserrée ; l'eau remplit la bouteille à partir du fond et le trop-plein s'écoule par le haut. La quantité d'eau entrée en contact avec l'air primitivement contenu dans la bouteille à conservation est progressivement évacuée et remplacée par une eau n'ayant pas eu de contact avec l'atmosphère. On laisse ainsi s'écouler environ 500 ml, puis on retire doucement le tube de caoutchouc et on bouche la bouteille à conservation, en évitant d'y enfermer de l'air.

On note enfin le numéro de la bouteille à conservation.

#### ORDRE DES TITRATIONS

A la fin d'une série d'observations échelonnées le long de l'estuaire, les échantillons d'eau sont ramenés au laboratoire et l'oxygène dissous titré dans les quelques heures qui suivent. Les flacons sont ensuite bouchés jusqu'au moment où la salinité pourra être titrée.

#### DÉTERMINATION DE L'OXYGÈNE DISSOUS

Méthode de Winkler modifiée par KROGH (7,8) : la réaction de réduction se passe dans le corps d'une seringue-pipette de précision, à l'abri de tout contact avec l'air atmosphérique.

#### SERINGUE-PIPETTE DE KROGH

Il s'agit d'une seringue de précision en verre (fig. 4, a) parfaitement cylindrique et rectiligne. La face inférieure P' du piston est taillée suivant un plan perpendiculaire aux génératrices du cylindre. Rodage soigné, assurant un contact parfait entre le piston et les parois intérieures de la seringue.

L'appareil est terminé par une tige capillaire en verre, c, appelée *canule*, soudée à son extrémité inférieure et communiquant avec l'intérieur du cylindre.

L'espace compris entre l'extrémité inférieure du piston dans sa position la plus basse et la pointe p de la canule est *l'espace mort*. Il a pour volume  $v_1$ . Si la seringue est remplie de liquide, tournée de manière à diriger la canule vers le haut, puis vidée doucement, l'espace mort reste rempli d'un volume  $v_1$  de liquide.

$b_1$  est une *première butée* fixée sur l'une des deux tiges métalliques t, t'. Cette butée arrête le piston lorsque l'extrémité supérieure de ce piston se trouve placée suivant la fig. 4, b. Le piston peut être dégagé de cette butée et continuer sa course vers le haut, par une légère rotation qui amènerait P à la position de la fig. 4, c.

La position de la butée  $b_1$  est réglée de manière que le volume intérieur  $V$  de l'appareil, non compris celui  $v_1$  de l'espace mort, soit égal ou très voisin de 10 ml. Si la seringue est remplie de liquide jusqu'à ce que le piston soit arrêté par la butée  $b_1$ , le volume total du liquide qu'elle contient est  $V + v_1$ . Vidée doucement dans un récipient elle délivre un volume  $V$  de liquide, l'espace mort restant plein.

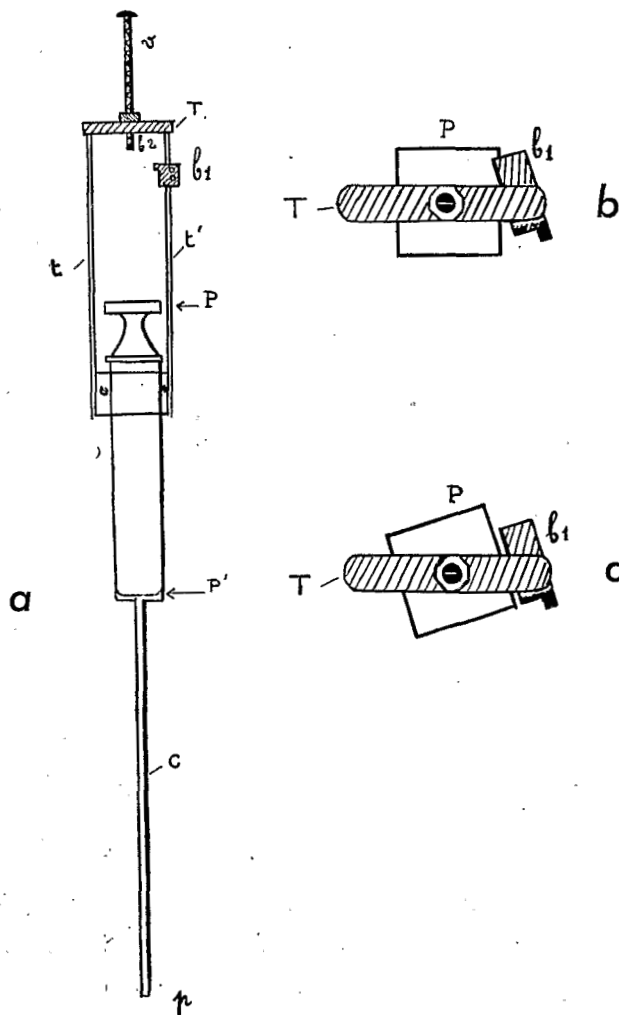


Fig. 4. — a : Seringue-pipette de Krogh ; b : Position du piston arrêté par la butée  $b_1$  ; c : Position du piston le dégageant de la butée  $b_1$ .

Le volume  $V$  doit être connu à une précision au moins égale à 0,005 ml.

Le métal des tiges  $t$  et  $t'$  est choisi de manière que sa dilatation thermique compense dans une large gamme la température celle du corps de la seringue.

$v$  est une vis micrométrique, réglable par rapport à la tige  $T$ . Son extrémité  $b_2$  sert de deuxième butée pour limiter la course du piston vers le haut. Lorsque le piston se déplace de la première butée à la seconde, le volume additionnel de liquide aspiré dans la seringue est  $v_2$ .

Nous avons réglé la position de la vis micrométrique de manière à avoir :

$$v_2 = \frac{v_1}{2}$$

Les volumes  $v_1$  et  $v_2$  n'ont besoin d'être connus qu'à la précision de 0,1 ml.

La seringue-pipette dont nous nous sommes servi pour les dosages avait les caractéristiques suivantes :

volume de l'espace mort	$v_1 = 0,23$ ml
volume du corps de la seringue	$V = 10,100$ »
volume additionnel	$v_2 = 0,11$ »

#### PRINCIPE DU DOSAGE

Deux réactifs, I (NaOH+KI) et II (Mn Cl<sub>2</sub>), doivent être mélangés, non directement, mais au sein de l'eau à titrer et en l'absence de l'oxygène de l'air. Dès la sédimentation du précipité produit, on acidifie et on titre l'iode ainsi libéré à l'aide d'une solution titrée de thio-sulfate de sodium en présence d'empois d'amidon.

*La réaction principale se fait à l'intérieur de la seringue, à l'abri de l'air.*

L'espace mort est d'abord rempli de réactif I (volume  $v_1$ ). La pointe de la canule est alors trempée dans l'eau à titrer et la pipette remplie jusqu'à la première butée  $b_1$ . Volume d'eau prélevé :  $V$ . Le réactif I a servi de tampon protecteur, empêchant tout contact de l'eau prélevée avec l'air. En plus, ce réactif I est mélangé intimement à l'eau remplissant la seringue. La pointe de la canule est alors trempée dans le réactif II et le piston remonté jusqu'à la deuxième butée  $b_2$ . Volume de réactif prélevé :  $v_2$ .

Une légère agitation suffit à mélanger le réactif II au reste de liquide. Quelques minutes suffisent à la sédimentation du précipité.

La seringue est alors vidée dans un petit verre à réaction contenant 3 gouttes d'acide orthophosphorique, la pointe de la canule maintenue au-dessous de la surface de l'acide. De l'iode est libéré. Le contact de l'air n'a alors plus d'inconvénient.

L'iode est titrée à l'aide d'une solution *étalonnée* de thiosulfate de sodium en présence d'empois d'amidon.

#### RÉACTIFS

##### RÉACTIFS I ET II.

1° *Pour les analyses d'eau douce (8)* .

Réactif I (volume  $v_1$ ) : 33 g NaOH

10 g KI

dissoudre dans de l'eau distillée et compléter à 100 ml ;

conservé dans un flacon brun muni d'un bouchon de *liège*.

Réactif II (volume  $v_2$ ) : 40 g  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

à dissoudre dans de l'eau distillée et compléter à 100 ml.

Proportions des deux réactifs :

$$\frac{\text{Réactif I } v_1 \cdot 2}{\text{Réactif II } v_2 \cdot 1} = \frac{2}{1}$$

Le mélange des deux réactifs dans les proportions ci-dessus contient, par litre, 3,4 ml d'oxygène dissous TPN (température et pression normales : 0° C et 760 mm de mercure).

2° *Pour les analyses d'eau de mer (4)* :

Diluer 4 fois le réactif I et 2 fois le réactif II et prendre  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{4}{1}$

Le mélange des deux réactifs avec les dilutions et dans les proportions ci-dessus contient, par litre 5,4 ml d'oxygène dissous TPN.

*Pour notre étude d'estuaire*, nous avons dilué deux fois les deux réactifs et pris :

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{2}{1}$$

Nous avons adopté la valeur 4,4 ml par litre pour la concentration en oxygène dissous TPN dans le mélange de ces réactifs. L'erreur qui résulte de l'incertitude sur cette valeur (inférieure ou égale à 1 ml par litre) dans les résultats des dosages, est faible et peut être négligée.

SOLUTION DE THIOSULFATE DE SODIUM (à conserver dans un flacon brun).

N  
Titre : —  
280

0,886 g  $S_2O_3Na_2 \cdot 5H_2O$ , à dissoudre dans de l'eau distillée et à compléter à 1 litre. Stabiliser en ajoutant 5 pastilles de NaOH.

*1 ml de cette solution équivaut à 0,02 ml d'oxygène TPN.*

Le dosage se faisant sur 10 ml d'eau, 1 ml de la solution correspond à 2 ml d'oxygène dissous par litre d'eau.

Le calcul de la teneur en oxygène dissous d'un échantillon d'eau se fait donc très simplement en multipliant par 2 le nombre de ml de la solution de thiosulfate lu sur la microburette.

*Cette solution doit être étalonnée préalablement à son emploi à l'aide d'une solution étalon d'iodate de potassium N/28.*

SOLUTION ÉTALON  $IO_3K$  N/28

Peser 1,274 g  $IO_3K$  RP ; dissoudre dans de l'eau distillée, compléter à 1 litre.

1 ml de cette solution équivaut à 10 ml de la solution de thiosulfate de sodium N/280.

ACIDE

Acide orthophosphorique  $PO_4H_2$  RP concentré.

EMPOIS D'AMIDON 1 %

Dissoudre 1 g d'amidon soluble dans 100 ml de solution saturée de chlorure de sodium. Chauffer jusqu'à obtenir une solution parfaitement limpide et transparente. Laisser refroidir et conserver dans un flacon compte-gouttes.

SOLUTION D'IODURE DE POTASSIUM 1 %

Pour l'étalonnage de la solution de thiosulfate de sodium. Dissoudre 1 g de KI dans 100 ml d'eau distillée.

ÉTALONNAGE DE LA SOLUTION DE THIOSULFATE DE SODIUM

A l'aide d'une pipette étalon, prélever 1 ml de la solution  $IO_3K$  N/28 que l'on fait couler dans un erlenmeyer de 50 ml. Ajouter successivement et dans l'ordre suivant :

20 gouttes de la solution KI 1 %,

4-5 ml d'eau distillée,

4-5 gouttes d'acide orthophosphorique.

De l'iode est libéré que l'on titre à l'aide de la solution de thiosulfate à étalonner, en présence de 3 gouttes d'empois d'amidon.

Pour la solution de thiosulfate, se servir d'une microburette de 10 ml graduée en 0,05 ml et faire les lectures à la précision de 0,01 ml.

Si le volume de la solution de thiosulfate nécessaire à la titration n'est pas exactement 10,00 ml, corriger les résultats des dosages en fonction du titre réel de la solution.

#### CORRECTIONS

Un certain nombre de corrections sont nécessaires dans le calcul des résultats des dosages.

1° *Correction pour tenir compte du titre exact de la solution de thiosulfate lorsque ce titre n'est pas exactement N/280.* — Pour titrer 1 ml de la solution étalon  $\text{IO}_3\text{K}$  N/28, il a fallu A ml de la solution de thiosulfate, A légèrement différent de 10. Tous les résultats des do-

sages devront être multipliés par  $\frac{10}{A}$ .

S'il a fallu n ml de la solution de thiosulfate pour la titration d'un échantillon d'eau, la teneur en oxygène dissous de cet échantillon sera :

$$2n \frac{10}{A} \text{ ml TPN par litre.}$$

Généralement  $A - 10$  est très petit. En posant  $A - 10 = \epsilon_1$ , on a :

$$2n \frac{10}{A} = 2n \left( 1 - \frac{\epsilon_1}{10} \right)$$

$\epsilon_1$  étant pris avec son signe.

2° *Correction inhérente à la méthode.* — La méthode donne, pour une eau saturée en oxygène, des résultats trop faibles de 1 % par rapport à ceux indiqués dans les tables de Fox (3).

Il faut donc, pour rester en accord avec ces tables, *majorer les résultats de 1 %.*

3° *Correction de volume.* — Si le volume V de la seringue n'est pas exactement 10,00 ml, on a  $V = 10 + \epsilon_2$

Les résultats doivent être multipliés par :

$$1 - \frac{\epsilon_2}{10}$$

Nous nous sommes arrangé, en prenant  $V = 10,10$  ml ( $\epsilon_2 = 0,10$  ml) pour que cette correction soit égale et de signe contraire à celle inhérente à la méthode, ce qui nous permet d'éliminer ces deux corrections dans nos calculs.

4° *Correction pour tenir compte de l'oxygène dissous dans les réactifs I et II.* — Le volume total des deux réactifs utilisés dans notre seringue est :

$$v_1 + v_2 = 0,3 \text{ ml}$$

Cette quantité contient  $0,3 \times \frac{4,4}{1000} = 0,0013 \text{ ml}$  d'oxygène.

La titration portant sur 10 ml d'eau, les résultats exprimés en ml d'oxygène dissous par litre d'eau se trouvent ainsi majorés de 0,13 ml. Cette erreur constante est à soustraire des résultats de toutes les titrations.

5° *Correction de sensibilité de l'empois d'amidon.* — Nous avons négligé cette petite correction.

Finalement, avec une solution de thiosulfate N/280, s'il a fallu n ml de cette solution pour le dosage d'un échantillon d'eau, la teneur en oxygène dissous de cet échantillon est

$$2n - 0,13 \text{ ml O}_2 \text{ TPN par litre.}$$

Si la solution de thiosulfate n'est pas exactement N/280 ( $A - 10 = \epsilon_1$ ), cette teneur est égale à :

$$2n \left(1 - \frac{\epsilon_1}{10}\right) - 0,13 \text{ ml O}_2 \text{ TPN par litre}$$

#### EXPRESSION EN % DE SATURATION

La solubilité de l'oxygène dissous dans l'eau au niveau de la mer est à la fois fonction de la température et de la salinité de cette eau.

La comparaison entre les valeurs de la concentration en oxygène dissous de deux échantillons d'eau ayant des températures et salinités différentes est peu significative.

Cette comparaison devient possible si l'on rapporte ces concentrations à la valeur de la saturation de chaque échantillon d'eau pour les température et salinité de cet échantillon.

Le pourcentage de saturation d'un échantillon d'eau ayant une température et une salinité données est :

$$O_2 \% = \frac{O_2 \text{ ml} \times 100}{s}$$

s étant la valeur de la saturation de l'échantillon pour ces température et salinité (2,3).

Nos tableaux de valeurs numériques mentionnent pour chaque échantillon les valeurs de la teneur en oxygène dissous exprimées en ml ( $O_2 \text{ ml}$ ) et en % ( $O_2 \%$ ) de saturation. Seules les valeurs de pourcentage ( $O_2 \%$ ) figurent sur nos graphiques.



## DÉTERMINATION DE LA SALINITÉ

Nous nous sommes contenté de la précision de la première décimale dans la connaissance de la salinité  $S$  ‰.

La *chlorinité* est d'abord titrée volumétriquement comme suit :

10 ml de l'échantillon d'eau sont prélevés à l'aide d'une pipette ordinaire à 2 traits et versés dans un bécher de 50 ml. Quelques ml d'eau distillée sont ajoutés, ainsi que 5 gouttes d'une solution de chromate de potassium 8 %.

Une solution de nitrate d'argent, contenant 47,91 g de  $\text{NO}_2\text{Ag}$  par litre est alors versée, à l'aide d'une burette de 25 ml graduée en 0,1 ml, jusqu'au virage. Il est plus aisé de préparer cette solution en dissolvant 240,7 g de sel d'argent très pur dans 5 litres d'eau distillée. Son titre est choisi de façon que le nombre de ml de cette solution nécessaire à une titration corresponde approximativement à la *chlorosité* de l'échantillon (masse en g d'ions  $\text{Cl}^-$  contenus, à 20° C, dans un litre de l'échantillon, les ions  $\text{Br}^-$  et  $\text{I}^-$  étant assimilés à des ions  $\text{Cl}^-$ ).

Pendant toute la durée de la titration, le liquide contenu dans le bécher est agité à l'aide d'un agitateur magnétique.

On note, par lecture sur la burette, le volume  $a$  de solution de nitrate d'argent utilisé pour la titration.

La solution de nitrate d'argent est elle-même étalonnée à l'aide d'une solution étalon de chlorure de sodium contenant 10 g de chlore par litre.

Cette dernière solution s'obtient en dissolvant 16,479 g de  $\text{NaCl}$  très pur, anhydre, dans de l'eau distillée et en portant le volume à 1 litre.

N.B. — Si l'on veut obtenir une solution contenant exactement 10,000 g de  $\text{Cl}$  par litre à la température  $\theta$  du laboratoire, il faudrait peser (dans l'air, avec masses en laiton), 16,4788 g de  $\text{NaCl}$ , très pur, anhydre, dissoudre cette quantité dans de l'eau distillée et porter le volume à 1 litre.

Le titre exact de cette solution étalon peut être contrôlé à l'aide de l'eau normale.

En fait, la précision cherchée dans nos titrations ne nécessite pas autant de précautions dans la préparation de la solution étalon.

Pour étalonner la solution de nitrate d'argent, on titre à l'aide de cette solution 10 ml de la solution étalon  $\text{NaCl}$  en opérant de la même manière que pour les titrations des échantillons d'eau de mer.

Si  $A$  est le volume de la solution de nitrate d'argent utilisé pour cette titration d'étalonnage, et  $a$  celui utilisé pour la titration d'un échantillon d'eau de mer, la chlorosité de cet échantillon, bien que les

titrations aient été faites à une température différente de 20° C, est, sans erreur sensible :

$$Cl_v = 10 \frac{a}{A}$$

Le tableau I, calculé d'après la formule de THOMPSON (9), permet de passer de la chlorosité  $Cl_v$  à la chlorinité  $Cl \text{ ‰}$  et le tableau II, obtenu à partir des Tables Hydrographiques de KNUDSEN (6), à la salinité  $S \text{ ‰}$ .

#### DENSITÉ

Soit  $d_{\theta}^4$  la densité d'un échantillon d'eau à  $\theta^{\circ} \text{ C}$  par rapport à l'eau distillée à  $4^{\circ} \text{ C}$ . Il est plus commode de représenter cette densité par la grandeur  $\sigma_t$  définie par :

$$\sigma_t = (d_{\theta}^4 - 1) 1.000$$

Aux températures courantes,  $\sigma_t$  est négatif pour l'eau douce et positif pour l'eau de mer.

$\sigma_t$  est obtenu, en fonction de la salinité  $S \text{ ‰}$  et de la température  $\theta$  ( $^{\circ} \text{ C}$ ) à l'aide du tableau III, lui-même établi à partir des Tables Hydrographiques de KNUDSEN.

#### PROPORTION D'EAUX DOUCE ET DE MER CONTENUES DANS UN ÉCHANTILLON

L'eau en un point de l'estuaire étant considérée comme un mélange d'eau douce apportée par la rivière de Fascène et d'eau de mer du large, la proportion entre ces deux eaux peut être calculée à partir de la salinité de l'échantillon en prenant la valeur 35 ‰ pour la salinité de l'eau de mer et 0 ‰ pour celle de l'eau douce. 100 g d'un échantillon d'eau d'estuaire de salinité  $S \text{ ‰}$  contiendront  $X$  g d'eau de mer et  $(100 - X)$  g d'eau douce, le pourcentage  $X$  étant donné par la formule :

$$X \% = \frac{100 S}{35} = 2,86 S$$

$X$  peut également représenter le pourcentage en ml avec une approximation suffisante.

