

**OBSERVATIONS SUR LES MARÉES INTERNES
EN UN POINT DU CANAL DE MOZAMBIQUE**

par

M. MENACHÉ

On désigne sous la dénomination générale de « Marées internes », des oscillations verticales, plus ou moins compliquées, se produisant dans les couches profondes de l'Océan et n'affectant la surface que d'une manière insensible. Ces ondes internes sont mises en évidence dans les observations océanographiques par des variations périodiques des caractéristiques physiques de l'eau de mer en un point donné, à une profondeur déterminée telle que les variations diurnes et saisonnières de ces caractéristiques y soient amorties.

La caractéristique la plus saillante du phénomène est la très grande amplitude que peuvent avoir les ondes internes comparativement à celle des différentes ondes se propageant en surface : houle, marée... Alors que l'amplitude de la marée en surface atteint rarement une quinzaine de mètres, il est fréquent d'observer des marées internes de 80 mètres d'amplitude.

Le phénomène possède, en outre, les caractéristiques générales suivantes :

1° Il n'est observable que dans une mer stratifiée et son amplitude est souvent maxima dans les couches de transition séparant des couches d'eau relativement homogènes. L'existence même de telles couches de transition, où le gradient vertical de température est très élevé, facilite, d'ailleurs, l'observation du phénomène, de faibles déplacements verticaux à leur niveau se signalant par des variations importantes de la température.

2° Le phénomène se présente, généralement, sous un aspect plus compliqué que celui de la marée en surface et sa périodicité est rarement bien nette. Comme pour la marée en surface, il semble y avoir, à chaque niveau, superposition de plusieurs ondes, d'amplitudes et de phases bien différentes.

3° Les caractéristiques de l'oscillation (période et phase) peuvent différer notablement d'une profondeur à une autre.

4° Parmi les périodes les plus diverses observées, s'échelonnant de 10 minutes (enregistrements d'IDRAC dans la baie de Villefranche) (29) à 14 jours (observations systématiques faites à la station de Brnô, dans le Gullmarfjord) (65, 70, 91), les périodes dites « de marée », en rapport avec le mouvement des astres, sont les plus nombreuses et les plus dominantes.

Le phénomène a été signalé, pour la première fois, par NANSEN, en 1902 (49), d'après les observations du « Fram », dans le Bassin Arctique, en 1894. Depuis, il a été observé dans diverses régions du globe : campagnes du « Michael Sars » (25, 48) et du « Thor » (34), en mer de Norvège, en 1910, observations du « Dana », en 1921 (70 b, 70 t, 71 b) et 1928 (32), dans le détroit de Gibraltar, nombreuses stations à l'ancre du « Météor », dans l'Atlantique N et S, en 1926-27 (2, 3, 4, 16, 87), puis, en 1937-38 (6, 72, 73), expédition du « Snellius », en 1929-30, dans les eaux des Indes Néerlandaises (42, 43, 44, 83, 88), celles de « l'Atlantis », en 1936-37, dans l'Atlantique NW (54, 74 à 78), la station de l'« Altaïr », en 1938, au N des Açores (7, 8), enregistrements d'IDRAC (29) et de NAVARRO (50 à 53 et 89, 90) en Méditerranée, ceux de la Scripps Institution of Oceanography à la Jolla, Californie (12, 41), nombreux enregistrements directs des mouvements de la couche de transition dans le Kattegat (35 à 38, 59, 93). Enfin, nous avons, nous-même, observé, en 1949, d'importantes ondes internes, au large d'Abidjan. L'existence du phénomène semble, donc, générale.