#### TABLEAU I

Corrections permettant de passer de la chlorosité  $Cl_v$  à la chlorinité  $Cl \text{ ‰}$ .

$$Cl \text{ ‰} = Cl_v - \Delta$$

$Cl_v$ de	0 à 6	: $\Delta = 0,0$
»	7 » 11	: » = 0,1
»	12 » 14	: » = 0,2
»	15 » 16	: » = 0,3
»	17 » 19	: » = 0,4
»	20 » 21	: » = 0,5
»	22 » 23	: » = 0,6

TABLE

Valeur de la salinité S ‰ de l'eau de

Cl	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	1,8	3,6	5,5	7,3	9,1	10,9	12,7	14,5	16,3
1	0,2	2,0	3,8	5,6	7,4	9,2	11,0	12,9	14,7	16,5
2	0,4	2,2	4,0	5,8	7,6	9,4	11,2	13,0	14,8	16,6
3	0,6	2,4	4,2	6,0	7,8	9,6	11,4	13,2	15,0	16,8
4	0,8	2,6	4,4	6,2	8,0	9,8	11,6	13,4	15,2	17,0
5	0,9	2,7	4,5	6,4	8,2	10,0	11,8	13,6	15,4	17,2
6	1,1	2,9	4,7	6,5	8,3	10,1	11,9	13,8	15,6	17,4
7	1,3	3,1	4,9	6,7	8,5	10,3	12,1	13,9	15,7	17,5
8	1,5	3,3	5,1	6,9	8,7	10,5	12,3	14,1	15,9	17,7
9	1,7	3,5	5,3	7,1	8,9	10,7	12,5	14,3	16,1	17,9

TABLE

 $\sigma_t$  en fonction de la salinité S

S/θ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
20	-1,8	-1,0	-0,2	0,6	1,3	2,1	2,8	3,6	4,3	5,1	5,9	6,6	7,4	8,1	8,9	9,6	10,4
21	-2,0	-1,2	-0,4	0,3	1,1	1,9	2,6	3,4	4,1	5,0	5,6	6,4	7,1	7,9	8,7	9,4	10,2
22	-2,2	-1,4	-0,7	0,1	0,9	1,6	2,4	3,1	3,9	4,7	5,4	6,1	6,9	7,7	8,4	9,2	9,9
23	-2,4	-1,6	-0,9	-0,1	0,6	1,4	2,1	2,9	3,6	4,5	5,1	5,9	6,7	7,4	8,2	8,9	9,7
24	-2,7	-1,9	-1,1	-0,4	0,4	1,1	1,9	2,6	3,4	4,2	4,9	5,6	6,4	7,1	7,9	8,6	9,4
25	-2,9	-2,1	-1,4	-0,6	0,1	0,9	1,6	2,4	3,1	3,9	4,6	5,4	6,1	6,9	7,6	8,4	9,1
26	-3,2	-2,4	-1,7	-0,9	-0,2	0,6	1,4	2,1	2,9	3,7	4,3	5,1	5,8	6,6	7,3	8,1	8,8
27	-3,5	-2,7	-1,9	-1,2	-0,4	0,3	1,1	1,8	2,6	3,4	4,1	4,8	5,6	6,3	7,0	7,8	8,5
28	-3,7	-3,0	-2,2	-1,5	-0,7	0,0	0,8	1,5	2,3	3,1	3,8	4,5	5,3	6,0	6,7	7,5	8,2
29	-4,0	-3,3	-2,5	-1,8	-1,0	-0,3	0,5	1,2	2,0	2,8	3,5	4,2	5,0	5,7	6,4	7,2	7,9
30	-4,3	-3,5	-2,8	-2,1	-1,3	-0,6	0,2	0,9	1,7	2,5	3,2	3,9	4,6	5,4	6,1	6,9	7,6

## AU II

mer en fonction de la chlorinité Cl ‰

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
18,1	19,9	21,7	23,5	25,3	27,1	28,9	30,7	32,5	34,3	36,1
18,3	20,1	21,9	23,7	25,5	27,3	29,1	30,9	32,7	34,5	36,3
18,4	20,3	22,1	23,9	25,7	27,5	29,3	31,1	32,9	34,7	36,5
18,6	20,4	22,2	24,0	25,8	27,7	29,5	31,3	33,1	34,9	36,7
18,8	20,6	22,4	24,2	26,0	27,8	29,6	31,4	33,2	35,1	36,9
19,0	20,8	22,6	24,4	26,2	28,0	29,8	31,6	33,4	35,2	37,0
19,2	21,0	22,8	24,6	26,4	28,2	30,0	31,8	33,6	35,4	37,2
19,3	21,2	23,0	24,8	26,6	28,4	30,2	32,0	33,8	35,6	37,4
19,5	21,3	23,1	24,9	26,7	28,6	30,4	32,2	34,0	35,8	37,6
19,7	21,5	23,3	25,1	26,9	28,7	30,5	32,3	34,1	36,0	37,8

## AU III

‰ et de la température  $\theta$  (°C)

17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
11,1	11,9	12,7	13,4	14,2	14,9	15,7	16,4	17,2	18,0	18,7	19,5	20,2	21,0	21,8	22,5	23,3	24,0	24,8
10,9	11,7	12,4	13,2	13,9	14,7	15,4	16,2	16,9	17,7	18,5	19,2	20,0	20,7	21,5	22,2	23,0	23,8	24,5
10,7	11,4	12,2	12,9	13,7	14,4	15,2	15,9	16,7	17,4	18,2	18,9	19,7	20,5	21,2	22,0	22,7	23,5	24,2
10,4	11,2	11,9	12,7	13,4	14,2	14,9	15,7	16,4	17,2	17,9	18,7	19,4	20,2	20,9	21,7	22,5	23,2	24,0
10,1	10,9	11,6	12,4	13,1	13,9	14,6	15,4	16,1	16,9	17,6	18,4	19,1	19,9	20,7	21,4	22,2	22,9	23,7
9,9	10,6	11,4	12,1	12,9	13,6	14,4	15,1	15,8	16,6	17,4	18,1	18,9	19,6	20,4	21,1	21,9	22,6	23,4
9,6	10,3	11,1	11,8	12,6	13,3	14,1	14,8	15,6	16,3	17,1	17,8	18,6	19,3	20,1	20,8	21,6	22,3	23,1
9,3	10,0	10,8	11,5	12,3	13,0	13,8	14,5	15,2	16,0	16,7	17,5	18,2	19,0	19,7	20,5	21,2	22,0	22,8
9,0	9,7	10,5	11,2	12,0	12,7	13,4	14,2	14,9	15,7	16,4	17,2	17,9	18,7	19,4	20,2	20,9	21,7	22,4
8,7	9,4	10,1	10,9	11,6	12,4	13,1	13,9	14,6	15,4	16,1	16,9	17,6	18,3	19,1	19,8	20,6	21,3	22,1
8,3	9,1	9,8	10,6	11,3	12,1	12,8	13,5	14,3	15,0	15,8	16,5	17,3	18,0	18,8	19,5	20,3	21,0	21,8

## ETUDE DE LA MAREE

## MARÉE DYNAMIQUE ET MARÉE HALINE

L'expérience nous porte à distinguer entre la marée dynamique, caractérisée par la variation du niveau de l'eau, et la marée haline, caractérisée par le mouvement dans l'estuaire de la masse d'eau de mer venant du large.

La pénétration de l'eau de mer se faisant par le fond, si ces deux marées étaient synchrones, on observerait en un point donné de l'estuaire, au voisinage du fond, un maximum de salinité à l'instant de la pleine-mer. Il n'en a pas été ainsi dans notre étude. La marée haline ne semble pas avoir partout la même phase, ni souvent, la même périodicité que la marée dynamique.

## MARÉE DYNAMIQUE

Les perches sur lesquelles se font les lectures du niveau de l'eau ont été graduées avant d'être plantées dans le sol aux différentes stations d'observation. Une fois en place, l'origine de ces graduations était arbitraire et il a fallu déterminer expérimentalement la cote exacte de cette origine par rapport au zéro des cartes marines pris pour niveau de référence.

Les figures 5 et 6 représentent les courbes expérimentales de la marée dynamique aux stations I à V en morte-eau (3 juin) et I à VI en vive-eau (10 juin). Seules les courbes se rapportant à la station I (entrée de la baie) et qui devront servir de courbes de référence pour l'étude de la marée aux stations plus en amont sont rapportées au niveau de référence. L'origine des hauteurs est arbitraire pour les autres courbes.

Fig. 5. — Marée de morte-eau observée le 3 juin dans l'estuaire de Fascène aux Stations I à V. Les hauteurs, sont rapportées au zéro des cartes marines pour la seule courbe I (entrée de la baie). L'origine des hauteurs est arbitraire pour les autres courbes. Beau temps ; peu nuageux le matin, nuageux l'après-midi ; vent faible.

<i>Marée à Hell-Ville</i> :	PM : 11 h 12	3,0 m	} Amplitude : 1,4 m
	BM : 17 h 35	1,6 m	

Fig. 6. — Marée de vive-eau observée le 10 juin dans l'estuaire de Fascène aux Stations I à VI. Les hauteurs sont rapportées au zéro des cartes marines pour la seule courbe I (entrée de la baie). L'origine des hauteurs est arbitraire pour les autres courbes. Beau temps, très peu nuageux, vent très faible.

<i>Marée à Hell-Ville</i> :	BM : 11 h 30	0,5 m	} Amplitude : 3,7 m
	PM : 17 h 18	4,2 m	

En bas et à droite, marée de vive-eau observée le 9 juin à la Station VI (PM à Hell-Ville : 16 h 30 4,2 m).

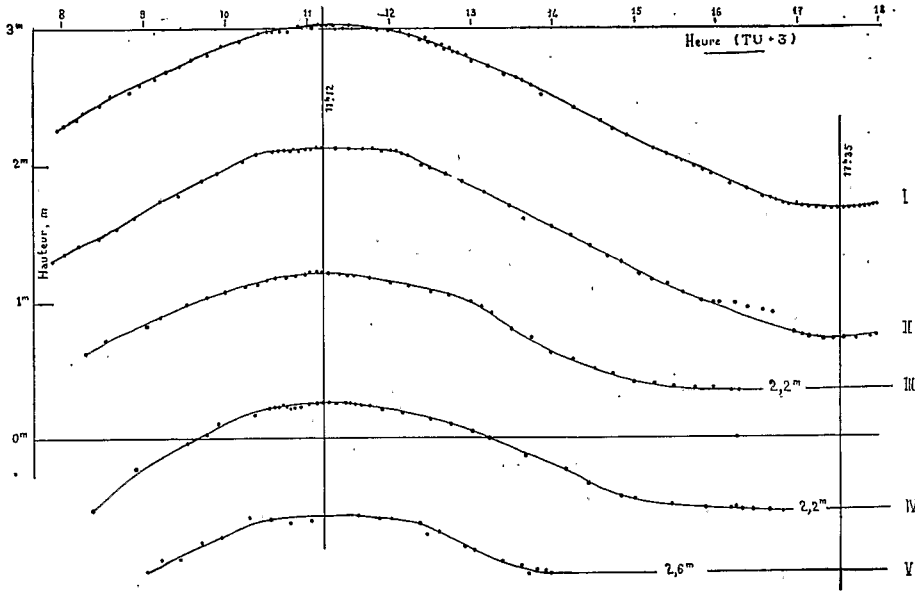


Fig. 5

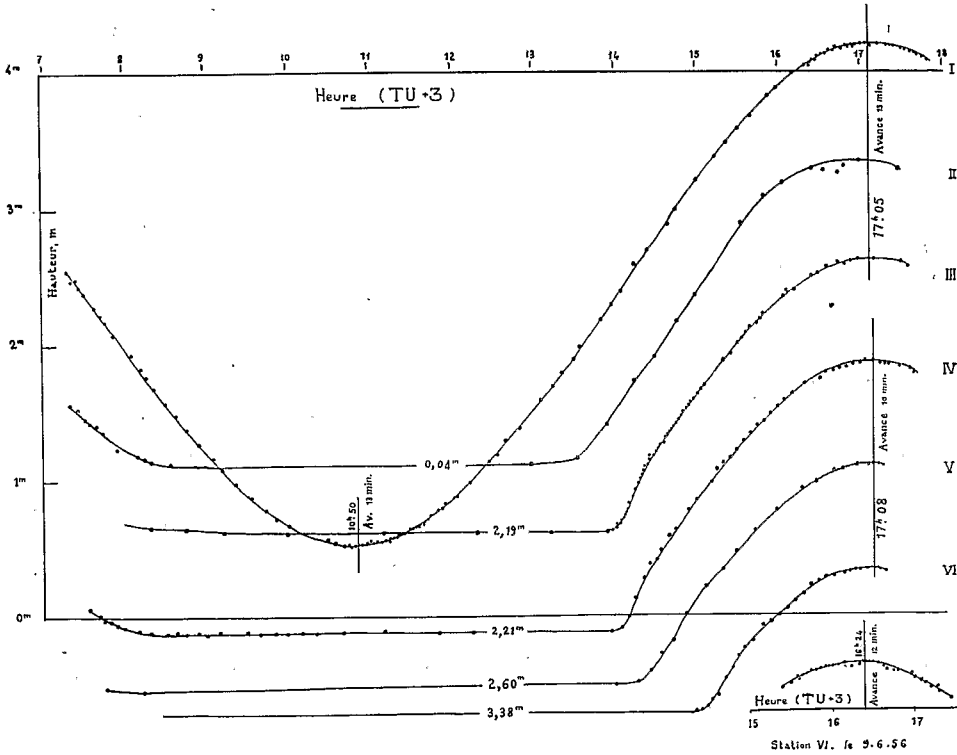


Fig. 6.

## MARÉE A L'ENTRÉE DE LA BAIE DE FASCÈNE (STATION I)

En morte-eau, les instants de pleine-mer et de basse-mer sont les mêmes à la station I qu'à Hell-Ville. L'amplitude, ou différence de hauteur à pleine et basse-mer, est de 1,34 m à la station I, alors que l'Annuaire indique 1,4 m à Hell-Ville. La petite différence, 0,06 m, est dans la limite de précision des indications de l'Annuaire (précision du décimètre).

*Nous pouvons donc conclure à l'identité des marées de morte-eau à Hell-Ville et à l'entrée de la baie de Fascène.*

*En vive-eau, par contre, la marée à la station I est en avance de 13 minutes sur celle d'Hell-Ville.* L'amplitude demeure identique à Fascène et à Hell-Ville (3,68 m à Fascène, 3,7 m à Hell-Ville).

L'origine des hauteurs sur les deux courbes de la marée à la station I ne peut être définie qu'au décimètre près, par comparaison avec la marée d'Hell-Ville.

Nous avons toutefois adopté pour cette origine une valeur exprimée en centimètre, choisie de manière à rendre minima la différence entre les valeurs calculées de la cote du fond en ce point en morte-eau et en vive-eau.

Voici donc les caractéristiques adoptées pour la marée à l'entrée de la baie de Fascène (St. I) comparées à celles indiquées pour Hell-Ville par l'Annuaire :

MARÉE DE MORTE-EAU			
	PM	BM	AMPLITUDE
	—	—	—
A Hell-Ville . . . . .	11 h 12 — 3,0 m	17 h 35 — 1,6 m	1,4 m
A l'entrée de la baie de Fascène . . . . .	11 h 12 — 3,03 m	17 h 35 — 1,69 m	1,34 m
MARÉE DE VIVE-EAU			
	BM	PM	AMPLITUDE
	—	—	—
A Hell-Ville . . . . .	11 h 03 — 0,5 m	17 h 18 — 4,2 m	3,7 m
A l'entrée de la baie de Fascène . . . . .	10 h 50 — 0,51 m	17 h 05 — 4,19 m	3,68 m

## PROPAGATION LE LONG DE L'ESTUAIRE

En morte-eau, les pleine et basse-mer se produisent aux mêmes instants aux stations I à V. La propagation est donc pratiquement instantanée à partir de l'entrée de la baie jusqu'à la station V, se trouvant à 700 m de l'embouchure.

La station VI ne pouvait être atteinte par l'onde de marée de morte-eau et l'observateur a dû se transporter à 80 m plus en aval (environ à 1.020 de l'embouchure) pour déceler, aux environs de la pleine-mer, une élévation du niveau de l'eau de 3 cm (33 mm). Les observations en ce point ont été faites d'une façon particulièrement soignée, en l'absence de vent, et les hauteurs observées en millimètre sur une règle graduée.

Ces observations (fig. 7) font état d'un maximum absolu, 33 mm, à 11 h 17. Si la pleine-mer se situait à cet instant, la marée à cette station aurait un retard de 5 minutes sur les stations plus en aval. Mais nous ne pensons pas qu'il convienne, dans le tracé d'une courbe de marée, de tenir compte de si petites dénivellations. De telles variations de quelques millimètres sont généralement accidentelles : un obstacle passager à l'amont ou à l'aval, un coup de vent, suffiraient à les provoquer. Par ailleurs, nous avons fréquemment observé des oscillations de faible amplitude du niveau de l'eau, en pleine-mer et à basse-mer, tant à Fascène qu'au Moros, à Concarneau (10) et nous pensons qu'il s'agit là du balancement du plan d'eau autour de sa position d'équilibre, provoqué par le fait qu'aux instants de pleine- et basse-mer, la composante horizontale de la force génératrice de la marée s'annule pour changer de sens.

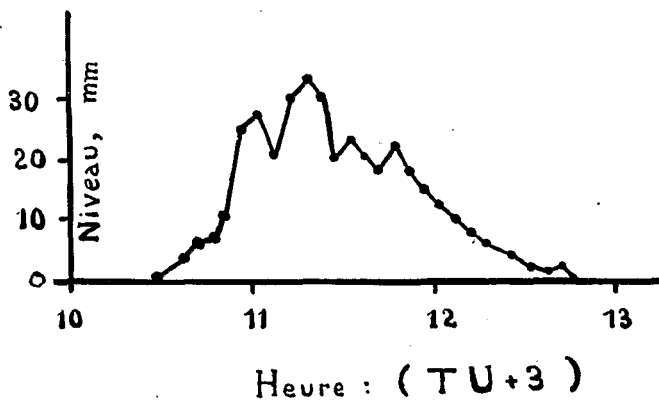


Fig. 7. — Marée de morte-eau observée le 3 juin à 80 m en aval de la Station VI.

La seule conclusion que nous pensons être autorisé à tirer des observations à cette dernière station est que pour la marée de morte-eau observée, d'amplitude 1,34 m, la limite de pénétration de l'onde de marée se situe à 80 m en aval de la station VI, à une distance de 1.020 m environ de l'embouchure.



Les résultats se rapportant à cette dernière station mis à part, nous pouvons conclure qu'en morte-eau, *la propagation de la marée le long de l'estuaire est pratiquement instantanée.*

Les courbes de marée se rapportant aux stations I à IV, sont superposables dans leur partie non rectiligne. La superposition est moins satisfaisante pour la courbe se rapportant à la station V.

Nous pouvons donc conclure que *l'onde de marée ne se trouve légèrement déformée qu'au-delà de la station IV (plus en amont), distante de l'embouchure de 320 m.*

En vive-eau, par contre, si la superposition demeure satisfaisante pour toutes les courbes (station I à VI), on note, par rapport à la station I (entrée de la baie) un retard de 3 minutes à partir de la station IV, ce retard demeurant pratiquement constant pour les stations V et VI (avance de 10 minutes sur la marée d'Hell-Ville).

Sur la figure 6, nous avons également tracé la courbe représentative de la marée à la station VI, observée la veille, 9 juin, même amplitude que le 10. L'onde de marée y est en avance de 12 minutes sur celle d'Hell-Ville.

Des observations faites le 10 juin, nous pouvons donc conclure *qu'en vive-eau, l'onde de marée :*

1° *parcourt tout l'estuaire sans se déformer ;*

2° *subit un léger retard, environ 3 minutes, en amont de l'embouchure.*

#### MARÉE HALINE

Les observations hydrologiques simultanées auxquelles nous avons procédé ont porté sur un intervalle de temps trop faible pour permettre de tirer des conclusions précises sur le mode de propagation de l'onde haline et, notamment, sur son déphasage par rapport à l'onde dynamique. Des observations de plus longue durée (tout au moins durant un cycle complet de la marée), faites à intervalles de temps plus serrés, seraient nécessaires.

Nous nous bornons donc à mentionner les résultats de nos observations sans en tirer des conclusions.

En outre, nous ne rendons compte que des résultats des observations faites en morte-eau. En vive-eau, en effet, et sauf à la station I, nous n'avons pu observer la marée que quelques heures seulement avant la pleine-mer du soir : 4 heures pour la station II, 2 heures 30 pour la station VI. Tout le reste du temps, la marée évacue presque complètement l'estuaire, laissant dans les parties creuses du chenal, de l'eau de mer stagnante. Aux différentes stations, le niveau est alors

constant, ainsi que la salinité de l'eau du fond et il n'était guère possible de déterminer un minimum de la salinité de l'eau du fond pouvant être rapporté à la basse-mer.

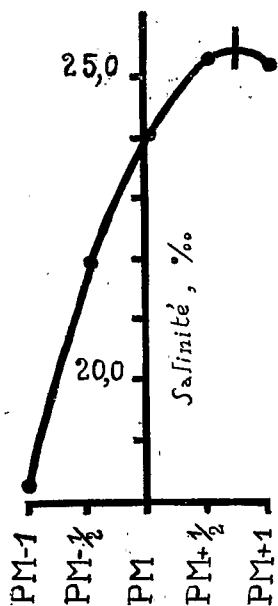


Fig. 8. — Variation de la salinité de l'eau du fond à la Station VI, en pleine-mer de morte-eau, le 9 juin.

Par ailleurs, la pleine-mer se situant à la tombée de la nuit, il n'a pas été possible de prolonger les observations au-delà de cette limite de temps, et nous ne pouvons reconnaître les maxima de salinité qui, à certaines stations, ont pu se produire après la pleine-mer.

Nous pouvons toutefois mentionner les résultats d'une brève série d'observations de la salinité de l'eau du fond à la station VI, le 9 juin, en pleine-mer de vive-eau. Cinq échantillons d'eau du fond ont été prélevés toutes les demi-heures, le premier une heure avant la pleine-mer, le dernier une heure après la pleine-mer. Les résultats sont mentionnés au tableau V. La fig. 8, qui représente la variation de la salinité de l'eau du fond, situe la pleine mer haline en retard de 3/4 d'heure sur la pleine-mer dynamique.

La fig. 9 représente les variations de la salinité de l'eau du fond, en morte-eau, aux différentes Stations d'observation (3 juin).

Sur les fig. 8 et 9, les différentes heures de la marée sont représentées comme suit.

PM,	BM,	Instant de la pleine-mer, de la basse-mer.
PM + 1,	BM + 1,	1 heure après la pleine-mer ou la basse-mer.
PM + 2,	BM + 2,	2 heures » » » » »
PM - 1,	BM - 1,	1 heure avant » » » »
PM - 2,	BM - 2,	2 heures » » » »
m m ↑		mi-marée montante
m m ↓		mi-marée descendante.

L'examen de la fig. 9 permet de faire les remarques suivantes :

*Station I* : très faibles variations ; faible maximum à BM + 1.

*Stations II et III* : maximum à PM + 1, minimum accusé à BM - 2.

Station IV : 2 maxima à PM et PM + 2, séparés par un minimum à PM + 1. Nous pensons qu'à PM + 1 l'échantillon d'eau n'a pas été prélevé au fond de la fosse, au point où ont été faits les autres prélèvements, ce qui expliquerait ce minimum aberrant. Si nous n'en tenons pas compte dans le tracé de la courbe, le maximum se placerait à PM + 1.

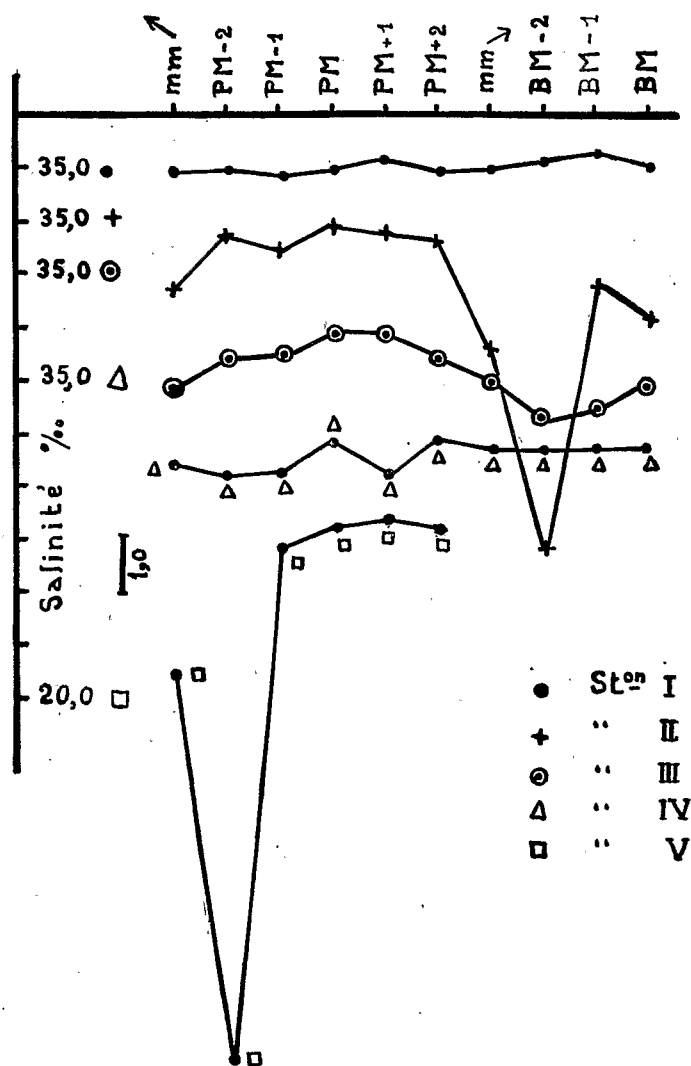


Fig. 9. — Variation de la salinité de l'eau du fond aux Stations I à V, en marée de morte-eau, le 3 juin.

*Station V* : minimum très accusé à PM — 1 ; maximum à PM + 2.

*Station VI* : marée purement dynamique ; aucune trace d'eau de mer durant la journée.

D'après ces remarques :

1° la pleine mer haline se produirait avec un important retard sur la pleine mer dynamique : retard d'environ 1 heure jusqu'à la station IV, d'environ 2 heures plus en amont.

2° la basse mer haline se produirait, au contraire, avec une avance de 2 heures environ sur la basse mer dynamique, tout au moins jusqu'à la station III. La basse mer n'a pu être observée aux stations plus en amont.