Différentes explications ont été tentées, dont aucune ne rend compte de la réalité d'une façon satisfaisante. O. PETERSON (60, etc.) fait intervenir la composante verticale de la force génératrice de la marée, qui modifie périodiquement, dans une faible mesure, la pesanteur à la surface de la terre. Son action, négligeable à la surface libre, devient sensible au sein d'un liquide stratifié où le poids de chaque particule se trouve pratiquement équilibré par la poussée d'ARCHIMÈDE. H. PETERSON (55, etc.) et TAKEGAMI (84), suivant des mécanismes différents, font intervenir l'action du vent. DEFANT (2 à 9) et FJELDSTAD (17, etc.) rattachent les ondes internes à périodicité de marée aux ondes de marée en surface. ZEILON (92, 95), dans une expérience qui mérite mention, fait intervenir l'influence des inégalités du fond sur des courants variables. Il a reproduit le phénomène au laboratoire dans une cuve rectangulaire de 1 m × 0,03 m, dans laquelle sont superposées une couche d'eau salée et une couche superficielle d'eau douce colorée. Un seuil sous-marin y est figuré par un barrage de 4 cm au-dessus du fond, occupant toute la largeur de la cuve. En créant artificiellement un courant alternatif au sein de ce petit bassin, des ondes prennent naissance à la surface de séparation des deux couches, qu'il est possible de photographier dans les premiers instants de l'expérience. Dans une récente note, DEFANT (11) complète sa théorie mathématique des marées internes, considérées comme ondes forcées solidaires de la marée en surface, par l'introduction de la force de

CORIOLIS, dont l'effet est d'accroître l'amplitude et, par suite, de favoriser la création des ondes internes.

Il semble que l'on soit en présence, suivant le cas, d'ondes d'origine et de nature très différentes, allant du clapotis interne à la marée parallactique, dont la période de 14 jours est en rapport avec la révolution de la lune sur son orbite, en passant par la houle interne, les seiches internes et la marée interne proprement dite.

Deux monographies ont été faites, notamment, sur la question, l'une par EKMAN, en 1931 (16) et l'autre par P. BERNARD, en 1945 (1).

L'existence de telles ondes internes rend plus compliquée l'étude physique de l'Océan. La connaissance du relief thermohalin en devient moins précise. Elle introduit une incertitude gênante dans celle du relief dynamique, si importante pour l'étude des courants, en surface et en profondeur.

Pourtant, outre les observations dont il vient d'être question, presque toutes effectuées à l'occasion de grandes expéditions, ce problème ne semble pas avoir attiré, comme il le convient, l'attention des océanographes. La grande majorité des expéditions consacrées à l'étude du milieu marin négligent, dans leurs observations, cet important facteur perturbant. Il faut reconnaître, toutefois, que l'étude, même sommaire, du phénomène, impose de longues périodes d'observations et la mise en œuvre de moyens importants, souvent hors des possibilités des petites expéditions.

Au cours de la 3^e campagne du « Gabriel II » dans le canal de Mozambique (26 juin-24 juillet 1952), consacrée à des opérations d'hydrologie marine, nous avions cherché à vérifier si les caractéristiques physiques de l'eau de mer en un même point, à différentes profondeurs, étaient indépendantes de l'heure de l'observation. Nos stations hydrologiques étaient faites, en effet, à des heures différentes de la journée. De plus, ne disposant que d'un treuil WARLÜZEL, actionné à la main, et muni d'un câble en acier galvanisé de 1,8 mm de diamètre, sur lequel nous ne pouvions accrocher qu'une seule bouteille à renversement, une station complète comportait 8 manœuvres successives du treuil et durait, en moyenne, deux heures. Les profondeurs régulièrement observées étaient les suivantes, que nous désignerons, dans l'exposé qui va suivre, de profondeurs ou niveaux « standard » : 0-25-50-100-200-300-400-500 m.

Cette vérification a été faite dans la nuit du 19 au 20 juillet, à la station 34 (14°18' S ; 46°10' E Gr.), où les conditions indispensables de mer calme et de faible dérive étaient sensiblement réalisées. Deux séries de mesures ont été faites à cette station, sans interruption, dans l'ordre des profondeurs standard croissantes, la deuxième observation en surface venant immédiatement à la suite de l'observation à 500 m de la première série.

Le tableau suivant rend compte des résultats obtenus.

RÉSULTATS

DES DEUX SÉRIES D'OBSERVATIONS HYDROLOGIQUES EFFECTUÉES DANS LA NUIT DU 19 AU 20 JUILLET 1952 A LA STATION 34 (14° 18' S ; 46° 10' E G)

P = profondeur, en mètres.