Il semble donc que, durant le flux, la masse d'eau de mer venant du large se trouve freinée dans sa progression à travers l'estuaire par la résistance que lui oppose l'eau douce coulant en sens contraire. Elle ne pourrait donc atteindre un point donné de l'estuaire qu'après avoir vaincu cette résistance, donc avec un certain retard. Par contre, la poussée provoquée par cette eau de mer dans sa progression, se transmettrait très rapidement vers l'amont et provoquerait dans les masses d'eau douce en amont les variations de niveau pratiquement en concordance de phase avec la marée au large.

Au jusant, c'est le phénomène contraire qui se produirait. La pression de l'eau douce tendrait à favoriser le retrait de l'eau de mer. Ce retrait commencerait en avance sur la basse mer au moment où la poussée de l'eau de mer devient insuffisante à vaincre la résistance qui lui est opposée.

Nous ne faisons ici, nous le répétons, que des hypothèses déduites d'observations insuffisantes et qui devraient être mieux confrontées avec l'expérience.

#### COTE DU FOND AUX STATIONS D'OBSERVATION

Les observations de la marée nous ont permis de déterminer avec une approximation satisfaisante la cote du fond aux différentes stations d'observation.

Les côtes et hauteurs dont il va être question sont rapportées au niveau des plus basses mers à Hell-Ville, pratiquement identiques au niveau des plus basses mers à l'entrée de la baie de Fascène.

#### STATIONS I ET II

Ces deux stations se trouvant respectivement à l'entrée de la baie et dans la baie, communiquant parfaitement avec le large, nous avons fait l'hypothèse qu'en pleine mer la dénivellation créée par l'apport de l'eau douce de l'estuaire y était négligeable. La cote du plan d'eau

à l'instant de pleine mer y est donc déterminée avec une précision satisfaisante par rapport au niveau de référence. La mesure de la profondeur à cet instant permet d'obtenir la cote du fond au point considéré.

Voici les valeurs obtenues pour ces deux stations :

	P.M. de morte-eau	P.M. de vive-eau
STATION I		
Cote du plan d'eau .....	3,0 m	4,2 m
Profondeur .....	2,3 »	3,5 »
	<hr/>	<hr/>
Cote du sol .....	0,7 »	0,7 »
STATION II		
Cote du plan d'eau .....	3,0 m	4,2 m
Profondeur .....	1,4 »	2,6 »
	<hr/>	<hr/>
Cote du sol .....	1,6 »	1,6 »

#### STATIONS III A VI

A partir de l'embouchure, l'hypothèse précédente n'est plus valable.

Aux stations III à VI, on observe un niveau constant aux environs de la basse mer durant un intervalle de temps variant d'une station à l'autre et avec l'amplitude de la marée .

Pour ces stations, nous avons fait l'hypothèse suivante : en un point de l'estuaire, le niveau devient constant entre les deux instants, d'abord en marée descendante, puis en marée montante, où la hauteur de la marée devient égale à celle du plan d'eau en ce point.

La détermination précise des deux instants entre lesquels le niveau devient constant à une station permet d'obtenir, en se reportant à la courbe de référence (courbe de la marée à l'entrée de la baie), la cote du plan d'eau à cette station. Une mesure de la profondeur détermine alors la cote du sol.

Il est difficile d'obtenir par l'observation directe l'instant précis où le niveau de l'eau devient constant ou cesse de l'être. Nous pensons avoir obtenu des résultats suffisamment précis en procédant de la manière suivante.

Ayant en mains le tableau des observations de la marée en une station, nous choisissons une observation faite à un instant précédant légèrement l'instant d'immobilisation du plan d'eau. La hauteur notée à cet instant est supérieure d'une petite quantité  $h$  à la valeur constante notée un peu plus tard. En nous reportant à la courbe de

référence, nous déterminons la hauteur correspondant à cet instant et par soustraction de la quantité  $h$  la cote du plan d'eau en niveau constant à la station considérée.

Nous choisissons ensuite une observation faite quelques minutes après que le niveau de l'eau s'est remis à varier et par un raisonnement analogue, nous avons une deuxième détermination de la cote du plan d'eau en niveau constant.

Nous prenons la moyenne des deux valeurs ainsi obtenues pour le calcul de la cote du sol à la station considérée.

Voici les résultats pour les stations III à VI :

	Morte-eau	Vive-eau	Valeur adoptée
STATION III			
Cote du plan d'eau en N.C. (*)	2,16 m	2,19 m	
Profondeur .....	0,63 »	0,63 »	
Cote du sol .....	1,53 »	1,56 »	1,5 m
STATION IV			
Cote du plan d'eau en N.C.	2,18 m	2,21 m	
Profondeur .....	3,30 »	3,45 »	
Cote du sol .....	1,12 »	1,24 »	1,2 m
STATION V			
Cote du plan d'eau en N.C.	2,57 m	2,60 m	
Profondeur .....	1,00 »	1,00 »	
Cote du sol .....	1,57 »	1,60 »	1,6 m
80 M EN AVAL DE LA STATION VI			
Cote du plan d'eau en N.C.	2,96 m		
Profondeur .....	0,50 »		
Cote du sol .....	2,46 »		2,5 m
STATION VI			
Cote du plan d'eau en N.C.		3,38 m	
Profondeur .....		0,25 »	
Cote du sol .....		3,13 »	3,1 m

La figure 2 reproduit le relief schématique du chenal à partir de ces résultats.

(\*) N. C. = Niveau constant.

OBSERVATIONS HYDROLOGIQUES SIMULTANÉES LE LONG  
DE L'ESTUAIRE

Les observations hydrologiques simultanées auxquelles nous avons procédé en morte-eau (3 juin), et en vive-eau (10 juin) et dont les résultats numériques sont consignés au tableau IV, nous ont fourni le tracé d'heure en heure du profil instantané des isohalines le long de l'estuaire. Les figures 10 à 18 (1) pour la morte-eau et 19 à 28 (2) pour la vive-eau représentent le profil des isohalines suivant l'axe de l'estuaire à chacune des heures d'observation. Les heures d'observation sont représentées par les mêmes notations que sur la figure 9.

La comparaison des figures 10 à 28 pour une même journée d'observations renseigne sur l'évolution de la structure hydrologique de l'estuaire en fonction de l'heure de la marée. Elle permet par ailleurs d'avoir une idée de l'erreur commise dans le tracé des isohalines à partir d'observations non strictement simultanées effectuées par un seul observateur progressant le long de l'estuaire.

## OBSERVATIONS EN MORTE-EAU

3 juin. — Beau temps. Vent faible, ciel peu nuageux le matin, nuageux l'après-midi.

Pleine mer	: 11 h 12
Basse mer	: 17 h 35
Mi-marée montante	: 07 h 56
Mi-marée descendante	: 14 h 24

Les observations hydrologiques ont été faites aux heures suivantes :

PM - 2	: 09 h 00
PM - 1	: 10 h 00
PM	: 11 h 12
PM + 1	: 12 h 15
PM + 2	: 13 h 15
m m ↓	: 14 h 30
BM - 2	: 15 h 30
BM - 1	: 16 h 30
BM	: 17 h 35

## DANS LA BAIE

A l'entrée de la baie, station I, la salinité varie très peu autour d'une valeur moyenne de 34,9 ‰. Nous pouvons sans erreur sensible considérer cette grandeur comme constante et égale à 34,9 ou 35,0 ‰

(1) Voir pages 268 à 270.

(2) Voir pages 271 à 273.

à cette station, à toute profondeur, à toute heure et à toute marée. Ceci revient à supposer qu'à l'entrée de la baie, on a constamment et à toute profondeur de l'eau de mer pure.

La coupe de l'isohaline 35,0 ‰ ne se présente pourtant pas, sur nos figures comme une verticale placée à la station I. C'est précisément le très faible gradient de la salinité dans cette région qui donne à cette ligne une forme incurvée se déformant sensiblement d'heure en heure.

Entre les stations I et II se trouve la partie la plus importante de la baie, la plus large, la plus profonde, et communiquant parfaitement avec la mer. En morte-eau, cette région présente généralement une structure hydrologique assez uniforme, peu affectée par la marée.

De PM — 2 à PM + 1, l'isohaline 34,5 ‰ se trouve placée à la station II. L'eau entre I et II est donc assez homogène.

L'influence de l'eau douce ne se fait faiblement sentir dans cette région, qu'à partir de PM + 2, *la plus forte pénétration de l'eau douce ne se faisant pas à BM mais à BM — 2*, où la salinité en II atteint la valeur minima 28 ‰.

L'offensive de l'eau de mer reprend à partir de BM — 1.

Dans cette partie de la baie, les figures sont bien comparables entre PM — 2 et PM + 1. Comparaison difficile autour de la m-marée descendante, de PM + 2 à BM — 2, possible mais peu satisfaisante entre BM — 1 et BM.

Le reste de la baie, de II à III, se trouve davantage influencé par la rivière : très faible profondeur du chenal ramifié, proximité des rives et de l'embouchure.

A P M — 2, dense stratification en couches horizontales.

A P M — 1, offensive de l'eau de mer, faible stratification, salinité moyenne 34 ‰.

La stratification est à nouveau importante à PM et PM + 1 (isohalines presque horizontales), plus faible à PM + 2 puis reprend de l'importance jusqu'en basse mer par suite de la diminution de la profondeur.

La station III, embouchure, est marquée par une stratification toujours dense, surtout dans la couche superficielle. Le maximum de stratification a lieu à PM + 2 et mm ↓ où la salinité varie de 12 à 23 ‰ entre 0 et 40 cm de profondeur.

Pas de comparaison possible entre PM — 2 et PM. Comparaison satisfaisante entre PM et PM + 1, puis entre BM — 1 et BM.

#### DANS L'ESTUAIRE, EN AMONT DE L'EMBOUCHURE

Localisation d'une poche d'eau de mer stagnante au fond de la fosse, station IV. Le fond de cette cuvette ne se trouve balayé par le flux marin qu'entre PM — 1 et PM + 1.



La forme et la position du noyau d'eau de mer se trouvent concrétisées par le tracé de l'isohaline 33,5 ‰.

A PM — 2, cette isohaline se trouve coupée en deux de part et d'autre de l'embouchure, l'isohaline 33,0 ‰ rejoignant la surface entre II et III.

A PM — 1, la branche de droite de l'isohaline 33,5 ‰ commence à déborder vers l'amont en plongeant.

A PM et PM + 1, l'isohaline 33,5 ‰ est continue et part de la surface dans la baie pour aboutir au fond, en amont de l'embouchure.

Elle est à nouveau coupée en deux, de part et d'autre de l'embouchure, à PM + 2.

*La poche d'eau de mer stagnante atteint son volume maximum à BM — 2, qui semble représenter la basse mer haline.* Elle se trouve alors limitée vers le haut par l'isohaline 29 ‰.

Cette limite supérieure est de :

33,0 ‰	à mm ↓
29,0 »	à BM — 2
32,5 »	à BM — 1
33,0 »	à BM

La salinité en surface à la station IV est minima à PM — 1 (6,7 ‰ contre 12,1 ‰ à PM — 2 et 10,3 ‰ à PM). Si cette valeur, qui semble aberrante, n'est pas le fait d'une erreur de mesure, elle traduirait à cette station une offensive de l'eau douce en surface, dont le résultat serait de resserrer les isohalines vers l'aval.

La salinité en surface à la station IV est par contre maxima à PM + 1. Les isohalines s'incurvent vers le haut à cette station et sont resserrées dans la couche supérieure de 1 m d'épaisseur, où, en tous points, les salinités sont supérieures à PM et PM + 2.

A PM — 2, l'isohaline 25 ‰ sépare le faisceau de droite (aval), dont la concavité est dirigée vers le bas, de celui de gauche (amont), où cette concavité est dirigée vers le haut.

A PM — 1, c'est l'isohaline 15 ‰ qui fait cette séparation. Les isohalines de droite plongent vers le fond presque verticalement.

A partir de PM, les données numériques ne nous permettent pas de placer un point d'inflexion sur les isohalines de faible valeur.

A PM, on distingue toutefois deux familles d'isohalines : celle de droite, limitée à 25,0 ‰, dont les courbes ont une courbure accentuée qui les fait plonger presque verticalement, et celle de gauche à partir de 20,0 ‰, où les courbes sont sensiblement rectilignes. L'ensemble se trouve déporté vers l'amont par rapport à PM + 1.

A PM + 1, ces deux familles sont encore plus différenciées et séparées l'une de l'autre par l'isohaline 25 ‰. Celles de droite sont très resserrées et incurvées vers la droite à leur extrémité inférieure. Stratification horizontale dense dans les couches supérieures jusqu'au-delà de la station IV. A cette station, eau presque homogène, à salinité légèrement supérieure à 33 ‰. A partir de 15 ‰, le tracé des isohalines de gauche est sensiblement le même qu'à PM.

De PM + 2 à BM — 2, la stratification est uniforme dans cette partie de l'estuaire, l'influence de l'eau de mer se faisant sentir le plus loin à mm ↓. C'est à cet instant que la salinité à la station V est la plus élevée à tous niveaux.

A BM — 1 et BM, les isohalines sont resserrées vers le haut et de plus en plus déportées vers l'aval.

Dans l'estuaire, en amont de l'embouchure, de PM — 2 à PM + 2, la déformation des figures d'heure en heure les rend difficilement comparables. Une comparaison approximative est possible entre PM + 2 et mm ↓, à partir de la station V, vers l'amont. Assez bonne comparaison ensuite de BM — 2 à BM, sur toute la partie de l'estuaire en amont de l'embouchure.

En conclusion, en morte-eau, les figures sont rapidement déformées dans la partie amont en pleine mer, et dans la partie aval en basse mer.

Aux mi-marée la déformation est rapide dans tout l'estuaire.

#### OBSERVATIONS EN VIVE-EAU

10 juin. — Beau temps, très peu nuageux. Vent très faible.

Basse mer .....	: 11 h 03
Pleine mer .....	: 17 h 18
Mi-marée montante .....	: 08 h 02
Mi-marée descendante .....	: 14 h 10

Les observations hydrologiques ont été faites aux heures suivantes :

mm ↓	: 08 h 00				
BM — 2	: 09 h 00	BM + 1	: 12 h 00	PM — 2	: 15 h 10
BM — 1	: 10 h 00	BM + 2	: 13 h 00	PM — 1	: 16 h 15
BM	: 11 h 00	mm ↑	: 14 h 10	PM	: 17 h 18

#### DANS LA BAIE

Nous avons déjà signalé qu'à l'entrée de la baie, station I, la salinité était pratiquement constante, voisine de 35,0 ‰ à toute profondeur, à toute heure et à toute marée.

Dans toute la baie, la stratification est faible de mm ↓ jusqu'à BM + 2. Isohalines faiblement inclinées sur la verticale.

De mm ↓ à BM, les isohalines se déforment d'heure en heure mais gardent à peu près la même position. Par suite de la faible valeur de la profondeur, ces déformations n'affectent pas la comparabilité des figures, qui demeure bonne.

A BM + 1 et BM + 2, on note un décalage progressif des isohalines vers l'aval sans que l'aspect général des figures subisse un changement sensible.

A mm ↑, brusque offensive de l'eau salée qui change radicalement le relief hydrologique de la baie. Les isohalines sont fortement décalées vers l'aval et davantage couchées. Stratification importante, surtout de la partie amont de la baie. La figure 25 a un aspect original qui ne permet de la comparer à aucune autre.

A PM — 2, l'isohaline 34,5 ‰ est déjà en amont de II et s'enfonce jusqu'à la station IV. Dans toute la baie, l'eau est presque homogène, la salinité variant entre 34,5 et 34,8 ‰, sauf en surface à l'embouchure, où elle atteint 33,8 ‰. Stratification inexistante dans la baie.

A PM — 1 et PM, l'eau de mer pure a envahi non seulement toute la baie, mais aussi l'estuaire jusqu'à la station IV. Dans toute cette région, la salinité varie entre 34,5 et 35,0 ‰ et les isohalines sont sensiblement verticales.

Les figures sont comparables entre elles jusqu'au delà de la station IV. La comparaison demeure satisfaisante entre ces deux figures et celle de PM — 2 dans la baie seulement.

A l'embouchure même, station III, stratification horizontale dense de mm ↓ à mm ↑, inexistante ensuite.

*En résumé*, les changements radicaux de la structure hydrologique de la baie se font aux deux mi-marrée. Les figures demeurent comparables entre elles au voisinage des heures de pleine mer et de basse mer. Sauf à la mi-marée montante, la stratification dans la baie demeure faible, sinon négligeable.

#### DANS L'ESTUAIRE, EN AMONT DE L'EMBOUCHURE

A la station IV, la poche d'eau de mer stagnante a une salinité moyenne plus élevée en vive-eau qu'en morte-eau. Cette poche est ici matérialisée par l'isohaline 34,0 ‰. La libre communication avec le large s'établit à PM — 2.

La limite supérieure de la poche aux différentes heures de la marée peut être matérialisée par les isohalines suivantes :

27, 0 ‰	à	mm ↓
28, 0	à	BM - 2
29, 0	à	BM - 1 et BM
26, 0	à	BM + 1
25, 0	à	BM + 2
33, 5	à	mm ↑

Le volume maximum de la poche d'eau de mer se situe à BM + 2 alors qu'il avait lieu à BM - 2 en morte-eau.

Dans le reste de l'estuaire, les figures demeurent comparables entre elles de mm ↓ jusqu'à BM + 1, les isohalines de faible valeur étant progressivement décalées vers l'aval.

A la station VI, S est toujours voisin de 1 ‰.

A BM + 2, les isohalines sont resserrées vers le haut. Stratification en couches horizontales sur une très grande distance, de 0 à 1 mètre de profondeur, très faible en-dessous. A la station IV, la salinité augmente de 15,6 à 33,2 ‰ de 0 à 1 m, puis varie très peu jusqu'au fond.

A mm ↑ le début de la communication de la fosse IV avec le large donne à la figure 25 une forme originale, différente de toutes les autres.

Stratification horizontale assez homogène, en lignes presque parallèles, serrées entre 0 et 1 m (à la station IV, S croît de 13,0 à 32,0 ‰ de 0 à 1 m de profondeur), puis plus espacées et presque équidistantes jusqu'au fond.

A PM - 2, franche communication avec le large. Les isohalines plongent vers le fond au voisinage de la station IV.

A PM - 1 et PM, la stratification ne commence qu'en amont de la station IV.

Dans l'estuaire, en amont de l'embouchure, la comparabilité entre les figures est excellente de mm ↓ à BM + 1, acceptable entre BM et BM + 2, mauvaise de mm ↑ à PM - 2, bonne seulement jusqu'à la station IV entre PM - 1 et PM.

En conclusion, en vive-eau, dans l'ensemble de l'estuaire la comparaison entre les figures est satisfaisante en basse mer, de mm ↓ à BM + 2. En pleine mer, comparaison possible entre les figures se rapportant à PM - 1 et PM, depuis l'entrée de la baie jusqu'à la station IV, peu satisfaisante en amont de IV. Pas de comparaison possible à la mi-marée montante, de mm ↑ à PM - 2.

La comparaison des deux études, en morte-eau et en vive-eau, nous permet de tirer les conclusions suivantes, valables au moins pour l'estuaire de Fascène :

*En pleine mer*, déformation des figures côté amont à toutes marées (morte-eau et vive-eau).

*En basse mer*, déformation côté aval en morte-eau. En vive-eau, la déformation est moins sensible par suite de la faible profondeur de la baie.

Figures toujours déformées en mi-marée.

Sauf aux mi-marées, les déformations d'heure en heure sont moins sensibles en vive-eau qu'en morte-eau.

Du moins en ce qui concerne le cas particulier de Fascène, un observateur unique, voulant faire une étude hydrologique de l'estuaire en progressant le long du chenal, obtiendrait des résultats le moins erronés possible en procédant de la manière suivante :

*En pleine mer*, faire les observations en progressant d'amont en aval.

*En morte eau*, commencer à la station V, peu de temps avant la PM; de façon à se trouver en IV à la PM. *En vive eau*, commencer à la station VI quelques instants avant la PM, de façon à se trouver à la station V à la PM et à IV peu après. Continuer ensuite vers l'aval.

*En basse mer de morte-eau*, procéder en sens inverse, d'aval en amont. Commencer à la station II, peu avant la BM, de façon à se trouver à l'embouchure, station III vers la basse-mer et continuer vers l'aval.

*En basse mer de vive-eau*, une étude hydrologique de l'estuaire par un seul observateur donnerait des résultats peu erronés quel que soit le mode de progression le long du chenal.

La quasi-constance de la salinité à la station I, permet en toute circonstance de supprimer les observations à cette station dans le but de gagner du temps.

Pour illustrer ces conclusions, nous prenons l'exemple, représenté à la figure 29, d'un observateur unique voulant étudier l'estuaire de Fascène en pleine mer de morte-eau. Cet exemple est tiré de nos observations du 3 juin (observations simultanées en morte-eau).

Au centre, tracé des isohalines dans le cas idéal où toutes les observations sont simultanées. Cette figure, identique à la figure 12, reproduit les résultats des observations faites effectivement le 3 juin à 11 h 12 (PM).

En haut, les observations sont supposées se faire de l'amont vers l'aval, cas devant conduire au minimum de déformation. Pour les stations VI et V, nous avons pris les valeurs se rapportant aux observations faites à PM - 1 ; pour les stations IV et III, celles se rapportant à PM ; et pour la station II, celles se rapportant à PM + 1. Enfin, à la station I, nous avons supposé la salinité uniformément égale à 35,0 ‰.

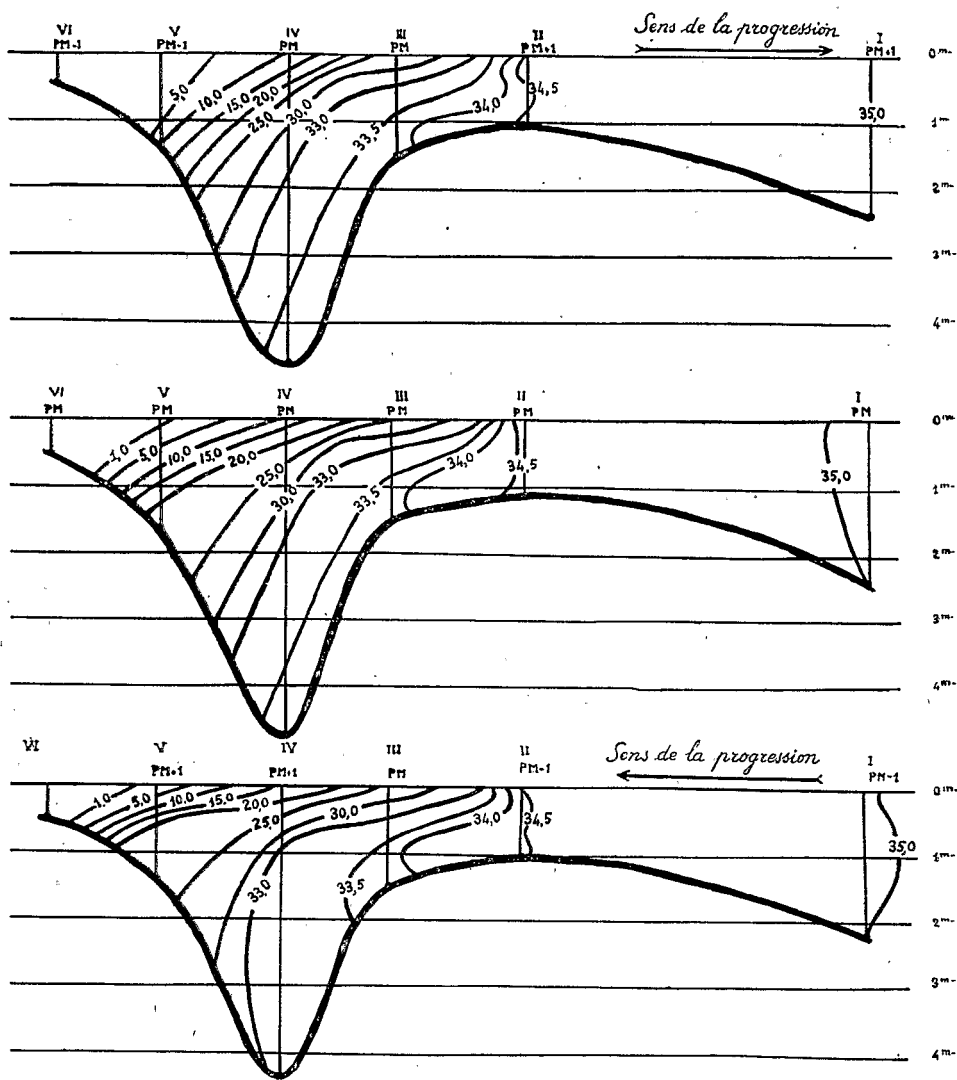


Fig. 29. -- Déformation des isohalines en pleine-mer de morte-eau, lorsque les observations le long de l'estuaire ne sont pas simultanées. — *En haut* : Progression de l'amont vers l'aval ; *au milieu* : Cas idéal des observations simultanées (identique à la fig. 12) ; *en bas* : Progression de l'aval vers l'amont.

En bas, la progression de l'observateur se fait de l'aval vers l'amont et devrait conduire à la déformation maxima. Pour les stations I et II, nous avons pris les résultats des observations faites à PM - 1 ; pour la station III, celles faites à PM, et pour les stations IV et V, celles faites à PM + 1. Pas d'observations à la station VI, où la salinité est considérée comme nulle.

La comparaison de ces trois graphiques donne une idée de l'importance de la déformation des courbes isohalines dans chacun des deux cas extrêmes.

### HYDROLOGIE DE L'ESTUAIRE EN FONCTION DE LA MAREE

Les résultats numériques de nos observations sont consignés au tableau VI. Les figures 31 à 62 (1) représentent le tracé des différentes courbes iso pour chaque série d'observations.

Au sujet de ce tableau et de ces courbes, nous devons faire les remarques suivantes.

1° Les observations n'ont pas toujours été faites exactement aux mêmes points. Nous avons indiqué la position des stations pour chaque cas particulier en attribuant à ces stations des numéros consécutifs, en chiffres arabes, dans l'ordre de notre progression dans l'estuaire. Une station faite en un même point à des dates différentes peut donc avoir des numéros différents. La position des stations fixes I à VII figure également sur tous les graphiques.

Lorsqu'une station d'observation coïncide avec l'une des stations fixes I à VII, seul le numéro de cette dernière station (en chiffres romains) figure sur les graphiques.

2° Nous avons indiqué pour chaque série d'observations devant correspondre à un instant donné de la marée, l'amplitude moyenne de la marée pour la demi-période comprenant cet instant. Ainsi, pour la série des observations se rapportant à la basse mer de morte-eau du 18 avril, nous avons :

Pleine mer précédente : 09 h 32 ; hauteur : 3,0 m

Basse mer observée : 15 h 48 ; » 1,4 m

Pleine mer suivante : 22 h 10 ; » 3,1 m

Amplitude de la demi-période précédant l'heure de l'observation :  
3,0 - 1,4 = 1,6 m.

Amplitude de la demi-période suivant l'heure de l'observation :  
3,1 - 1,4 = 1,7 m.

(1) Voir pages 274 à 284.

Amplitude moyenne : 1,65 m.

Pour des observations se rapportant à une mi-marée, il n'y a qu'une amplitude à considérer : la différence de hauteur entre les deux sommets de la courbe de marée de part et d'autre de la mi-marée observée.

3° La première colonne du tableau VI mentionne l'heure moyenne à laquelle se sont faites les observations en une station.

Les observations le long de l'estuaire se rapportant à un instant donné de la marée (pleine mer, basse mer, mi-marée) n'étant pas simultanées, nous avons pensé utile, à côté de l'heure réelle de chaque observation, de mentionner la différence du temps entre le moment où s'est faite l'observation et celui où elle aurait dû se faire si toutes les observations de la série avaient pu être simultanées. Ce décalage de temps est mentionné dans la deuxième colonne sous la dénomination d' « heure relative » (Hr). Il est exprimé en heure et dixième d'heure, et affecté du signe — si l'observation est faite en avance et + si elle est faite en retard.

Prenons l'exemple de la série d'observations faite le 18 avril dans le but d'étudier l'hydrologie de l'estuaire en une pleine mer de morte-eau. L'heure à laquelle auraient dû se faire toutes les observations de la série est celle de la pleine mer, soit 13 h 32. En fait, les observations ont commencé à 12 h 25 au pont routier pour se terminer à 14 h 44 à l'ilot. La première observation (pont routier) s'est faite 1 heure 07 minutes en avance, soit  $Hr = - 1,1$  ; la dernière observation s'est faite 1 heure 12 minutes après la pleine mer, soit  $Hr = + 1,2$ .

La mention de l'heure relative est faite dans le but de donner une idée de la déformation à craindre pour chaque figure par suite de la non simultanété des observations qui s'y rapportent.

L'heure relative est également mentionnée sur les figures 31 à 62 au-dessus des numéros d'ordre des stations d'observation.

4° Si, durant une série d'observations se rapportant à une pleine mer ou une basse mer, le niveau de l'eau ne varie pas d'une façon sensible, il n'en est pas de même pour les mi-marées pour lesquelles ces variations peuvent être très importantes.

Sur les graphiques représentatifs d'une série d'observations non simultanées se rapportant à une mi-marée, le plan d'eau de l'estuaire ne devrait donc pas être représenté par une droite horizontale, mais plutôt, par une courbe rendant compte de ces variations de niveau d'un point à un autre.

Sur nos figures, nous avons donc attribué à ce plan d'eau, en chaque station, une cote égale à la différence algébrique entre les hauteurs de la marée au moment de l'observation et à l'heure de la mi-marée observée.



Prenons l'exemple de la mi-marée montante de vive-eau du 12 avril. Amplitude : 3,9 m.

La figure 30 représente le tracé approximatif de la courbe de marée pour le quart de période comprenant l'heure de cette mi-marée.

Ce tracé est obtenu en appliquant la règle bien connue des  $\frac{1}{12}$ , le niveau de l'eau à la mi-marée étant pris pour origine des hauteurs.

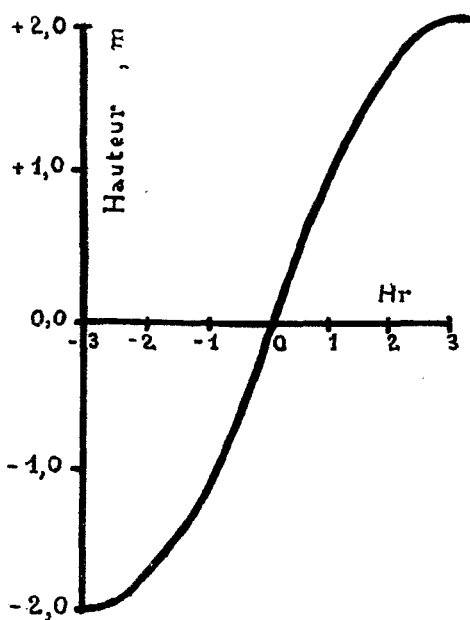


Fig. 30. — Marée de vive-eau du 12 avril. Courbe construite d'après la règle des  $\frac{1}{12}$ .

A la station I, les observations se sont faites à Hr = -1,2 auquel correspond, sur la figure 61, la cote : -1,1 m.

A la station VII, Hr = + 0,8 ; cote : + 0,8 m.

Sur les figures 59 à 62 se rapportant à cette mi-marée, le plan d'eau est représenté par une courbe présentant une concavité tournée vers le haut.

#### MARÉES DE MORTE-EAU :

Les observations ont été faites vers midi et au début de l'après-midi sauf en mi-marée montante, où elles ont eu lieu dans la matinée.

L'eau du large se caractérise par une température légèrement plus élevée que celle de la rivière (température moyenne observée à l'aval

+ 30,0° C) et par une plus grande richesse en oxygène dissous. Énergiquement brassée, elle est généralement saturée en oxygène et fréquemment sursaturée.

On doit s'attendre à une très légère déformation des figures côté amont en pleine mer et côté aval en basse mer.

#### PLEINE MER.

6 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude moyenne : 0,9 m. Les observations se sont déroulées depuis le pont routier jusqu'à l'ilot. Heure relative : de — 1,1 à + 1,2.

Dans la moitié aval de la baie, eau assez homogène, sauf dans une mince couche superficielle.  $S = 30,0 ‰$  ;  $\theta = 30,0^\circ \text{C}$  ;  $\sigma_t = 18,0$

La stratification s'accroît ensuite pour devenir très dense à partir de l'embouchure avec une excellente stabilité. La pénétration de l'eau de mer par le fond ne dépasse pas la station V. En surface l'eau est pratiquement douce à partir de la station IV vers l'amont.

Faible communication de la fosse IV avec le reste de l'estuaire.

Un noyau à température élevée est localisé entre la station II et l'embouchure. La température y atteint 32,5° C. L'existence de ce noyau diminue la stabilité au-delà de 50 cm de profondeur.

À l'exception de la fosse IV, l'eau est riche en oxygène (90 à 100 %) dans tout l'estuaire. Elle décroît jusqu'à 80 % au voisinage du fond à l'entrée de la baie.

À la fosse IV, la concentration en oxygène dissous décroît régulièrement de la surface vers le fond, de 90 à 50 %. L'eau qui parvient au fond provient en effet uniquement de la couche superficielle de la moitié amont de la baie. Dans une bonne partie de la dépression, vers la droite, l'eau ne se trouve pas renouvelée et le taux en oxygène dissous y demeure plus faible (les branches de droite des courbes iso  $\text{O}_2$  % sont presque verticales).

En pleine mer de morte-eau la communication avec le large n'est donc pas suffisamment franche pour supprimer l'effet de la réduction organique opérée aux heures où cette communication est totalement coupée.

#### MI-MARÉE DESCENDANTE.

18 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude : 1,6 m. Les observations se sont déroulées depuis le pont routier jusqu'à l'ilot. Heure relative de : — 0,9 à + 1,2.

L'eau de mer a évacué la plus grande partie de l'estuaire. Au milieu de la baie, la salinité n'est que de 10 ‰. Elle est de 2 ‰ à la station II. Dans la baie, les nappes isohalines sont peu inclinées sur

la verticale. Dans l'estuaire même, en amont de l'embouchure, on ne trouve de l'eau de mer que dans la dépression IV, qui se trouve totalement coupée de l'aval.

La température et la concentration en oxygène dissous diminuent régulièrement de l'aval vers l'amont, respectivement de 30,0 à 28,5° C et de 110 à 70 %.

Au fond de la fosse IV, la concentration en oxygène dissous atteint 35 %. Stabilité médiocre dans tout l'estuaire, sauf, bien entendu, à la station IV, où se trouve la nappe d'eau de mer stagnante.

#### BASSE MER.

18 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude moyenne : 1,6 m. Les observations ont commencé à l'ilot, à l'entrée de la baie, et se sont arrêtées 400 m après la station IV. Heure relative : de - 1,5 à + 0,1. Très légère déformation probable des figures vers l'aval.

Au point de vue salinité, la figure est analogue à celle de la marée, avec cette différence que dans la cuvette IV les isohalines ont ici leur concavité tournée vers le haut, ce qui semble indiquer à cette station une absence totale de mouvement. La stabilité verticale est excellente en cet endroit, alors qu'elle est inexistante partout ailleurs.

Dans presque toute la baie, la température est constante et égale à 30,0° C. Elle diminue jusqu'à 28,5° C au-delà de l'embouchure.

L'eau venant du large est sursaturée en oxygène (110 %). La concentration dans la baie diminue régulièrement vers l'amont jusqu'à 80 %. A la cuvette de la station IV la concentration en oxygène dissous diminue, depuis la surface jusqu'au fond de 70 à 30 %.

#### MI-MARÉE MONTANTE.

7 mars. Beau temps, nuageux. Amplitude : 0,5 m. Les observations ont commencé au pont routier et se sont arrêtées à l'embouchure. Heure relative : de - 1,0 à + 1,0.

Nous sommes arrivé à l'embouchure avec une heure de retard sur l'heure théorique des observations et nous avons estimé inutile d'aller plus loin, des observations se faisant avec un retard plus important risquant de ne plus avoir de signification pour l'étude de cette marée.

La marée n'a pas encore atteint l'estuaire, mais sa poussée dynamique s'y fait sentir par une déformation des isohalines qui tournent à nouveau leur concavité vers le bas. La température diminue toujours de l'aval vers l'amont de 29,0 à 27,0° C. Au fond de la cuvette IV, la masse d'eau de mer stagnante est isotherme.

Dans toute la partie étudiée de l'estuaire, la concentration en oxygène dissous est pratiquement constante, ne variant que de 85 % en surface à 80 % au fond. A la station IV, la décroissance atteint 30 % au fond de la fosse. Bonne stabilité à la station IV, inexistante partout ailleurs, la totalité de l'eau étant pratiquement douce.

#### MARÉES DE VIVE-EAU

Les déformations à craindre pour les figures en pleine et basse mer, par suite de la non simultanée des observations, sont ici beaucoup plus faibles qu'en morte-eau et pratiquement négligeables. En pleine mer, l'observation la plus en amont s'est faite avec un retard de trois quart d'heure seulement.

Les eaux sont ici plus chaudes au large que du côté de la rivière. Ce fait est moins visible en pleine mer où les eaux du large envahissent la plus grande partie de l'estuaire. Ce cas a par ailleurs été observé dans l'après-midi et l'on trouve en amont une masse d'eau saumâtre légèrement plus chaude que partout ailleurs. Par suite de la grande amplitude des mouvements dus à la marée, les eaux sont ici en moyenne plus oxygénées qu'en morte-eau. Enfin, en basse mer de vive-eau, on n'observe pas un renversement du sens de la concavité des isohalines au-dessus de la fosse IV.

#### PLEINE MER.

11 mai, après-midi. Beau temps, très peu nuageux. Amplitude moyenne : 3,9 m. Les observations ont débuté à la station II, dans la baie, pour se terminer à la station VI (point d'accès à la rivière). Heure relative : de - 1,5 à + 0,7. S'attendre à une déformation insignifiante à l'extrémité amont.

La mer a envahi la plus grande partie de l'estuaire. Jusqu'à 200 m au-delà de la station IV, on trouve, à toute profondeur, de l'eau de mer presque pure et homogène : température de 30,0 à 30,5° C, salinité de 33,5 à 34,0 ‰, soit un pourcentage d'eau de mer de 96 à 97 % ; densité 21,0 ; oxygène dissous : 100 à 105 %.

A la fosse IV, la marée a totalement balayé la nappe d'eau de mer qui stagnait au fond. Cette fosse est maintenant remplie d'eau de mer fraîche et saturée d'oxygène. Au fond de la fosse, on a  $O_2 = 100\%$ . Une stratification dense s'observe 300 m en amont de la station IV sur une distance d'environ 500 m. Les isohalines sont très serrées à la surface. 150 m au-delà du point où commence la stratification, l'eau est déjà saumâtre en surface (50 % d'eau de mer) ; elle est totalement douce 250 m plus loin. Le front d'eau de mer arrive, par le fond à 150 m en aval du pont routier.

Les couches d'eau saumâtre sont légèrement plus chaudes que l'eau de mer plus en aval. D'aval en amont leur température décroît de 31,0 à 29,5° C.

Dans l'ensemble de l'estuaire, l'eau est très riche en oxygène dissous dont le taux varie de 90 à 110 %.

#### MI-MARÉE DESCENDANTE.

13 avril, matin. Temps variable. Amplitude : 3,5 m. Les observations se sont déroulées depuis le pont jusqu'à l'îlot. Heure relative de — 1,0 à + 1,2.

Dans la baie, il n'y a déjà plus que de l'eau saumâtre. Salinité maxima : 25,0 ‰ à l'entrée de la baie. Faible stabilité dans toute la baie. La cuvette IV est coupée du reste de l'estuaire et le restera jusqu'au voisinage de la prochaine pleine mer. La masse d'eau de mer enfermée dans cette cuvette accuse une stratification très serrée et une exceptionnelle stabilité verticale. 300 m au-delà de la station IV, on ne trouve pratiquement plus que de l'eau douce. La température diminue régulièrement d'aval en amont. De 29,5° C à l'entrée de la baie, elle tombe à 26,0° C à la limite amont de la masse d'eau saumâtre. L'eau est en moyenne moins oxygénée qu'en pleine mer. Dans la fosse IV, très forte décroissance de la concentration en oxygène dissous avec la profondeur. Nous avons eu la fortune d'atteindre, dans nos observations au fond de la fosse IV, un point où l'eau est totalement dépourvue d'oxygène :  $O_2 = 1 \%$ .

#### BASSE MER.

11 mai, matin. Temps très peu nuageux. Amplitude moyenne : 3,6 m. Les observations ont débuté à l'îlot pour se terminer à la station IV. Déformation des figures négligeable. Heure relative : de — 0,9 à + 0,4.

La structure hydrologique de l'estuaire est sensiblement analogue au cas précédent. Dans la baie où les niveaux sont excessivement faibles, isohalines et isothermes sont sensiblement verticales donnant une stabilité verticale médiocre. Le front d'eau de mer atteint sensiblement le même point qu'en mi-marée descendante. La concentration en oxygène reste en moyenne plus faible qu'en pleine mer. Même noyau d'eau de mer stagnante en IV, mais ici, cette masse d'eau est homotherme ( $\theta = 27,5^\circ \text{C}$ ).

#### MI-MARÉE MONTANTE.

12 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude : 3,9 m. Les observations ont commencé à la station II pour se terminer au pont routier. Heure relative : de — 1,2 à + 0,8.

Notre thermomètre s'est cassé à la station VI. Nous n'avons donc aucune valeur de la température pour cette station et la suivante. En ces deux stations l'eau est uniformément douce. Nous avons pris la valeur  $\vartheta = 30,0^{\circ}$  C pour le calcul de  $O_2$  % et de  $\sigma_t$ .

En IV, la station n'a pas été faite exactement au-dessus de la fosse, et nos figures indiquent une profondeur plus faible. Seule la couche supérieure des isohalines y figure. Ces lignes sont ici moins serrées qu'en basse mer. La température est uniforme dans tout l'estuaire, ne variant que de  $29,5$  à  $30,0^{\circ}$  C. Les eaux sont à nouveau riches en oxygène sauf, bien entendu dans la fosse IV où le phénomène de réduction organique se maintient. Dans la rivière la concentration en oxygène dissous atteint 110 %.

En amont de la station IV, nous avons rencontré une deuxième cuvette ne contenant que de l'eau douce, où l'eau est sursaturée d'oxygène sur toute la profondeur. La comparaison entre cette cuvette et celle de la station IV est intéressante. La station IV ne se remplit qu'en pleine mer et reste ensuite coupée du reste de l'estuaire, l'eau douce de la rivière s'écoulant à la surface au-dessus d'une masse d'eau salée stagnante qui s'appauvrit progressivement en oxygène par réduction organique. La deuxième cuvette, par contre, reste en permanence entièrement balayée par le cours d'eau douce et aucun phénomène de réduction ne peut s'y observer.

TABLEAU IV

Résultats numériques des observations simultanées de la salinité effectuées le long de l'estuaire

PM	=	heure de la pleine-mer
PM - 1	=	1 heure avant l'heure de la pleine-mer
PM - 2	=	2 heures » » » »
PM + 1	=	1 heure après » » » »
PM + 2	=	2 heures » » » »

BM	=	heure de la basse-mer
BM - 1	=	1 heure avant l'heure de la basse-mer
BM - 2	=	2 heures » » » »
BM + 1	=	1 heure après » » » »
BM + 2	=	2 heures » » » »

S = Salinité ‰ Précision :  $\pm 0,1$  ‰

X = Pourcentage d'eau de mer de l'échantillon d'eau de l'estuaire ( $X = 2,86$  S). — Précision :  $\pm 1$  %.

**Observations simultanées en morte-eau**

3 juin. — Beau temps, peu nuageux le matin ; nuageux l'après-midi.

Vent faible.

PM = 11 h 12      3,0 m } amplitude = 1,4 m  
 BM = 17 h 35      1,6 m }

Mi-marée montante : 07 h 56

Mi-marée descendante : 14 h 24

**STATION I (Hot)**

Observateur : M. Menaché.

Heure (TU+3)	Fond m	Profondeur m	S‰	X%
08.00	1,40	0	35,1	100
(mm ↑)		0,40	34,8	100
		0,80	34,9	100
		1,10	34,9	100
09.00	1,80	0	35,2	100
(PM-2)		0,50	35,2	100
		1,00	34,7	99
		1,50	34,9	100
10.00	2,20	0	34,9	100
(PM-1)		0,60	34,9	100
		1,20	34,7	99
		1,90	34,8	100
11.10	2,35	0	35,1	100
(PM)		0,70	35,1	100
		1,40	35,1	100
		2,05	34,9	100
12.15	2,30	0	34,7	99
(PM+1)		0,60	35,1	100
		1,30	34,9	100
		2,00	35,1	100
13.15	1,90	0	35,1	100
(PM+2)		0,50	35,1	100
		1,00	34,9	100
		1,60	34,9	100
14.30	1,50	0	35,0	100
(mm ↓)		0,40	35,1	100
		0,80	35,1	100
		1,20	34,9	100
15.30	1,25	0	34,9	100
(BM-2)		0,30	34,9	100
		0,60	35,1	100
		0,95	35,0	100
16.30	1,00	0	34,9	100
(BM-1)		0,25	34,9	100
		0,50	34,9	100
		0,70	35,1	100
17.35	0,90	0	34,7	99
(BM)		0,20	35,2	100
		0,40	35,2	100
		0,60	34,9	100

## STATION II (Palétuviers)

Observateur : M. Razafindraibe.

Heure (TU +3)	Fond m	Profondeur m	S‰	X%
08.00 (mm ↑)	0,37	0	32,9	94
		0,10	33,8	97
		0,25	33,8	97
		0,37	33,6	96
09.00 (PM-2)	0,64	0	34,5	99
		0,20	34,5	99
		0,40	34,3	98
		0,64	34,7	99
10.00 (PM-1)	0,98	0	34,6	99
		0,30	34,1	97
		0,65	34,5	99
		0,98	34,4	98
11.12 (PM)	1,40	0	34,7	99
		0,35	34,6	99
		0,75	34,6	99
		1,40	34,8	100
12.15 (PM +1)	1,05	0	34,5	99
		0,30	34,7	99
		0,70	34,4	98
		1,05	34,7	99
13.15 (PM +2)	0,78	0	33,2	94
		0,30	34,3	98
		0,60	34,4	98
		0,78	34,6	99
14.30 (mm ↓)	0,40	0	31,4	90
		0,20	32,5	93
		0,40	32,5	93
15.30 (BM-2)	0,10	0	27,8	80
		0,10	28,7	82
16.30 (BM-1)	0,10	0	33,0	94 <sup>(1)</sup>
		0,10	33,7	96
17.30 BM	0,10	0	31,1	94
		0,10	33,1	94

(1) Fond découvert à la station I. Prélèvement en un point voisin du chenal.