H = heure de l'observation (TU + 3).

α = angle du câble avec la verticale, en degré sexagésimal.

θ = température, en degré Celsius ; précision : $\pm 0,02^\circ$ C.

Cl = chlorinité ‰ ; précision : $\pm 0,005$ ‰.

σ_t = (s-1). 1 000, s étant la densité, à la pression atmosphérique, de l'eau de mer à 0° C, par rapport à l'eau distillée à 4° C.

h = hauteur dynamique au-dessus de la surface isobarique 500 db, en mètre dynamique.

P	H	α	θ	Cl	σ_t	h
<i>1^{re} série d'observations</i>						
0	22.25	0	25,64	19,37	23,16	487,044
25	22.34	0	25,56	19,375	23,195	462,611
50	22.43	0	25,46	19,37	23,215	438,182
100	22.53	0	23,61	19,41	23,825	389,346
200	23.07	0	17,11	19,495	25,68	291,823
300	23.21	7	13,64	19,465	26,405	194,466
400	23.40	0	11,81	19,41	26,695	97,201
500	00.04	10	10,34	19,325	28,845	—

2^e série d'observations

0	00.25	0	25,60	19,37	23,17	487,038
25	00.35	0	25,49	19,375	23,215	462,606
50	00.44	0	25,33	19,385	23,28	438,178
100	00.54	0	23,58	19,41	23,835	389,344
200	01.05	7	17,18	19,495	25,66	291,821
300	01.21	0	13,74	19,465	26,385	194,462
400	01.36	0	11,40	19,39	26,745	97,198
500	01.56	10	10,10	19,31	26,80	—

Variation (2^e série - 1^{re} série)

0	2.00		— 0,04	0,00	+ 0,01	— 0,006
25	2.01		— 0,07	0,00	+ 0,02	— 0,005
50	2.01		— 0,13	+ 0,015	+ 0,065	— 0,004
100	2.01		— 0,03	0,00	+ 0,01	— 0,002
200	1.58		+ 0,07	0,00	— 0,02	— 0,002
300	2.00		+ 0,10	0,00	— 0,02	— 0,004
400	1.56		— 0,41	— 0,02	+ 0,05	— 0,003
500	1.52		— 0,24	— 0,015	+ 0,015	—

Conditions atmosphériques moyennes :

Température de l'air : 25,2° C

Humidité relative : 80 0/0

Nébulosité : 0

Vent force 1, venant de l'W.

Etat de la mer : Calme.

Par suite de l'emploi simultané de deux thermomètres à renversement protégés, les températures peuvent être garanties avec une précision de $\pm 0,02^{\circ}$ C. Les déterminations de chlorinité sont faites à la précision de $\pm 0,005$ ‰. L'effet de l'inclinaison du fil a toujours été négligeable.

Les résultats révèlent, donc, l'existence, en ce point du Canal de Mozambique, d'ondes internes de grande amplitude. Le déplacement vertical, en 2 heures, à 400 m, atteindrait une vingtaine de mètres. Une conclusion rassurante, toutefois, est que les hauteurs dynamiques, par rapport à la surface isobarique 500 db, n'ont varié, d'une série à l'autre, que de quantités négligeables.

Devant ces résultats, une campagne spéciale a été décidée, dont l'objet est d'observer le phénomène d'une façon plus détaillée, durant une période dépassant 24 heures, dans le but de se faire une idée de son ampleur et de l'importance que peut atteindre, en un point donné, la variation qui en résulte de la hauteur dynamique de la surface libre, par rapport à une surface isobarique de référence. Sa mise au point a posé quelques problèmes, quant au choix de l'emplacement de la station. Nous devons opérer au grand large, pour éviter l'influence possible des côtes, connaître approximativement le régime des courants dans la région choisie, ainsi que le relief sous-marin de cette région, et éviter le voisinage des haut-fonds. Nous devons, enfin, pouvoir faire le point, rapidement et avec précision, de jour et de nuit, pour compenser constamment la dérive du bateau.