## STATION III (Embouchure)

Observateur : M. Randriakoto.

Heure (TU +3)	Fond m	Profondeur m	S‰	X%
08.15	0,90	0	31,2	89
		0,30	31,8	93
		0,60	32,3	93
		0,90	32,8	94
09.00 (PM-2)	1,10	0	12,1	34
		0,40	32,9	94
		0,80	33,4	95
		1,10	33,3	95
10.00 (PM-1)	1,35	0	18,4	52
		0,40	33,7	96
		0,80	33,5	96
		1,35	33,4	95
11.12 (PM)	1,50	0	26,6	76
		0,50	33,2	94
		1,00	33,9	97
		1,50	33,8	97
12.15 (PM +1)	1,40	0	11,8	34
		0,50	32,3	93
		1,00	33,4	95
		1,40	33,8	97
13.15 (PM +2)	1,20	0	11,9	34
		0,40	33,2	94
		0,80	33,2	94
		1,20	33,3	95
14.30 (mm ↓)	0,80	0	11,4	32
		0,25	31,4	90
		0,50	33,2	94
		0,80	32,9	94
15.30 (BM-2)	0,65	0	10,2	34
		0,20	24,9	72
		0,40	31,6	91
		0,65	32,2	92
16.30 (BM-1)	0,63	0	11,0	31
		0,20	28,5	82
		0,40	31,9	92
		0,63	32,3	93
17.35 (BM)	0,63	0	9,5	28
		0,20	29,1	83
		0,40	31,9	92
		0,63	32,7	93

## STATION IV (Fosse du Parc à bœufs.)

Observateur : M. Ranaivoarison.

Heure (TU+3)	Fond m	Profondeur m	S‰	X%
08.30	4,80	0	9,2	26
		1,50	33,4	96
		3,00	34,0	97
		4,50	33,4	96
09.00 (PM-2)	4,90	0	9,1	26
		1,50	32,7	93
		3,00	33,6	96
		4,59	33,2	94
10.00 (PM-1)	4,90	0	6,7	19
		1,60	33,1	94
		3,10	33,4	95
		4,60	33,2	94
11.12 (PM)	4,70	0	10,3	30
		1,50	32,9	94
		3,05	33,2	94
		4,40	33,8	97
12.15 (PM+1)	4,30	0	15,0	43
		1,00	33,2	94
		2,50	33,1	94
		4,00	33,1	94
13.15 (PM+2)	4,10	0	10,3	30
		1,00	32,0	92
		2,00	34,4	98
		3,80	33,8	97
14.30 (mm ↓)	3,70	0	9,2	26
		1,50	32,7	93
		3,00	33,4	95
		3,40	33,6	96
15.30 (PM-2)	3,40	0	13,6	39
		1,00	32,7	93
		3,00	33,6	96
		3,10	33,6	96
16.30 (BM-1)	3,30	0	9,2	26
		1,00	32,3	93
		2,00	33,6	96
		3,00	33,6	96
17.35 (BM)	3,30	0	8,3	24
		1,00	32,3	93
		2,00	33,2	94
		3,00	33,6	96

**STATION V** (Milieu de la rivière)

Observateur : M. Jobilahy.

Heure (TU+3)	Fond m	Profondeur m	S‰	X%
09.00 (PM-2)	1,10	0 0,55 1,10	0,9 1,1 20,4	3 3 58
10.00 (PM-1)	1,34	0 1,00 1,34	1,1 2,6 12,1	3 8 34
11.12 (PM)	1,55	0 1,25 1,55	0,9 20,3 22,8	3 58 66
12.15 (PM+1)	1,35	0 1,15 1,35	1,8 22,6 23,1	6 65 66
13.15 (PM+2)	1,21	0 0,90 1,21	2,2 22,1 23,3	6 63 67
14.30 (mm ↓)	1,30	0 0,55 1,30	2,7 21,2 23,1	8 60 66

**STATION VI** (Point d'accès à la rivière)

Observateur : M. Fiori.

La marée n'ayant pas atteint ce point, les observations ont été faites à 80 m en aval de la station, profondeur : 0,50 m, où une dénivellation de 3 cm a été observée en PM. Les échantillons prélevés en ce dernier point, à toute heure et à toute profondeur, ont une salinité nulle.

\*\*

## Observations simultanées en vive-eau

10 juin. — Beau temps, très peu nuageux, vent très faible.  
 BM = 11 h 30 . 0,5 m } amplitude = 3,7 m  
 PM = 17 h 18 . 4,2 m }  
 Mi-marée descendante : 08 h 02  
 Mi-marée montante : 14 h 10

## STATION I (Ilot)

Observateur : M. Menaché.

Heure (TU+3)	Fond m	Profondeur m	S‰	X%
08.00 (mm ↓)	1,70	0	34,94	100
		0,50	34,72	99
		1,00	34,82	100
		1,50	34,88	100
09.00 (BM-2)	0,80	0	34,82	100
		0,20	34,84	100
		0,40	34,90	100
		0,60	34,88	100
10.00 (BM-1)	0,30	0	34,96	100 (1)
		0,30	34,72	99
11.00 (BM)	0,20	0	34,82	100
		0,20	34,94	100
12.00 (BM+1)	0,20	0	34,86	100 (2)
		0,20	34,73	99
		0	34,62	99 (3)
13.00 (BM+2)	0,90	0	34,62	99 (3)
		0,25	34,73	99
		0,50	34,79	100
		0,70	34,82	100
14.10 (mm ↑)	2,00	0	34,86	100
		0,60	34,84	100
		1,20	34,80	100
		1,80	34,82	100
15.10 (PM-2)	2,80	0	34,80	100
		0,80	34,79	100
		1,70	34,84	100
		2,60	34,84	100
16.15 (PM-1)	3,30	0	34,85	100
		1,00	34,79	100
		2,00	34,82	100
		3,10	34,81	100
17.18 (PM)	3,50	0	34,90	100
		1,00	34,86	100
		2,50	34,80	100
		3,30	34,85	100

(1) Fond découvert à la Station. Prélèvement en un point voisin du chenal.

(2) Prélèvement en un troisième point du chenal.

(3) Retour à l'emplacement de la Station I.

**STATION II (Palétuviers)**  
Observateur : M. Jobilahy.

Heure (TU+3)	Fond m	Profondeur m	S‰	X%
08.00	0,14	0	26,6	76
(mm ↓)		0,14	26,9	77
09.00	0,06	0	27,8	80
(BM-2)		0,06	28,2	80
10.00	0,07	0	29,1	83 (1)
(BM-1)		0,07	29,1	83
11.00	0,05	0	29,1	83
(BM)		0,05	29,1	83
12.00	0,04	0	29,6	85
(BM+1)		0,04	26,2	74
13.00	0,08	0	24,6	71
(BM+2)		0,08	24,7	71
14.00	0,21	0	34,4	98 (2)
(mm ↑)		0,07	34,3	95
		0,21'	33,4	95
15.10	1,21	0	34,9	100
(PM-2)		0,41	34,5	99
		0,83	34,7	99
		1,21	34,7	99
16.15	2,22	0	34,3	98
(PM-1)		1,00	34,9	100
		1,50	34,5	99
		2,22	34,8	100
17.18	2,60	0	34,5	99
(PM)		0,50	34,7	99
		1,00	34,9	100
		2,60	34,7	99

(1) Sol découvert à la Station. Prélèvement en un point voisin du chenal.

(2) Retour à l'emplacement de la Station II.

## STATION III (Embouchure)

Observateur : M. Randriakoto.

Heure (TU+3)	Fond u	Profondeur m	S‰	X%
08.00	0,70	0	23,7	68
(mm ↓)		0,24	31,2	89
		0,46	32,3	95
		0,70	32,6	93
09.00	0,65	0	23,3	67
(BM-2)		0,23	30,8	89
		0,42	31,8	92
		0,65	32,3	93
10.00	0,63	0	23,2	66
(BM-1)		0,21	31,0	89
		0,42	32,2	92
		0,63	32,4	93
11.00	0,63	0	22,1	63
(BM)		0,21	31,1	89
		0,42	31,9	92
		0,63	32,3	93
12.00	0,63	0	20,6	59
(BM+1)		0,21	31,4	90
		0,42	31,7	91
		0,63	32,0	92
13.00	0,62	0	21,4	61
(BM+2)		0,22	31,0	89
		0,40	32,0	92
		0,62	32,1	92
14.10	0,77	0	33,6	96
(mm ↑)		0,26	32,4	93
		0,51	32,3	93
		0,77	33,1	94
15.10	1,75	0	33,8	100
(PM-2)		0,59	34,8	100
		1,16	34,9	100
		1,75	34,8	100
16.15	2,40	0	35,2	100
(PM-1)		0,80	35,2	100
		1,60	35,2	100
		2,40	35,2	100
17.18	2,62	0	35,2	100
(PM)		0,88	35,2	100
		1,74	35,1	100
		2,62	35,2	100

## STATION IV (Fosse du Parc à bœufs)

Observateur : M. Ranaivoarison.

Heure (TU+3)	Fond m	Profondeur m	S‰	X%
08.00 (mm ↓)	3,80	0	21,3	61
		1,20	33,2	94
		2,40	34,1	97
		3,60	34,4	98
09.00 (BM-2)	3,50	0	23,1	66
		1,10	33,0	94
		2,20	33,9	97
		3,30	35,0	100
10.00 (BM-1)	3,50	0	19,6	56
		1,10	33,2	94
		2,20	33,7	96
		3,30	34,2	97
11.00 (BM)	3,45	0	18,5	53
		1,00	32,4	93
		2,15	34,0	97
		3,25	34,2	97
12.00 (BM+1)	3,45	0	17,5	50
		1,00	32,1	92
		2,15	34,1	97
		3,20	34,1	97
13.00 (BM+2)	3,45	0	15,6	45
		1,00	33,2	94
		2,15	34,0	97
		3,20	34,1	97
14.10 (mm ↑)	3,60	0	12,7	36
		1,00	32,2	92
		2,20	33,7	96
		3,40	34,8	100
15.00 (PM-2)	4,30	0	29,9	86
		1,40	34,0	97
		2,75	34,3	98
		4,10	34,5	99
16.15 (PM-1)	5,20	0	35,1	100
		1,80	35,2	100
		3,45	35,2	100
		4,90	35,2	100
17.18 (PM)	5,20	0	35,1	100
		1,70	35,1	100
		3,35	35,2	100
		5,00	35,2	100

## STATION V (Milieu de la rivière)

Observateur : M. Razafindraibe.

Heure (TU +3)	Fond in	Profondeur m	S‰	X%
08.00 (mm ↓)	1,00	0	10,8	31
		0,30	12,1	35
		0,65	17,3	50
		1,00	30,6	88
09.00 (BM-2)	1,00	0	9,8	29
		0,30	11,1	31
		0,65	23,5	68
		1,00	30,0	86
10.00 (BM-1)	1,00	0	7,9	23
		0,30	9,5	28
		0,65	21,2	60
		1,00	29,8	86
11.00 (BM)	1,00	0	6,9	20
		0,30	8,1	23
		0,65	21,2	60
		1,00	29,3	84
12.00 (BM +1)	1,00	0	6,5	19
		0,30	7,2	20
		0,65	17,5	50
		1,00	29,5	85
13.00 (BM +2)	1,00	0	5,9	17
		0,30	6,3	18
		0,65	9,3	27
		1,00	29,2	83
14.10 (mm ↑)	1,00	0	5,1	14
		0,30	5,5	16
		0,65	10,7	28
		1,00	30,3	87
15.10 (PM-2)	1,70	0	21,2	60
		0,60	23,7	68
		1,15	25,0	72
		1,70	25,7	73
16.10 (PM-1)	2,40	0	31,8	92
		0,80	33,8	97
		1,60	33,3	95
		2,40	33,4	95
17.18 (PM)	2,55	0	18,1	51
		0,85	33,8	97
		1,70	34,2	98
		2,55	34,5	99



STATION VI (Point d'accès à la rivière)

Observateur : M. Fiori.

Heure (TU+3)	Fond m	Profondeur m	S‰	X%
—	—	—	—	—
07.00	0,25	0	1,5	5
(PM+2)		0,25	1,7	5
08.00	0,25	0	1,1	3
(mm ↓)		0,25	1,1	3
09.00	0,25	0	1,0	3
(BM-2)		0,25	1,2	3
10.00	0,25	0	0,9	3
(BM-1)		0,25	0,9	3
11.00	0,25	0	0,8	3
(BM)		0,25	0,7	2
12.00	0,25	0	0,6	2
(BM+1)		0,25	0,8	3
13.00	0,25	0	0,5	2
(BM+2)		0,25	0,6	2
14.10	0,25	0	0,5	2
(mm ↑)		0,25	0,4	1
15.10	0,25	0	0,4	1
(PM-2)		0,25	0,4	1
16.15	1,10	0	7,4	21
(PM-1)		0,36	14,7	42
		0,72	17,8	51
		1,10	17,7	50
17.18	1,25	0	1,8	6
(PM)		0,43	—	—
		0,85	24,1	69
		1,25	24,6	71

TABLEAU V

Observations de la salinité de l'eau du fond à la Station VI en pleine mer de vive-eau

9 juin. — Observateur : M. Menaché

PM = 16 h 30 4,2 m

Hr = différence entre l'heure de l'observation et l'heure de la pleine mer.

Heure (TU+3)	Hr	Profondeur m	S‰	X%
—	—	—	—	—
15.35	PM-1	1,00	18,3	52
16.05	PM-1/2	1,30	22,0	63
16.35	PM	1,30	24,1	69
17.05	PM+1/2	1,30	25,4	73
17.39	PM+1	1,00	25,2	72

Des observations analogues ont été effectuées aux mêmes heures à la Station VII (pont routier). Salinité toujours nulle.

TABLEAU VI

## Résultats numériques des observations hydrologiques

PM	=	instant de pleine-mer
BM	=	» » basse-mer
mm ↑	=	mi-marée montante
mm ↓	=	» » descendante
Hr	=	décalage de temps, exprimé en heure et dixième d'heure, entre l'instant où a lieu une observation et celui auquel cette observation se trouve rapportée (PM, BM, mi-marée).
$\theta$	=	température de l'échantillon en degré Celsius. Précision : $\pm 0,1^{\circ}$ C
S	=	salinité ‰ de l'échantillon. Précision : $\pm 0,1$ ‰
X	=	pourcentage d'eau de mer de l'échantillon : $X = 2,86 S$ . Précision : $\pm 1$ %
$\sigma_t$	=	expression simplifiée de la densité de l'échantillon, définie par la formule : $\sigma_t = (d_{\theta}^4 - 1) 1.000$ $d_{\theta}^4$ étant la densité de l'échantillon à $\theta^{\circ}$ C par rapport à l'eau distillée à $4^{\circ}$ C. Précision : $\pm 0,1$
$O_2$ ml	=	nombre de ml d'oxygène dissous TPN (aux température et pression normales, $0^{\circ}$ C, 760 mm Hg), contenu dans 1 litre de l'échantillon à la température $\theta$ . Précision : $\pm 0,01$ ml
$O_2$ %	=	pourcentage de saturation = rapport multiplié par 100 du nombre de ml d'oxygène contenu dans 1 litre de l'échantillon aux conditions <i>in situ</i> , au coefficient de saturation $s$ de l'échantillon : $O_2 \% = O_2 \text{ ml} \times \frac{100}{s}$ Précision : $\pm 1$ %

**Morte-eau. Pleine mer**6 avril — Beau, peu nuageux  
Amplitude moyenne : 0,9 m

BM : 07 h 15	1,7 m	} 0,9 m
PM : 13 h 32	2,6 »	
BM : 19 h 39	1,7 »	} 0,9 »

HEURE (TU + 3)	Hr	STATION N°	POSITION	FOND m	PROFOND. m	$\theta$ ° C	S ‰	X ‰	$\sigma_t$	O <sub>2</sub> ml	O <sub>2</sub> %
12,25	+ 1,1	1	Pont	1,00	0	28,4	0,0	0	-3,7	5,27	92
					0,35	28,2	0,1	0	-3,6	5,48	95
					0,70	28,1	0,0	0	-3,7	5,27	92
					1,00	28,1	0,2	0	-3,5	5,19	90
12,50	-0,8	2	Point d'accès	0,60	0	28,8	0,1	0	-3,9	5,44	96
					0,30	28,5	0,0	0	-3,9	5,29	93
					0,60	28,6	0,2	0	-3,7	5,42	95
13,05	-0,4	3		1,00	0	29,1	0,0	0	-4,0	5,50	97
					0,35	28,8	0,0	0	-4,0	5,40	95
					0,70	28,8	0,2	0	-3,8	5,33	94
					1,00	28,9	0,0	0	-4,0	5,12	91
13,25	-0,1	4		1,50	0	29,1	0,2	0	-3,8	4,56	81
					0,50	28,65	0,3	1	-3,7	5,06	89
					1,00	28,5	0,5	2	-3,5	5,12	90
					1,50	28,1	15,6	47	8,0	3,67	70
13,40	+ 0,2	5	Parc à bœufs	4,00	0	29,0	0,6	2	-3,5	5,12	91
					1,00	30,9	22,2	63	12,0	4,10	85
					2,50	29,6	23,3	67	13,1	3,19	65
14,00	+ 0,5	6	Embou- chure	0,90	4,00	28,6	23,9	69	13,9	2,21	45
					0	29,3	1,4	4	-3,1	6,26	112
					0,30	29,4	4,9	14	-0,5	5,08	93
					0,60	32,3	23,3	67	12,3	5,00	108
					0,90	31,9	25,1	72	13,7	4,52	98
14,15	+ 0,8	7	Palétu- viers	1,00	0	32,0	14,7	42	6,1	4,70	95
					0,30	32,7	24,6	71	13,3	5,19	114
					0,60	32,6	29,6	85	17,1	3,93	89
					1,00	31,2	29,5	85	17,4	3,78	83
14,44	+ 1,2	8	Ilot	4,50	0	30,3	29,8	86	17,7	4,28	92
					1,50	30,1	30,0	86	18,0	4,60	99
					3,00	28,8	30,4	87	18,6	4,62	97
					4,50	28,75	31,3	90	19,4	3,40	72

**Morte-eau. Mi-marée descendante** PM : 09 h 32 3,0 m }  
 18 avril — Beau, peu nuageux BM : 15 h 48 1,4 » } 1,6 m  
 Amplitude : 1,6 m mm ↓ : 12 h 40

HEURE (TU + 3)	Hr	STATION N°	POSITION	FOND m	PROFOND. m	$\theta$ ° C	S ‰	X ‰	$\sigma_t$	O <sub>2</sub> ml	O <sub>2</sub> %
11,45	-0,9	1	Pont	0,50	0	26,5	0,2	0	-3,4	3,85	65
					0,50	26,6	0,6	2	-3,4	3,05	52
12,00	-0,7	2	Point d'accès	1,00	0	26,9	0,0	0	-3,5	3,41	58
					0,50	26,7	0,0	0	-3,4	4,27	73
					0,75	26,8	0,1	0	-3,5	3,44	59
					1,00	26,9	0,1	0	-3,5	3,89	67
12,15	-0,4	3		0,75	0	27,0	0,2	0	-3,3	3,72	64
					0,25	26,9	0,2	0	-3,3	3,93	67
					0,50	26,9	0,2	0	-3,3	3,40	58
					0,75	27,0	0,3	1	-3,3	2,93	50
12,40	0,0	4		0,80	0	27,4	0,1	0	-3,6	3,74	64
					0,30	27,0	0,1	0	-3,5	3,74	64
					0,60	26,95	0,1	0	-3,5	3,23	55
					0,80	27,0	0,1	0	-3,4	3,23	55
12,52	+ 0,1	5	Parc à bœufs	3,00	0	28,5	0,9	0	-3,3	3,80	67
					1,00	28,2	10,1	29	3,9	3,33	61
					2,00	29,5	27,5	79	16,4	4,40	92
					3,00	29,55	27,9	80	16,6	1,53	32
13,10	+ 0,5	6	Embou- chure	1,00	0	28,1	1,3	4	-2,8	4,05	71
					0,35	27,85	2,4	7	-1,9	3,91	69
					0,70	28,4	8,7	25	2,8	1,63	30
					1,00	29,55	24,4	70	14,0	2,55	52
13,35	+ 0,9	7	Palétu- viers	0,30	0	28,4	2,7	8	-1,7	4,25	75
					0,30	28,4	2,7	8	-1,7	4,07	72
13,55	+ 1,2	8	Ilot	4,10	0	30,3	32,2	92	19,6	4,60	101
					1,00	30,2	32,5	93	19,9	4,62	101
					2,00	29,75	32,9	94	20,4	4,35	95
					3,00	29,6	33,2	94	20,6	3,84	83
					4,10	29,5	33,2	94	20,6	4,21	91

**Morte-eau. Basse mer** PM : 09 h 32 3,0 m } 1,6 m  
 18 avril — Beau temps, peu nuageux BM : 15 h 48 1,4 » }  
 Amplitude moyenne : 1,6 m PM : 22 h 10 3,1 » } 1,7 »

HEURE (TU + 3)	Hr	STATION N°	POSITION	FOND m	PROFOND. m	$\theta$ ° C	S ‰	X ‰	$\sigma_t$	O <sub>2</sub> ml	O <sub>2</sub> %
14,30	-1,5	1	Hot	1,40	0	30,4	32,5	93	19,8	5,15	113
					0,50	30,25	32,7	93	20,0	3,83	85
					1,00	30,0	32,8	94	20,1	5,33	117
					1,40	30,0	32,9	94	20,2	5,35	117
15,00	-0,8	2	Palétu- viers	0,10	0	29,15	3,4	10	-1,5	4,37	79
					0,10	29,3	3,8	11	-1,3	—	—
15,20	-0,5	3	Embou- chure	0,80	0	28,25	1,2	3	-2,8	3,91	70
					0,25	28,2	1,1	3	-2,9	3,97	70
					0,50	28,1	2,7	8	-1,6	3,91	69
					0,80	29,2	20,9	60	11,5	0,51	10
15,40	-0,1	4	Parc à bœufs	1,80	0	28,3	0,3	3	-3,2	3,99	70
					0,60	28,2	1,0	3	-3,0	3,97	71
					1,20	29,3	23,8	69	13,6	3,03	62
					1,80	29,5	27,7	79	16,5	2,14	46
15,55	+0,1	5		0,30	0	28,3	0,3	1	-3,6	3,89	68
					0,30	28,3	0,7	2	-3,2	4,21	74

**Morte-eau. Mi-marée montante**

7 mars — Beau temps, nuageux  
Amplitude : 0,5 m

BM : 07 h 09 1,9 m }  
PM : 13 h 15 2,4 » } 0,5 m  
mm ↑ : 10 h 14

HEURE (TU + 3)	H <sub>F</sub>	STATION N°	POSITION	FOND m	PROFOND. m	θ ° C	S ‰	X ‰	σ <sub>t</sub>	O <sub>2</sub> ml	O <sub>2</sub> %
09,15	-1,0	1	Pont	0,30	0	27,1	0,2	0	-3,3	5,39	92
					0,30	26,8	<0,1	0	-3,5	4,69	80
09,45	-0,5	2		1,25	0	27,4	0,2	0	-3,4	5,05	87
					0,50	27,2	0,2	0	-3,3	4,95	85
					1,00	27,3	<0,1	0	-3,6	5,11	87
					1,25	27,0	0,2	0	-3,3	4,02	69
10,20	+ 0,1	3		0,80	0	28,1	0,4	1	-3,4	5,23	91
					0,25	27,8	0,5	2	-3,2	4,36	76
					0,50	27,8	0,6	2	-3,1	4,63	81
					0,80	27,75	0,6	2	-3,1	4,40	77
10,40	+ 0,5	4		1,10	0	28,4	0,9	3	-3,0	4,99	87
					0,40	28,3	1,0	3	-2,9	4,34	76
					0,80	28,8	18,7	53	10,0	2,64	52
					1,10	29,2	19,5	56	10,5	1,83	37
11,15	+ 1,0	5	Embou- chure	0,30	0	29,7	1,7	5	-2,9	4,67	84
					0,30	29,7	2,0	6	-2,7	4,48	81

**Vive-eau. Pleine mer**

11 mai — Beau temps, très peu nuageux  
Amplitude moyenne : 3,9 m

BM : 10 h 32 0,5 m } 3,8 m  
PM : 16 h 46 4,3 » }  
BM : 23 h 07 0,3 » } 4,0 »

HEURE (TU + 3)	Hr	STATION N°	POSITION	FOND m	PROFOND. m	$\theta$ ° C	S ‰	X ‰	$\sigma_t$	O <sub>2</sub> ml	O <sub>2</sub> %
15,20	-1,5	1	Palétu- viers	1,80	0	29,6	33,6	95	20,9	4,86	106
					0,60	29,5	33,7	96	20,9	4,86	106
					1,20	29,55	33,8	96	21,0	4,68	104
					1,80	29,6	34,5	99	21,5	4,55	99
15,50	-1,0	2	Embou- chure	2,00	0	29,9	33,3	95	20,5	4,78	105
					0,60	29,9	33,4	95	20,6	4,77	105
					1,30	29,9	34,0	97	21,0	4,93	109
					2,00	29,9	34,2	98	21,2	4,72	104
16,15	-0,5	3	Parc à bœufs	5,80	0	29,8	33,3	95	20,5	4,69	103
					1,50	29,9	33,6	96	20,8	4,84	106
					3,00	29,9	33,8	96	20,8	4,64	102
					5,00	29,9	34,1	97	21,1	4,70	104
					5,80	30,0	34,1	97	21,1	1,00	22
16,45	0,0	4		2,60	0	31,15	32,2	92	19,4	3,98	89
					0,80	30,6	32,5	93	19,7	4,57	101
					1,70	30,55	33,3	95	20,3	4,82	107
					2,60	30,4	33,4	95	20,5	4,65	103
17,07	+ 0,5	5		1,30	0	28,5	4,8	13	-0,3	6,12	110
					0,40	29,5	12,5	36	5,2	5,58	106
					0,80	31,1	29,9	86	17,6	4,17	91
					1,30	31,0	30,2	86	17,9	4,21	92
17,30	+ 0,7	6	Point d'accès	1,20	0	28,0	0,2	0	-3,5	5,80	101
					0,40	28,3	0,6	2	-3,1	5,98	105
					0,80	29,8	19,0	54	9,8	4,53	90
					1,20	29,8	20,1	57	10,7	4,22	85

**Vive-eau. Mi-marée descendante**PM : 05 h 25 3,9 m } 3,5 m  
BM : 11 h 28 0,4 »

13 avril — Temps variable

Amplitude : 3,5m

mm ↓ : 05 h 28

HEURE (TU + 3)	Hr	STATION N°	POSITION	FOND m	PROFOND. m	$\theta$ ° C	S ‰	X ‰	$\sigma_t$	O <sub>2</sub> ml	O <sub>2</sub> %
07,25	-1,0	1	20 m à l'aval du pont	0,50	0	25,6	0,0	0	-3,1	5,95	99
					0,25	25,6	0,0	0	-3,1	5,78	97
					0,50	25,6	0,0	0	-3,1	5,76	97
07,40	-0,8	2	Point d'accès	0,60	0	25,85	0,0	0	-3,2	5,84	98
					0,30	25,75	0,0	0	-3,2	5,09	85
					0,60	25,7	0,0	0	-3,1	5,36	90
07,55	-0,6	3		0,80	0	26,1	0,6	2	-2,8	5,21	86
					0,25	26,0	0,6	2	-2,8	4,72	79
					0,50	26,0	0,6	2	-2,8	5,24	86
					0,80	26,1	0,8	2	-2,6	5,64	95
08,20	-0,1	4		1,00	0	26,55	2,2	6	-1,7	4,68	81
					0,25	26,5	2,4	7	-1,5	4,95	85
					0,50	26,5	2,5	8	-1,4	5,21	90
					0,75	26,45	2,5	8	-1,4	4,69	85
					1,00	26,45	2,7	8	-1,2	4,81	83
08,40	+ 0,2	5	Parc à bœufs	2,60	0	27,1	6,7	19	1,7	3,80	68
					0,75	27,9	27,7	79	17,0	2,94	60
					1,50	27,9	29,1	83	18,0	2,64	54
					2,60	27,95	30,0	86	18,7	0,81	24
09,00	+ 0,5	6	Embou- chure	1,80	0	27,35	7,8	23	2,3	3,36	60
					0,60	28,05	26,7	76	16,3	1,88	38
					1,20	28,2	28,9	83	17,8	1,96	40
					1,80	28,2	29,3	84	18,1	0,07	1
09,15	+ 0,8	7	Palétu- viers	0,25	0	28,3	11,8	34	5,0	3,64	68
					0,25	28,2	11,6	33	5,0	3,13	59
09,40	+ 1,2	8	Ilot	0,75	0	29,6	28,3	81	16,9	3,61	76
					0,25	29,5	28,3	81	16,9	3,82	81
					0,50	29,3	28,7	82	17,4	3,67	77
					0,75	29,1	29,6	85	18,1	2,98	63



**Vive-eau. Basse mer**

11 mai — Beau temps, très peu nuageux  
 Amplitude moyenne : 3,6 m

PM : 04 h 31 3,8 m }  
 BM : 10 h 32 0,5 » } 3,3 m  
 PM : 16 h 46 4,3 » } 3,8 m

HEURE (TU + 3)	Hr	STATION N°	POSITION	FOND m	PROFOND. m	$\theta$ ° C	S ‰	X ‰	$\sigma_t$	O <sub>2</sub> ml	O <sub>2</sub> %
09,35	-0,9	1	Ilot	0,30	0 0,15 0,30	27,1 27,0 27,1	32,1 32,3 32,7	92 93 93	20,6 20,7 21,1	4,31 4,23 4,25	89 87 88
09,45	-0,7	2		0,20	0 0,20	30,15 30,1	24,6 24,5	71 71	14,0 13,9	4,05 3,70	85 77
10,00	-0,5	3		0,25	0 0,25	29,3 29,25	19,6 20,1	56 57	9,7 10,9	4,31 3,50	86 70
10,12	-0,2	4	Palétu- viers	0,20	0 0,20	28,6 28,45	17,5 17,7	50 50	9,2 9,5	4,07 3,84	79 75
10,25	-0,1	5	Embou- chure	1,10	0 0,40 0,80 1,10	27,45 28,6 28,3 27,9	11,3 27,5 29,8 30,6	32 79 85 88	4,9 16,6 18,4 19,2	4,21 2,58 1,67 2,88	77 53 35 60
10,35	+0,1	6	Parc à bœufs	3,50	0 1,00 2,00 3,00 3,50	27,55 27,6 27,2 27,2 27,2	6,5 30,7 32,0 32,1 32,2	19 88 92 92 92	1,3 19,4 20,5 20,6 20,7	4,84 2,76 2,14 2,20 0,94	87 57 44 46 20
10,55	+0,4	7		0,20	0 0,20	27,52 27,55	3,5 4,7	10 13	-0,9 0,0	5,72 5,33	101 95

**Vive-eau. Mi-marée montante**

12 avril — Beau temps, peu nuageux  
Amplitude : 3,9 m

BM : 10 h 53 0,4 m } 3,9 m  
PM : 17 h 05 4,3 » }  
mm ↑ : 14 h 00

HEURE (TU + 3)	Hr	STATION N°	POSITION	FOND m	PROFOND. m	$\theta$ ° C	S ‰	X ‰	$\sigma_t$	O <sub>2</sub> ml	O <sub>2</sub> %
12,45	-1,2	1	Palélu- viers	0,30	0	30,35	5,2	14	-0,5	5,05	94
					0,30	30,3	5,2	14	-0,5	4,97	92
13,00	-1,0	2	Embou- chure	0,80	0	29,7	2,2	6	-2,5	6,16	113
					0,25	29,5	2,7	8	-2,1	5,69	103
					0,50	30,1	22,0	63	12,1	2,98	61
					0,80	30,0	26,6	76	15,5	2,05	43
13,15	-0,7	3	Parc à bœufs	1,50	0	29,7	1,7	5	-2,9	6,36	115
					0,50	29,6	7,9	23	1,7	5,29	99
					1,00	29,1	26,7	76	16,0	3,04	63
					1,50	29,2	27,5	79	16,5	1,87	39
13,35	-0,4	4		0,60	0	29,8	0,8	3	-3,6	6,24	112
					0,20	29,7	0,8	3	-3,6	6,12	110
					0,40	29,6	0,9	3	-3,5	6,12	110
					0,60	29,6	1,0	3	-3,5	6,0	108
13,58	0,0	5		1,60	0	30,0	0,6	2	-3,8	6,44	116
					0,50	30,0	0,6	2	-3,8	6,49	117
					1,00	29,8	0,3	1	-4,1	5,81	104
					1,60	29,8	0,4	1	-4,1	6,34	114
14,25	+ 0,4	6		1,10	0		0,0	0		6,14	110 (*)
					0,40		0,0	0		5,86	105
					0,80		0,3	1		5,88	106
					1,10		0,0	0		5,64	101
14,50	+ 0,8	7	Pont	0,40	0		0,2	0		5,94	107
					0,20		0,0	0		3,96	71
					0,40		0,0	0		5,83	105

(\*) Thermomètre cassé. Pour les Stations 6 et 7, on a pris  $\theta = 30,0^\circ$  C pour le calcul de O<sub>2</sub> %.

## CONCLUSIONS

L'étude à laquelle nous venons de procéder avait pour objet principal de dégager les grandes lignes du phénomène de la pénétration de la marée dans un estuaire de la Côte Nord-Ouest de Madagascar et des modalités du mélange des eaux douce et salée en fonction de la marée. Faite en période de crue, elle gagnerait à être reprise en saison d'étiage.

Certains des renseignements qui s'en dégagent présentent un intérêt général. Le déphasage entre la marée purement dynamique et celle que nous avons dénommée « haline », et qui représente le mouvement de la masse d'eau salée, mériterait d'être précisé par des observations faites à intervalles de temps serrés, couvrant au moins un cycle complet de la marée.

Le phénomène de réduction organique au fond de la dépression à la Station IV est également intéressant à signaler. De telles dépressions sont fréquentes dans les estuaires à marée. L'action directe de la mer ne s'y fait sentir qu'en pleine mer et n'est totale qu'en vive-eau. La richesse en oxygène dissous semble ici essentiellement fonction du mouvement. La réduction organique est particulièrement rapide dès que le mouvement s'arrête. Au fond de la cuvette étudiée, l'eau saturée d'oxygène en pleine mer de vive-eau, en est pratiquement dépourvue à la mi-marée suivante, à peine deux heures après son isolement du large. Ce phénomène de réduction organique revêt une grande importance biologique et devrait être examiné dans toute étude hydrologique d'estuaire à marée. Il met en outre l'accent sur l'importance dans de telles recherches des observations d'oxygène dissous qui devraient toujours être faites conjointement aux observations classiques de salinité et de température.

## BIBLIOGRAPHIE

1. ALEXANDER (W. B.), SOUTHGATE (B. A.), BASSINDALE (R.), 1935. — Survey of the river Tees. Part. III. The estuary. Chemical and Biological Dept. Sc. Ind. Res., Water Pollution Res., Technical Paper n° 5. H.M. Stationery Office, London.
2. DUSSART (B.), FRANCIS-BOEUF (C.), 1949. — Technique du dosage de l'oxygène dissous dans l'eau basée sur la méthode de Winkler. — Circ. du C.R.E.O., I.T. n° 1, p. 8.
3. FOX (C.J.J.), 1907. — On the coefficients of absorption of the atmosphere gases in distilled water and sea water. — Cons. Perm. Intern. Explor. Mer, Public. de Circonstance, n° 41, p. 27.

4. FOX (H. M.), WINGFIELD (C. A.), 1938. — A portable apparatus for the determination of oxygen dissolved in a small volume of water. — *J. Experim. Biol.*, XV, 3, pp. 437-445.
5. FRANCIS-BOEUF (C.), 1947. — Recherches sur le milieu fluvio-marin et les dépôts d'estuaire. — *Ann. Inst. Oceanogr.*, XXIII pp. 149-344.
6. KNUDSEN (M.), 1901. — Hydrographical tables. — Copenhague.
7. KROGH (A.), 1935. — Syringe Pipets. — *J. Ind. Eng. Chem., Anal. Ed.*, VII, 2, pp. 130-131.
8. KROGH (A.), 1935. — Precise determination of oxygen in water by Syringe Pipets. — *J. Ind. Eng. chem., Anal. Ed.* VII, 2, pp. 131-133.
9. THOMPSON (Th. G.), CLEVÉ (R. van), 1930. — Determination of the Chlorinity of ocean waters. — *Rep. Int. Fish. Comm.*, Vancouver, n° 3, p. 10, table I.
10. VARLET (F.) et MENACHÉ (M.), 1947. — L'estuaire du Moros à Concarneau (Finistère). Etude du mélange des eaux douces et salées. — *Bull. Inst. Océanogr.*, n° 917.

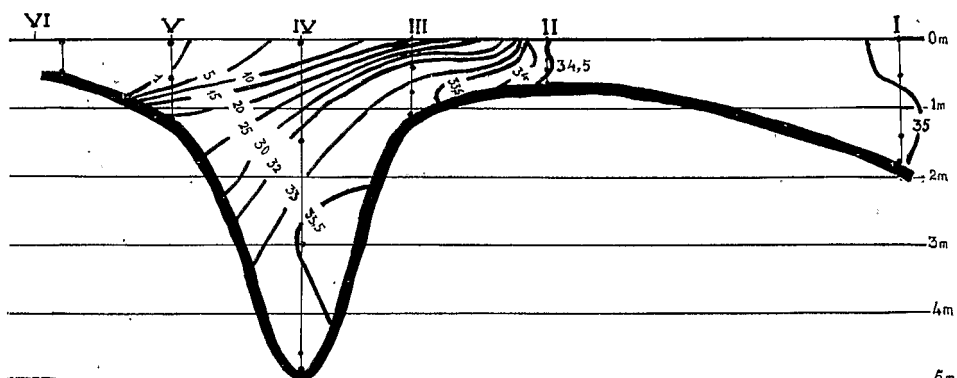


Fig. 10. — Observations simultanées de la salinité en morte-eau, le 3 juin. Coupe des isohalines 2 heures avant la pleine-mer (PM-2).

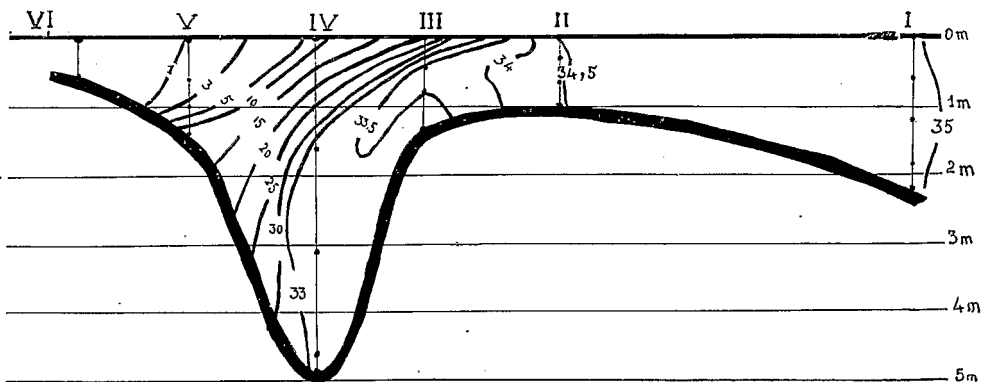


Fig. 11. — Observations simultanées de la salinité en morte-eau, le 3 juin. Coupe des isohalines 1 heure avant la pleine-mer (PM-1).

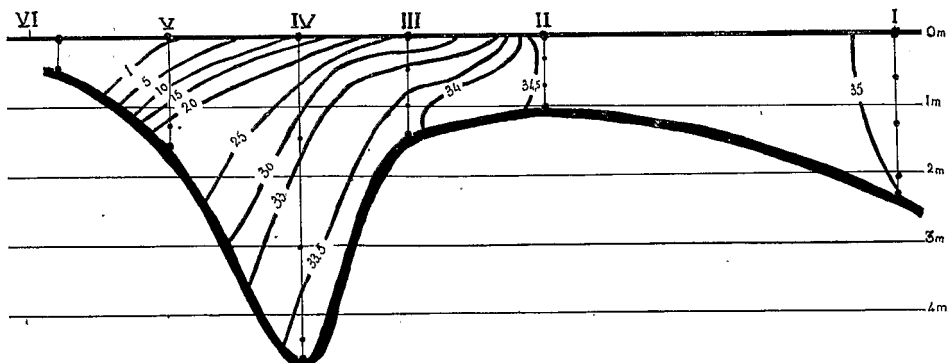


Fig. 12. — Observations simultanées de la salinité en morte-eau, le 3 juin. Coupe des isohalines à l'instant de la pleine-mer (PM).

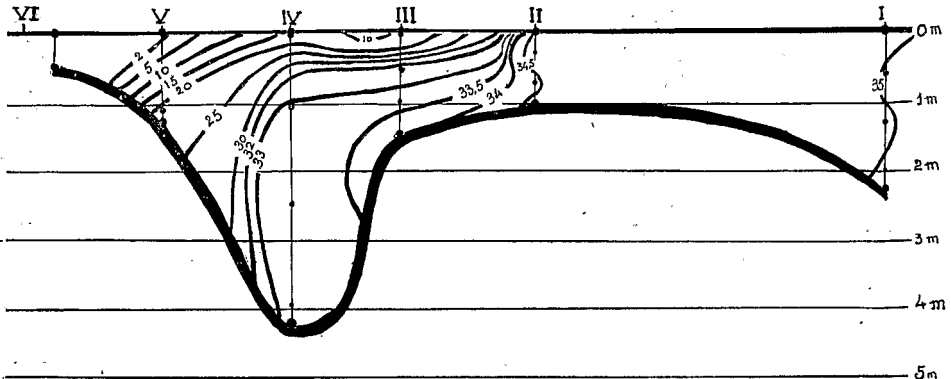


Fig. 13. — Observations simultanées de la salinité en morte-eau, le 3 juin. Coupe des isohalines 1 heure après la pleine-mer (PM+1).

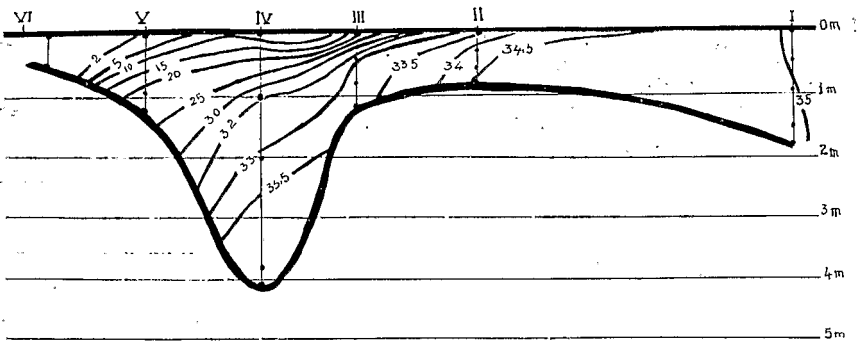


Fig. 14. — Observations simultanées de la salinité en morte-eau, le 3 juin. Coupe des isohalines 2 heures après la pleine-mer (PM+2).

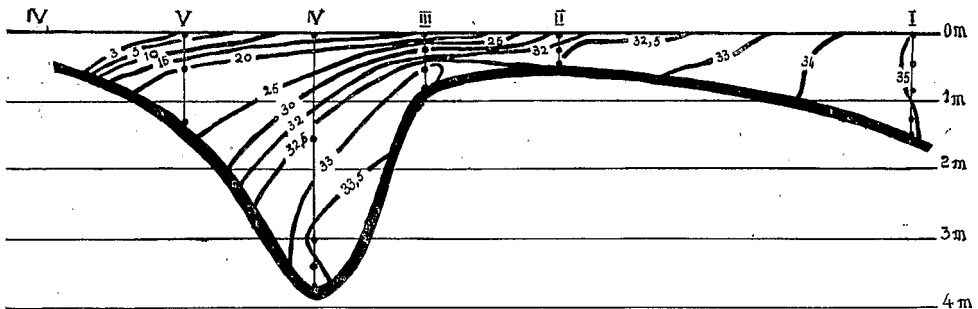


Fig. 15. — Observations simultanées de la salinité en morte-eau, le 3 juin. Coupe des isohalines à la mi-marée montante (mm ↑).

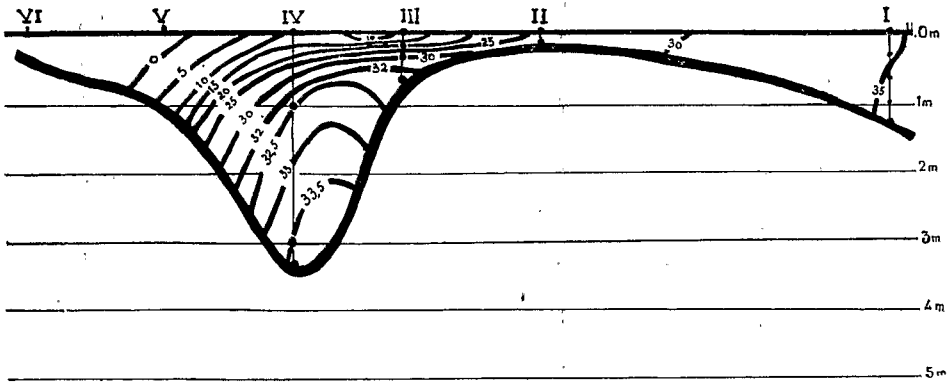


Fig. 16. — Observations simultanées de la salinité en morte-eau, le 3 juin. Coupe des isohalines 2 heures avant la basse-mer (BM-2).

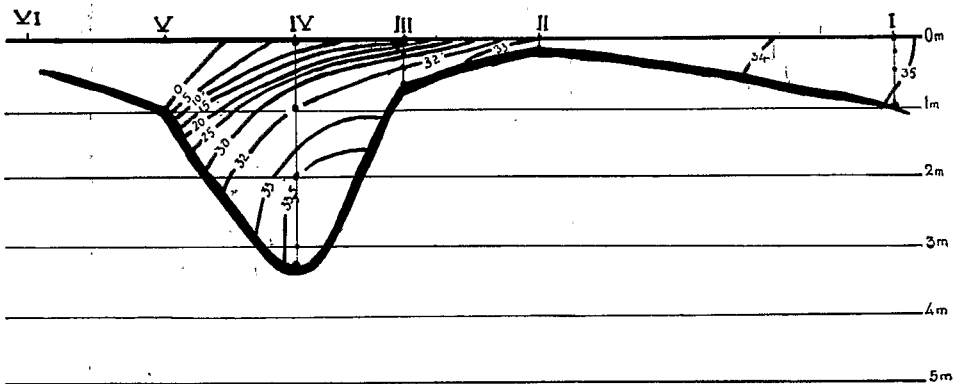


Fig. 17. — Observations simultanées de la salinité en morte-eau, le 3 juin. Coupe des isohalines 1 heure avant la basse-mer (BM-1).