Cette dernière condition a une importance prépondérante et nous a fait choisir un point à 25 milles environ à l'W de Mayotte, d'où nous pouvions observer des points remarquables des différentes îles de l'archipel des Comores. Le point pouvait, ainsi, se faire rapidement, par de simples relevements. Nous avons, en outre, choisi d'opérer à l'époque de la pleine lune, ce qui rendait les visées, par beau temps, possibles la nuit.

Le point choisi était suffisamment éloigné des côtes. Mais, dans ce choix, où la nécessité de faciliter les opérations du point avait la part prépondérante, nous n'avons pu tenir compte de l'influence du relief sous-marin. De ce relief, nous ne pouvions, d'ailleurs, faute de sondeur acoustique, avoir

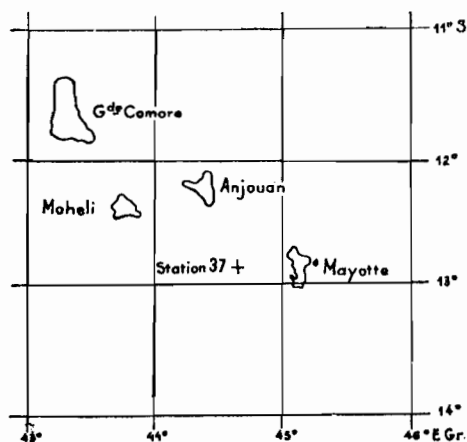


FIG. 1. — Position de la station 37.

qu'une image fort imprécise, d'après les indications, en nombre relativement faible, portées sur les cartes marines.

Le point choisi (station 37, coordonnées moyennes : 12°53' S ; 44°41' E Gr., fig. 1), a donc été adopté, malgré l'existence probable d'un seuil sous-marin reliant Mayotte à Anjouan, dont il aurait été souhaitable d'éviter la proximité.

Les observations ont eu lieu à bord du « Gabriel II », de façon ininterrompue, durant une période de 36 heures, du 5 septembre 1952 à 7 h. 25 au 6 septembre à 19 h. 27 (TU + 3).

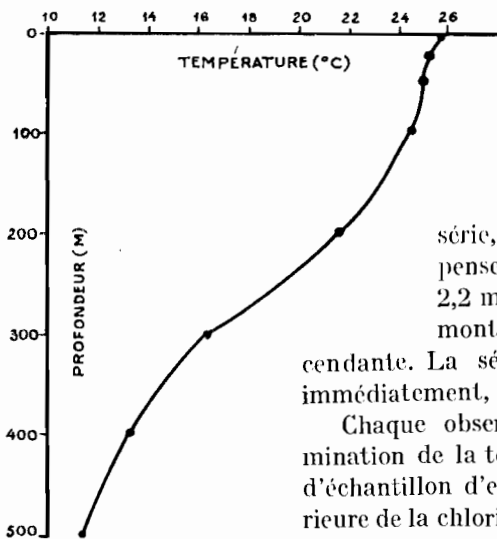


FIG. 2. — Distribution verticale des températures moyennes à la station 37.

Elles se sont succédées dans l'ordre des profondeurs standard croissantes énumérées plus haut. Une série d'observations, de 0 à 500 m, durait, en moyenne, deux heures.

A la fin de chaque série, le bateau devait, pour compenser sa dérive, avancer de 1,8 à 2,2 milles environ vers le 330 en marée montante, et vers le 10 en marée descendante.

La série suivante commençait, alors, immédiatement, dans le même ordre.

Chaque observation consistait en une détermination de la température et en un prélèvement d'échantillon d'eau pour une détermination ultérieure de la chlorinité.

Durant les observations, le bateau manœuvrait constamment, pour maintenir le câble sensiblement vertical. L'angle du câble avec la verticale n'a jamais dépassé 10°, et nous avons négligé la correction de profondeur correspondante.

Les observations ont pu se faire par beau temps : vent nul ou négligeable, mer calme, houle de 1 m venant de l'E NE. Simultanément à chaque observation en surface, différentes conditions atmosphériques étaient notées, dont il est rendu compte dans le tableau A, en annexe.