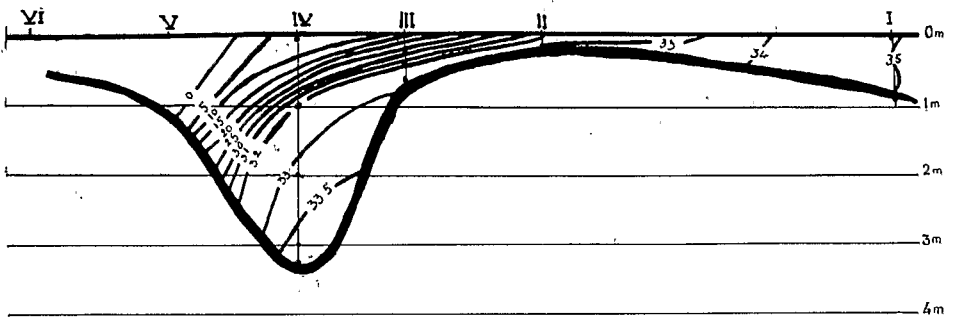


Fig. 18. — Observations simultanées de la salinité en morte-eau, le 3 juin. Coupe des isohalines à l'instant de la basse-mer (BM).

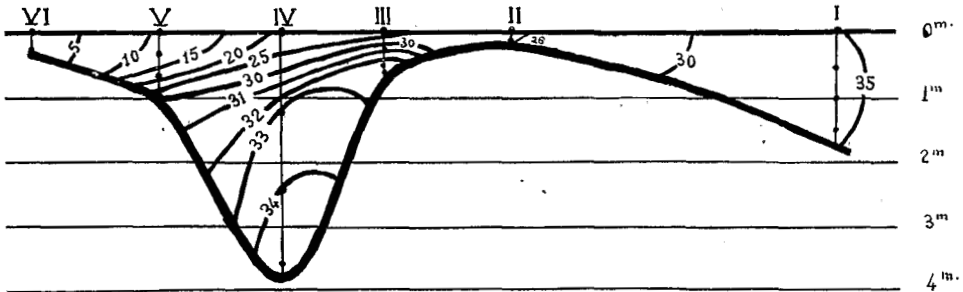


Fig. 19. — Observations simultanées de la salinité en vive-eau, le 10 juin. Coupe des isohalines à la mi-marée descendante (mm ↓).

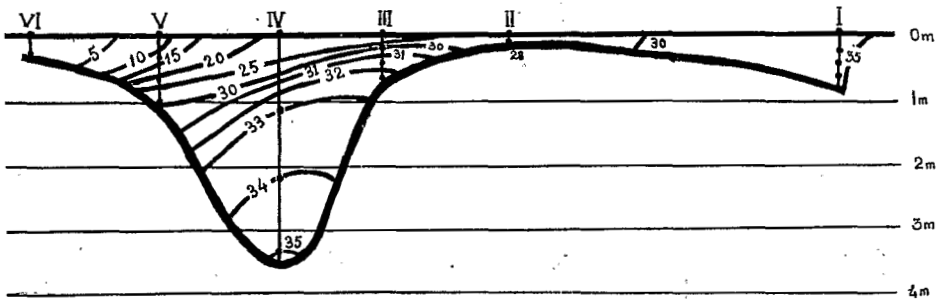


Fig. 20. — Observations simultanées de la salinité en vive-eau, le 10 juin. Coupe des isohalines 2 heures avant la basse-mer (BM-2).

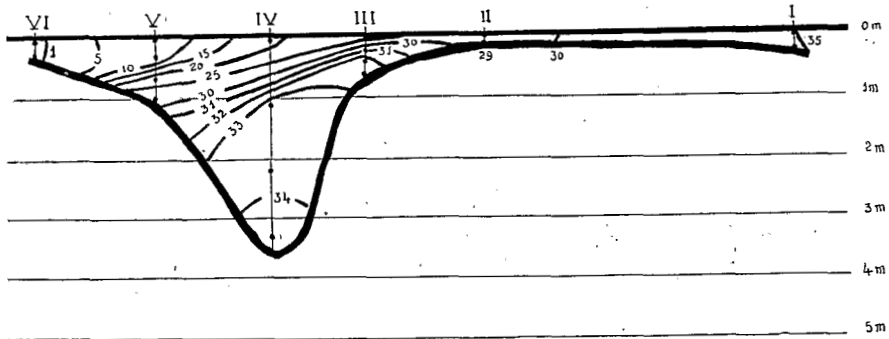


Fig. 21. — Observations simultanées de la salinité en vive-eau, le 10 juin. Coupe des isohalines 1 heure avant la basse-mer (BM-1).



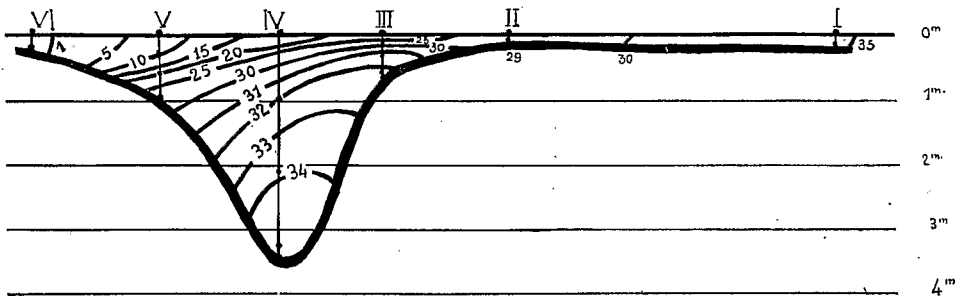


Fig. 22. — Observations simultanées de la salinité en vive-eau, le 10 juin. Coupe des isohalines à l'instant de la basse-mer (BM).

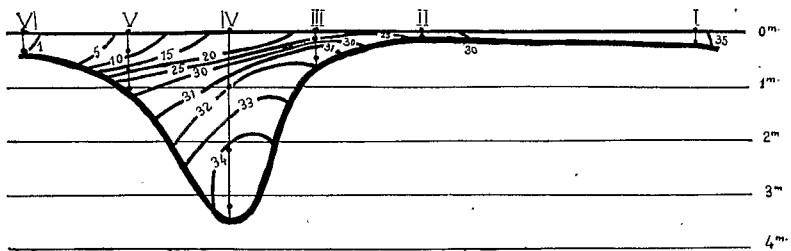


Fig. 23. — Observations simultanées de la salinité en vive-eau, le 10 juin. Coupe des isohalines 1 heure après la basse-mer (BM+1).

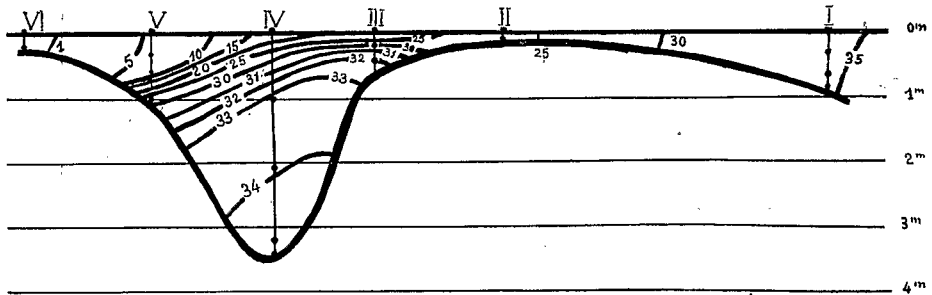


Fig. 24. — Observations simultanées de la salinité en vive-eau, le 10 juin. Coupe des isohalines 2 heures après la basse-mer (BM+2).

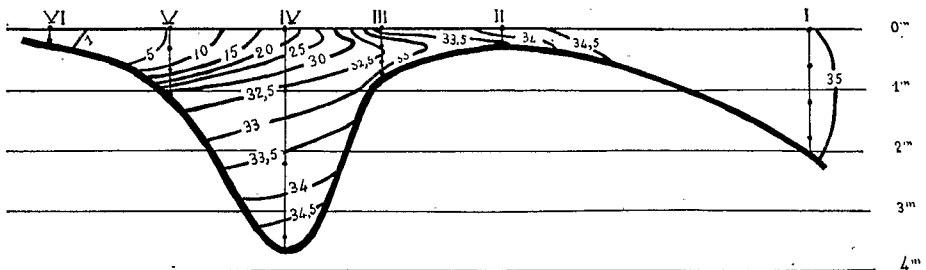


Fig. 25. — Observations simultanées de la salinité en vive-eau, le 10 juin. Coupe des isohalines à la mi-marée montante (mm ↑).

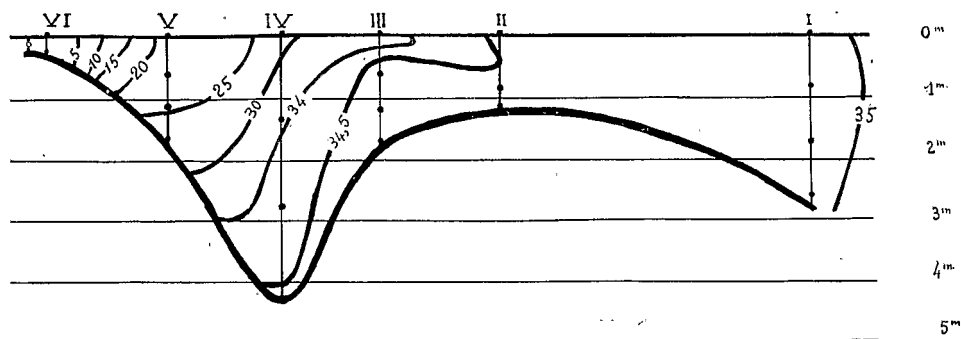


Fig. 26. — Observations simultanées de la salinité en vive-eau, le 10 juin. Coupe des isohalines 2 heures avant la pleine-mer (PM-2).

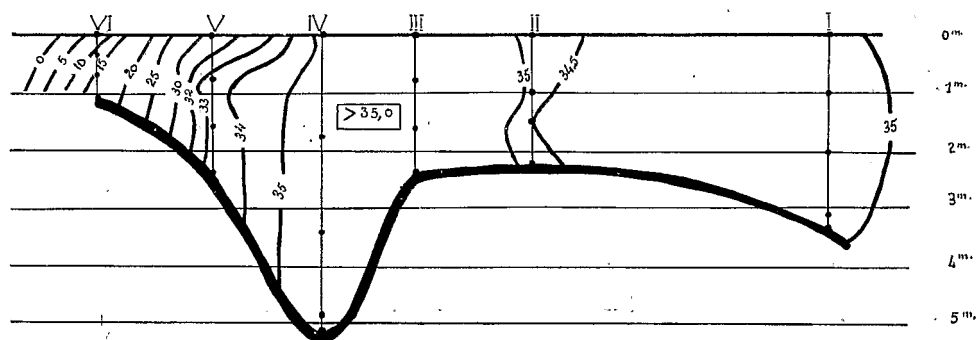


Fig. 27. — Observations simultanées de la salinité en vive-eau, le 10 juin. Coupe des isohalines 1 heure avant la pleine-mer (PM-1).

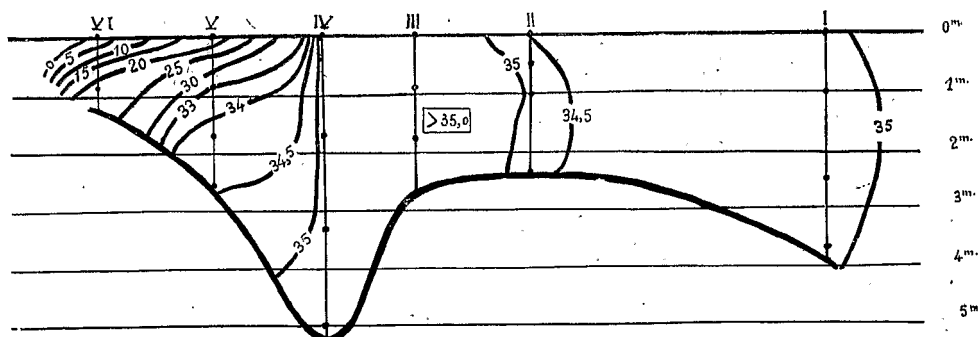


Fig. 28. — Observations simultanées de la salinité en vive-eau, le 10 juin. Coupe des isohalines à l'instant de la pleine-mer (PM).

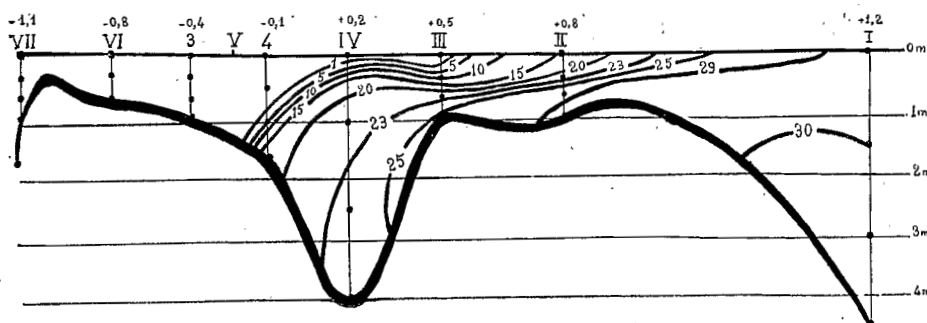


Fig. 31. — Morte-eau. Pleine-mer. 6 avril. Beau temps, peu nuageux.  
Amplitude moyenne : 0,9 m. — Isohalines.

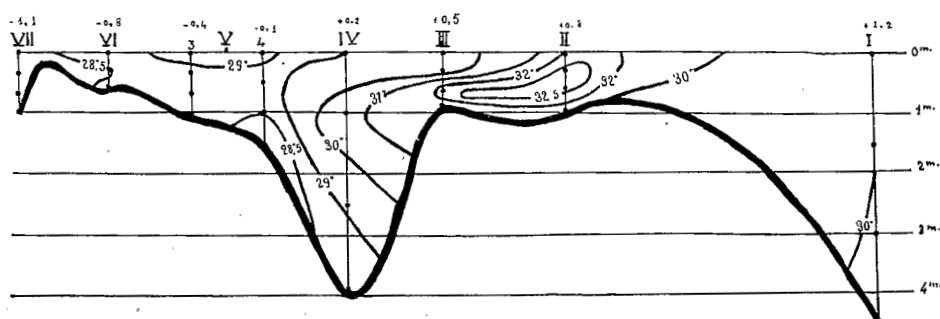


Fig. 32. — Morte-eau. Pleine-mer. 6 avril. Beau temps, peu nuageux.  
Amplitude moyenne : 0,9 m. — Isothermes.

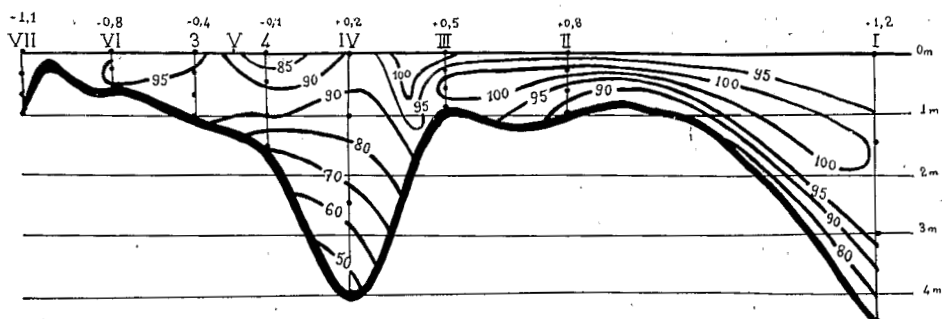


Fig. 33. — Morte-eau. Pleine-mer. 6 avril. Beau temps, peu nuageux.  
Amplitude moyenne : 0,9 m. — Oxygène dissous ( $O_2$  %).

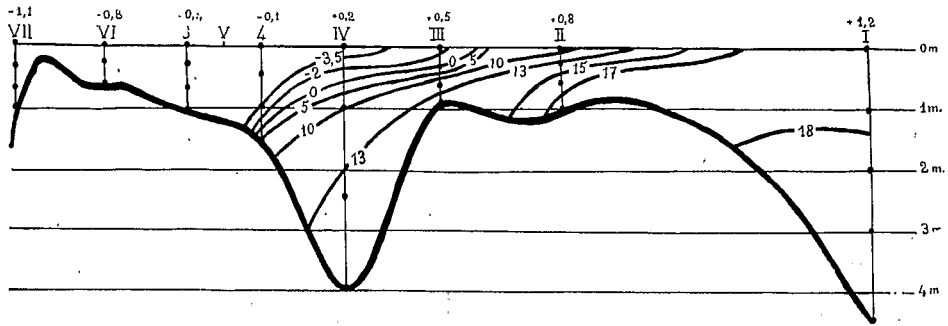


Fig. 34. — Morte-eau. Pleine-mer. 6 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude moyenne : 0,9 m. — Densité ( $\sigma_t$ ).

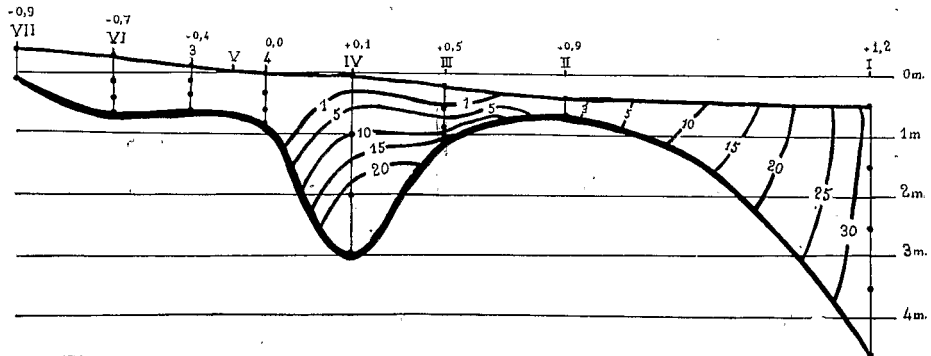


Fig. 35. — Morte-eau. Mi-marée descendante. 18 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude : 1,6 m. — Isohalines.

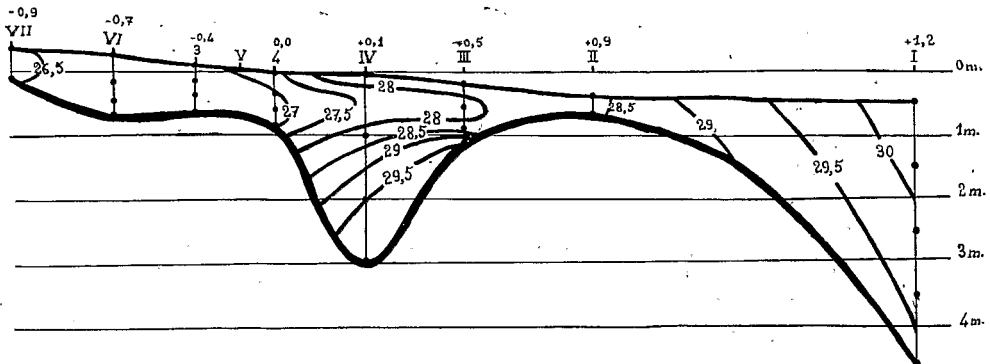


Fig. 36. — Morte-eau. Mi-marée descendante. 18 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude : 1,6 m. — Isothermes.

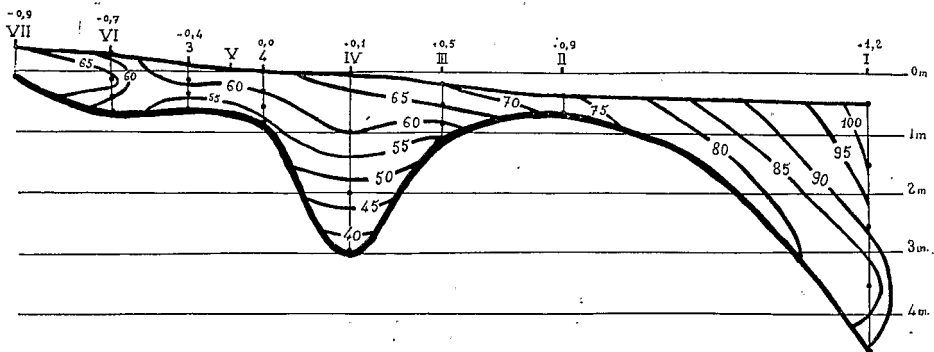


Fig. 37. — Morte-eau. Mi-marée descendante. 18 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude : 1,6 m. — Oxygène dissous ( $O_2$  %).

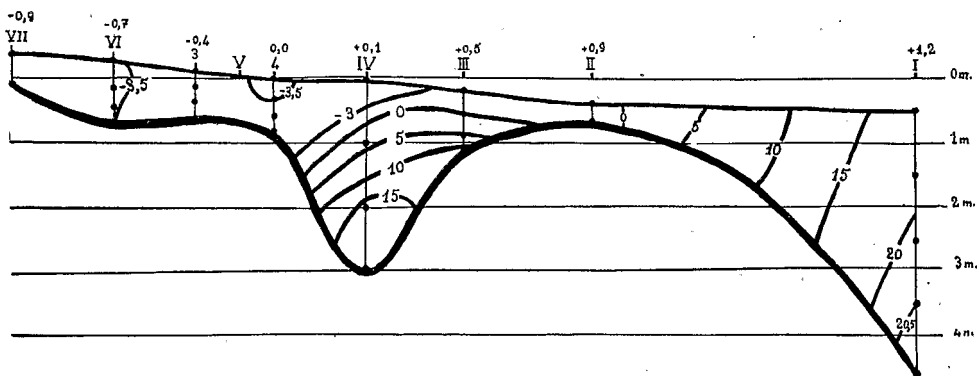


Fig. 38. — Morte-eau. Mi-marée descendante. 18 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude : 1,6 m. — Densité ( $\sigma_t$ ).

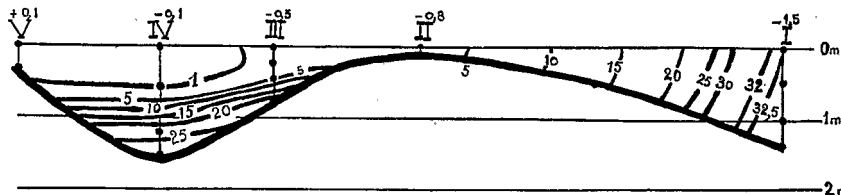


Fig. 39. — Morte-eau. Basse-mer. 18 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude moyenne : 1,6 m — Isohalines.

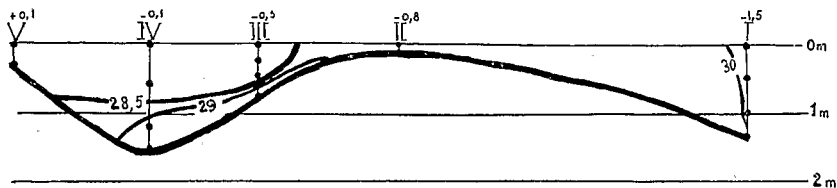


Fig. 40. — Morte-eau. Basse-mer. 18 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude moyenne : 1,6 m. — Isothermes.