Il n'a pas été possible, étant donné les manœuvres fréquentes et de durée variable, en vue de compenser la dérive, de maintenir, entre les différentes observations se rapportant à une même profondeur, un intervalle de temps uniforme.

Durant toute la durée des observations, notre position était fréquemment déterminée par des visées sur des points remarquables vus à terre. Dix points astronomiques ont, en outre, été effectués, pour contrôle. Ils ont donné les résultats suivants :

5 septembre à	7 h. 30 :	12° 51' S ;	44° 39' E Gr.
»	»	9 h. 50 :	12° 52' » ; 44° 41' »
»	»	12 h. 00 :	12° 54' » ; 44° 40' »
»	»	16 h. 30 :	12° 54' » ; 44° 41' »
6 septembre à	0 h. 00 :	12° 53' » ;	44° 41' »
»	»	7 h. 00 :	12° 53,5' » ; 44° 41,5' »
»	»	9 h. 30 :	12° 52' » ; 44° 42' »
»	»	12 h. 00 :	12° 51,5' » ; 44° 42,5' »
»	»	17 h. 00 :	12° 52,5' » ; 44° 42,5' »
»	»	17 h. 45 :	12° 51,8' » ; 44° 41' »

Nous nous sommes donc maintenus à l'intérieur d'un cercle de rayon 2 milles, centré en 12°52, 5' S ; 44°41' E Gr.

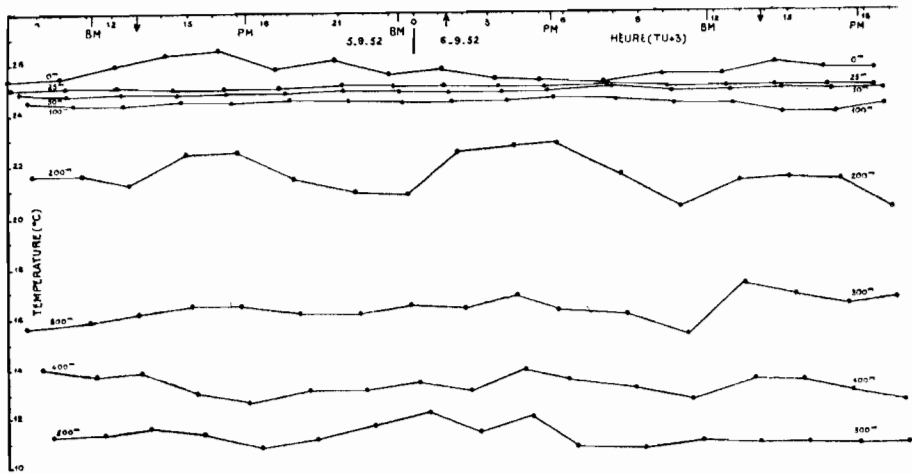


FIG. 3. — Oscillation de la température aux profondeurs standard, à la station 37 :
 ↑, Passage supérieur de la lune au méridien de la station. — ↓, Passage inférieur de la lune
 au méridien de la station. — PM, Pleine mer à Mayotte. — BM, Basse mer à Mayotte.

Dix sept séries d'observations ont été effectuées. Les résultats, en ce qui concerne la température, sont rapportés dans le tableau B, en annexe. Dans ce tableau, le temps indique, pour chaque observation, l'instant du renversement de la bouteille. Il est exprimé en heure et minute solaires et rapporté au fuseau horaire n° 3 (T U + 3).

Les résultats de détermination de chlorinité, que nous ne possédons pas encore, nous permettront de procéder aux calculs dynamiques et d'avoir une idée de l'amplitude des variations des profondeurs dynamiques des différentes surfaces isobariques à la station considérée. Ce renseignement, d'importance majeure, nous permettra d'évaluer la perturbation que peuvent apporter les ondes internes à la topographie dynamique de la région, et la confiance que nous pourrions accorder aux cartes de courants, tracées à partir de cette topographie dynamique.

Toutefois, les résultats que nous possédons relatifs à la température, étant donné l'importance primordiale du gradient vertical de ce facteur par rapport à celui des autres facteurs océanographiques, nous permettent d'avoir quelques renseignements sur les oscillations verticales des différentes couches d'eau.

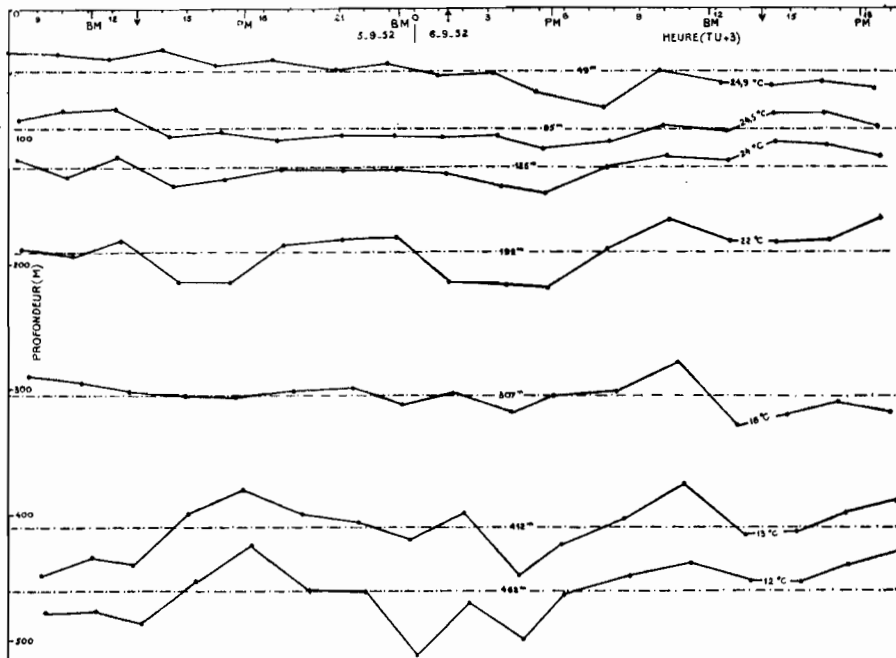


Fig. 4. — Oscillation verticale de quelques isothermes à la station 37 : Profondeur moyenne de l'isotherme. — ↑, Passage supérieur de la lune au méridien de la station. — ↓, Passage inférieur de la lune au méridien de la station. — PM, Pleine mer à Mayotte. — BM, Basse mer à Mayotte.

Dans les considérations qui vont suivre, nous supposons que les fluctuations thermiques observées proviennent uniquement d'oscillations verticales des couches d'eau. La connaissance approximative du gradient horizontal de la température aux différentes profondeurs dans la région considérée nous permet, en effet, de négliger l'influence de la dérive du bateau ou des déplacements horizontaux des masses d'eaux.

La figure 3 représente, en fonction du temps, les oscillations de la température aux différentes profondeurs étudiées. La figure 4 représente, toujours en fonction du temps, les oscillations verticales de quelques isothermes.

Nous pensons, en effet, que, pour étudier les mouvements verticaux des différentes couches d'eau à partir des oscillations thermiques aux profondeurs

standard, le procédé qui comporte le moins d'incertitude est celui consistant à suivre les changements successifs du niveau de certains isothermes, convenablement choisis. Le calcul de l'oscillation verticale d'une couche d'eau qui, à un moment donné, se trouvait à une profondeur standard, nécessiterait la connaissance, pour chaque série d'observations, du gradient vertical de la température à cette profondeur. Or, la détermination de ce gradient, graphiquement ou par le calcul, ne peut se faire que d'une façon fort imprécise. Ce dernier change, d'autre part, grandement d'une série à une autre. L'adoption d'un gradient moyen, suivant la méthode de SEIWELL (74), ne donnerait qu'une image moyenne et imparfaite du phénomène.

Le tracé des isothermes de la figure 4 s'est fait de la façon suivante. Les courbes, donnant la température en fonction de la profondeur, ont été tracées pour les 17 séries d'observations. Sur chacune d'elles, nous avons noté la profondeur correspondant à la température de chacun des isothermes choisis. Pour choisir les instants correspondants, nous avons tracé, d'autre part, pour chaque série, une courbe donnant les températures observées en fonction de l'heure de l'observation, et nous avons pris, sur la courbe ainsi tracée, l'instant correspondant à la température de chaque isotherme. Ce procédé d'interpolation n'entraîne qu'une incertitude négligeable sur le tracé des isothermes, les observations successives de chaque série se faisant à des instants très rapprochés.