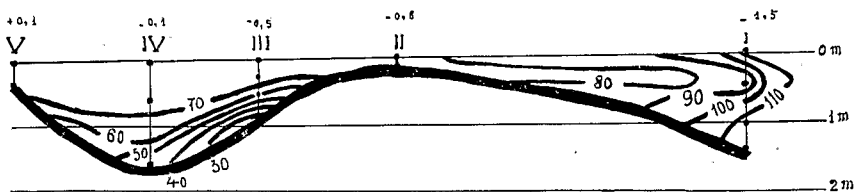


Fig. 41. — Morte-eau. Basse-mer. 18 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude moyenne : 1,6 m. — Oxygène dissous ( $O_2$  %).

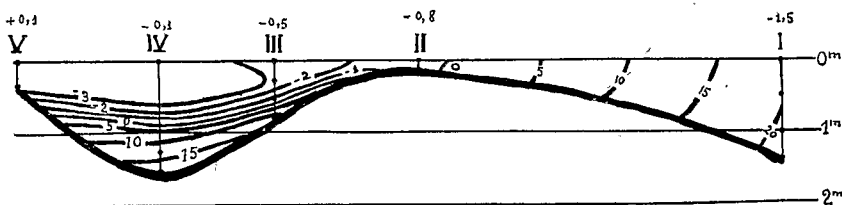


Fig. 42. — Morte-eau. Basse mer. 18 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude moyenne : 1,6 m. — Densité ( $\sigma_t$ ).

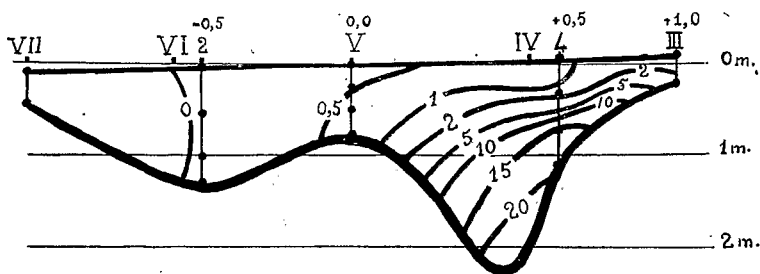


Fig. 43. — Morte-eau. Mi-marée montante. 7 mars. Beau temps, nuageux. Amplitude : 0,5 m. — Isohalines.

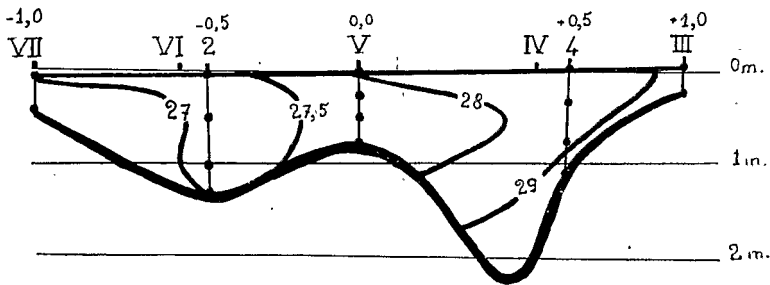


Fig. 44. — Morte-eau. Mi-marée montante. 7 mars. Beau temps, nuageux.  
Amplitude : 0,5 m. — Isothermes.

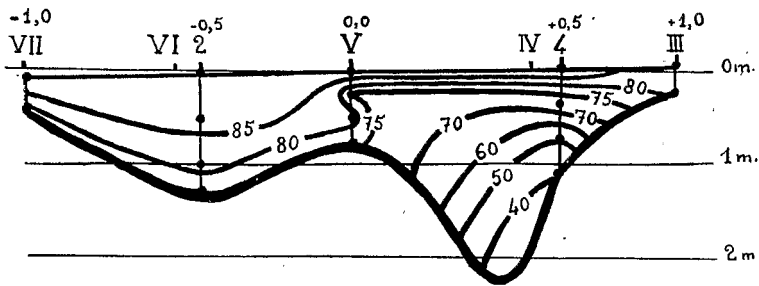


Fig. 45. — Morte-eau. Mi-marée montante. 7 mars. Beau temps, nuageux.  
Amplitude : 0,5 m. — Oxygène dissous ( $O_2$  %).

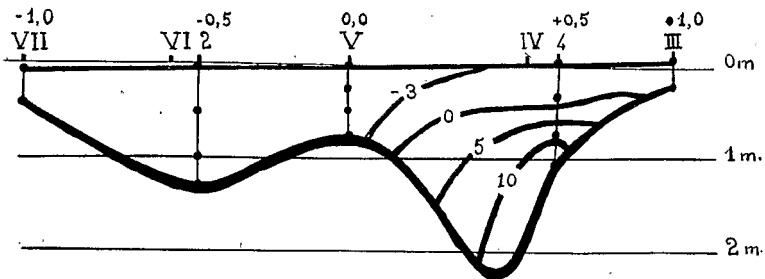


Fig. 46. — Morte-eau. Mi-marée montante. 7 mars. Beau temps, nuageux.  
Amplitude : 0,5 m. — Densité ( $\sigma_t$ ).

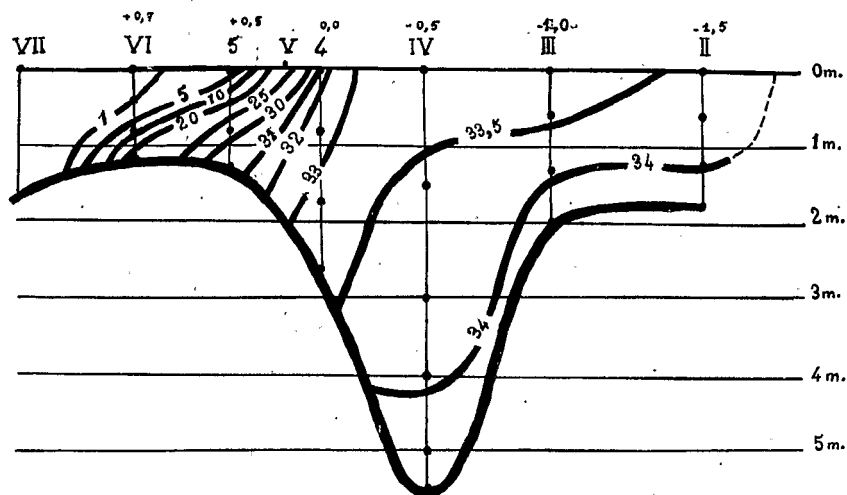


Fig. 47. — Vive-eau. Pleine-mer. 11 mai. Beau temps, très peu nuageux. Amplitude moyenne : 3,9 m. — Isohalines.

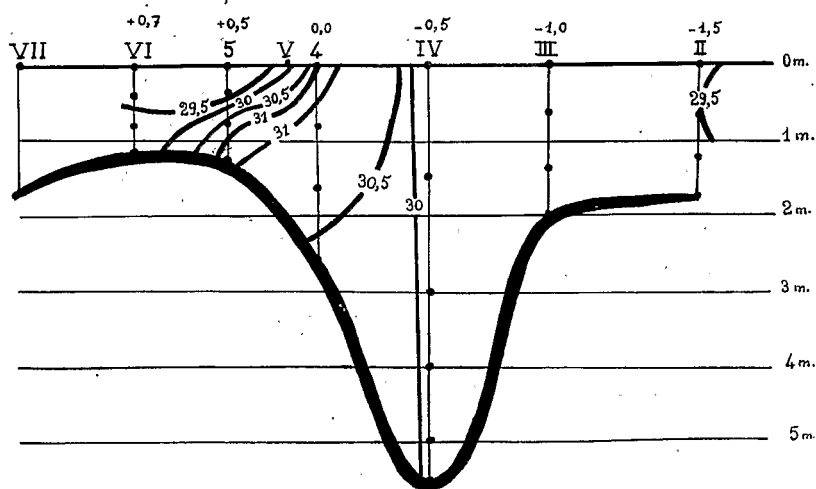


Fig. 48. — Vive-eau. Pleine-mer. 11 mai. Beau temps, très peu nuageux. Amplitude moyenne : 3,9 m. — Isothermes.



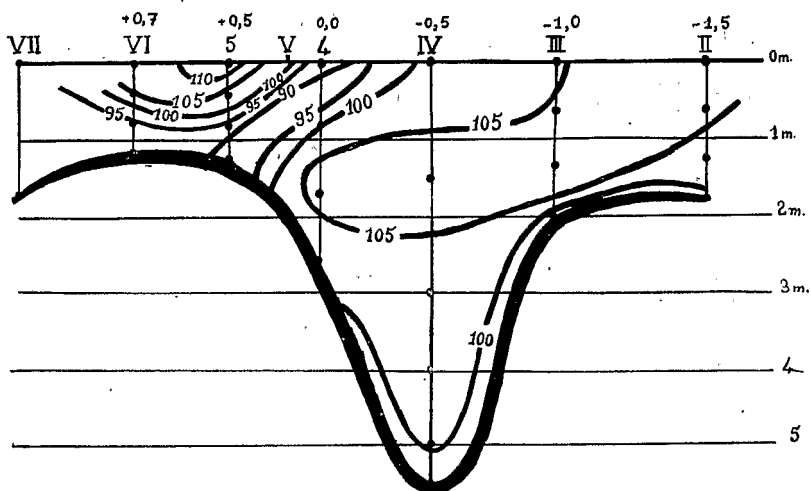


Fig. 49. — Vive-eau. Pleine-mer. 11 mai. Beau temps, très peu nuageux. Amplitude moyenne : 3,9 m. — Oxygène dissous ( $O_2$  %).

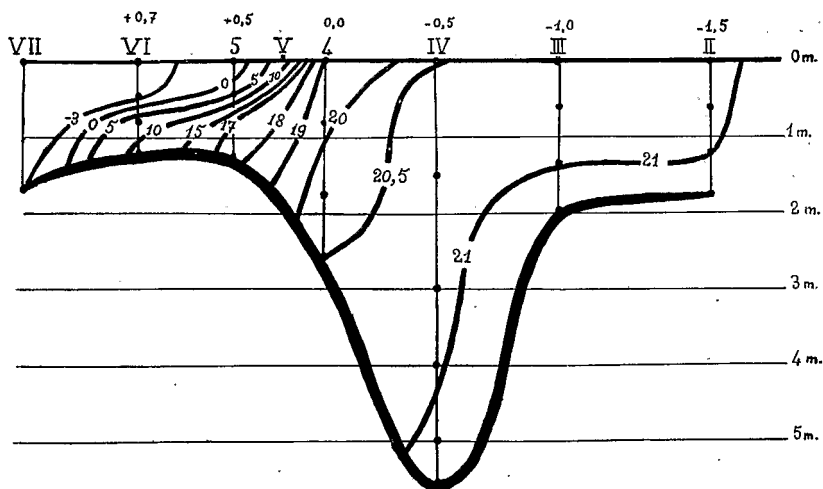


Fig. 50. — Vive-eau. Pleine-mer. 11 mai. Beau temps, très peu nuageux. Amplitude moyenne : 3,9 m. — Densité ( $\sigma_t$ ).

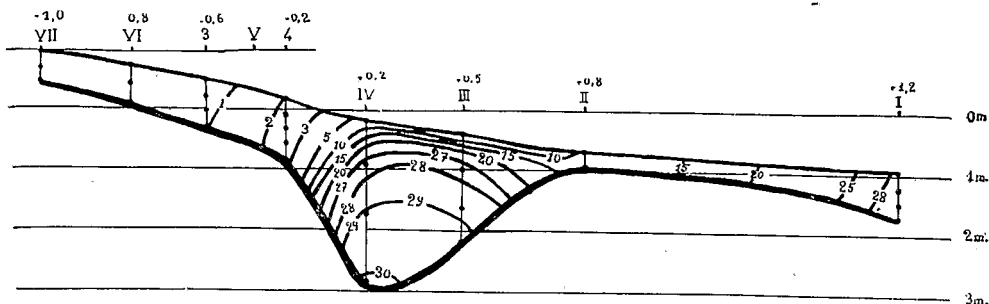


Fig. 51. — Vive-eau. Mi-marée descendante. 13 avril. Temps variable. Amplitude : 3,5 m. — Isohalines.

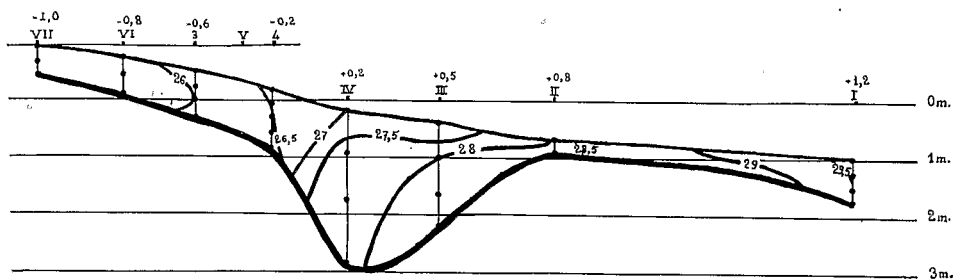


Fig. 52. — Vive-eau. Mi-marée descendante. 13 avril. Temps variable. Amplitude : 3,5 m. — Isothermes.

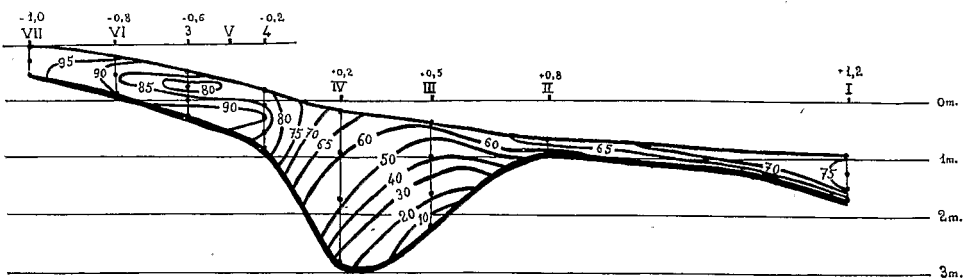


Fig. 53. — Vive-eau. Mi-marée descendante. 13 avril. Temps variable. Amplitude : 3,5 m. — Oxygène dissous (O<sub>2</sub> %).

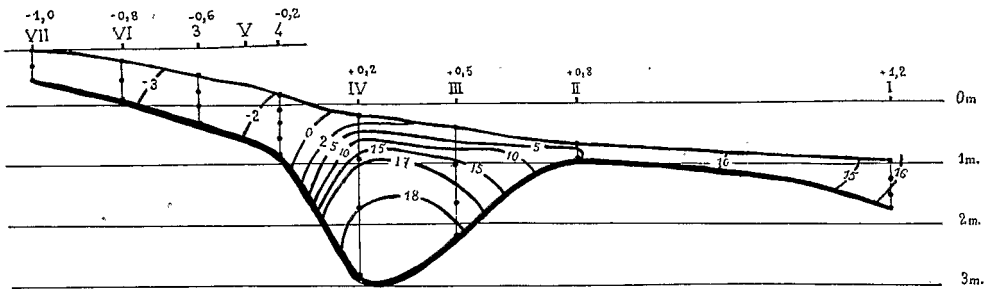


Fig. 54. — Vive-eau. Mi-marée descendante. 13 avril. Temps variable. Amplitude : 3,5 m. — Densité ( $\sigma_t$ ).

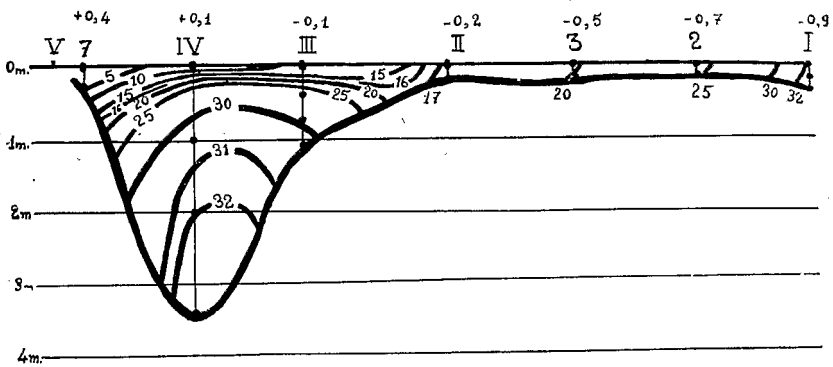


Fig. 55. — Vive-eau. Basse-mer. 11 mai. Beau temps, très peu nuageux. Amplitude moyenne : 3,6 m. — Isohalines.

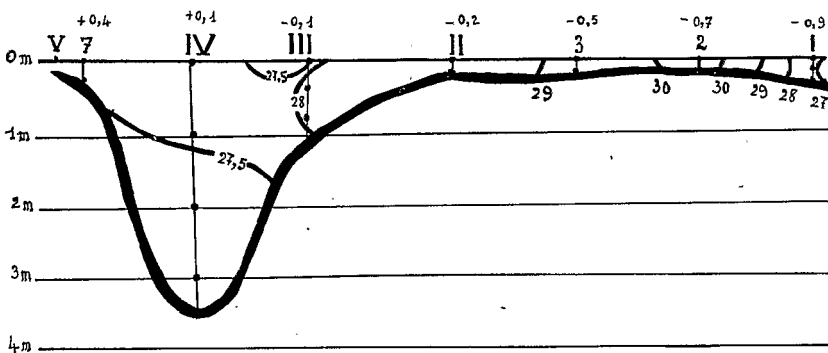


Fig. 56. — Vive-eau. Basse-mer. 11 mai. Beau temps, très peu nuageux. Amplitude moyenne : 3,6 m. — Isothermes.

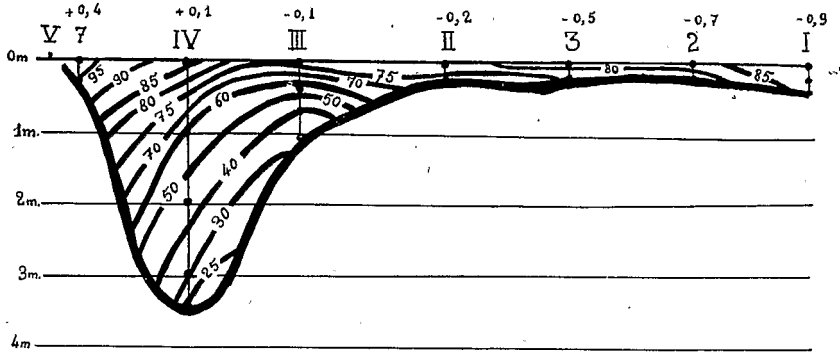


Fig. 57. — Vive-eau. Basse-mer. 11 mai. Beau temps, très peu nuageux. Amplitude moyenne : 3,6 m. — Oxygène dissous ( $O_2$  %).

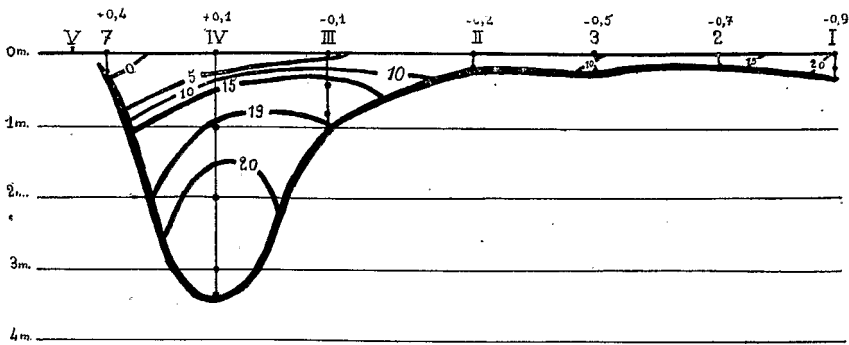


Fig. 58. — Vive-eau. Basse-mer. 11 mai. Beau temps, très peu nuageux. Amplitude moyenne : 3,6 m. — Densité ( $\sigma_t$ ).

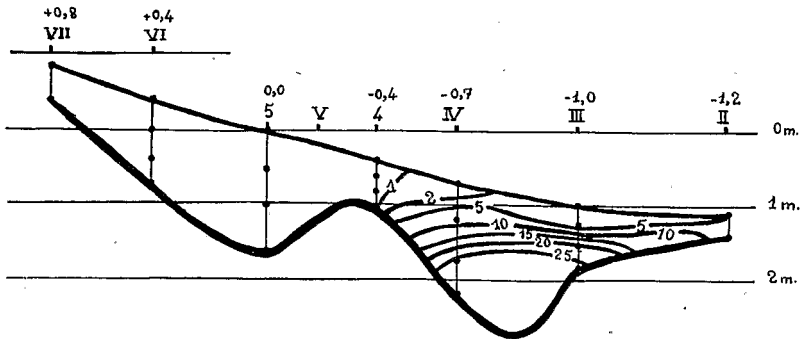


Fig. 59. — Vive-eau. Mi-marée montante. 12 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude : 3,9 m. — Isohalines.

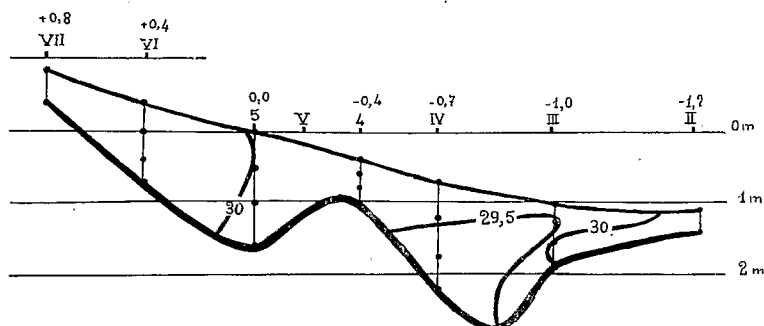


Fig. 60. — Vive-eau. Mi-marée montante. 12 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude : 3,9 m. — Isothermes.

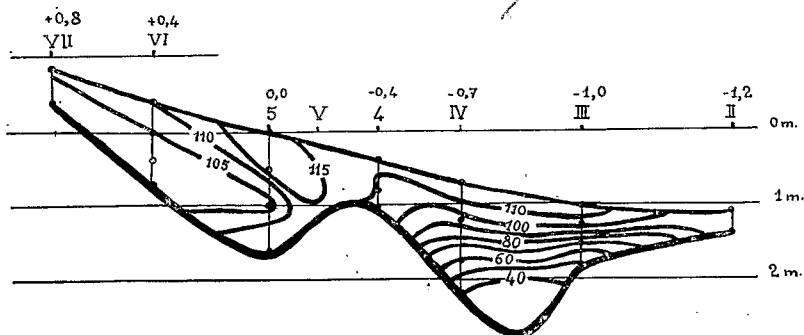


Fig. 61. — Vive-eau. Mi-marée montante. 12 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude : 3,9 m. — Oxygène dissous ( $O_2\%$ ).

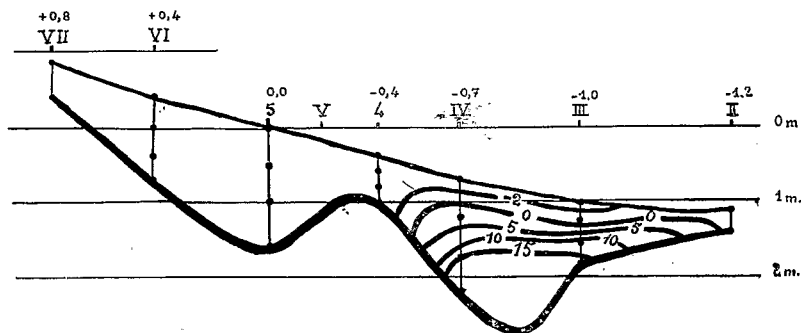


Fig. 62. — Vive-eau. Mi-marée montante. 12 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude : 3,9 m. — Densité ( $\sigma_t$ ).