En choisissant, pour les isothermes, des températures voisines des températures moyennes observées aux profondeurs standard, la position de chaque point se trouve déterminée avec une précision satisfaisante.

Nous avons porté, sur la figure 4, les isothermes suivants :

24,9° C ;	profondeur moyenne :	49 m ;	amplitude maxima :	46 m.
24,5° » ;	»	: 95 » ;	»	: 31 »
24,0° » ;	»	: 125 » ;	»	: 40 »
22,0° » ;	»	: 192 » ;	»	: 53 »
16,0° » ;	»	: 307 » ;	»	: 50 »
13,0° » ;	»	: 412 » ;	»	: 76 »
12,0° » ;	»	: 462 » ;	»	: 88 »

Par suite de l'homogénéité relative de la couche superficielle, le tracé des isothermes supérieurs à 24,9° C serait très imprécis. Il en serait de même pour les températures inférieures à 12° C, les courbes de variation de ce facteur en fonction de la profondeur étant mal définies au voisinage de leur extrémité.

L'examen des résultats et l'étude des figures 3 et 4 mettent en évidence une importante onde semi-diurne et une, plus faible, de période voisine de 4 heures.

Ils nous permettent, en outre, de faire les observations suivantes :

1° Les écarts maximum de température (θ max.- θ min.) enregistrés au cours des 36 heures d'observations sont minimum à 25 m de profondeur (0,23° C), et maximum à 200 m (2,60° C).

La faible variation de la température à — 25 m permet de supposer que l'influence de l'échauffement solaire ne se fait que très faiblement sentir à cette profondeur, et que cet échauffement n'affecte pas le phénomène des ondes internes pour les couches inférieures à 25 m. Cela simplifie sensiblement l'étude de ce phénomène.

Cette faible variation thermique à la profondeur considérée ne permet, toutefois, pas d'affirmer que les oscillations verticales internes sont amorties à ce niveau. Par suite de l'extrême faiblesse du gradient vertical dans les couches supérieures, comme le montre la figure 2, représentant les températures moyennes en fonction de la profondeur, les oscillations peuvent atteindre, à — 25 m, une grande amplitude.

2° Les mouvements périodiques, aux différentes profondeurs, n'ont pas la même amplitude, ni la même phase.

3° L'amplitude des oscillations successives d'une couche donnée n'est pas constante, et, au bout de 12 ou 24 heures, solaires ou lunaires, la température ne reprend pas sensiblement les mêmes valeurs aux différents niveaux. Des composantes de plus grande période doivent exister ; il ne sera possible de les mettre en évidence que par des observations de très longue durée.

4° L'amplitude des oscillations verticales semble minima vers — 100 m et croître de part et d'autre de ce niveau. Elle doit être maxima à la profondeur moyenne de 500 m, bien qu'elle ne puisse être déterminée avec assez de précision pour cette profondeur.

5° Les hypothèses qui situent le maximum d'amplitude au niveau des couches de transition ne se trouvent pas, ici, vérifiées. Malgré la grande dénivellation thermique enregistrée à — 200 m, les oscillations verticales n'atteignent pas leur amplitude maxima à ce niveau qui se trouve, pourtant, en moyenne, au milieu d'une couche de transition (voir fig. 2). Le gradient thermique vertical y passe, en effet, par un maximum et diminue la valeur du déplacement vertical correspondant à une même variation de la température.

6° Étant donné la grande amplitude d'oscillation de l'isotherme 24,9° C, dont la profondeur moyenne se situe vers 50 mètres, le mouvement ondulatoire doit affecter, dans une mesure sensible, les couches supérieures ; et l'on peut supposer que des particules appartenant à des couches voisines de la surface, peuvent, à certains instants, émerger. Il n'est donc pas interdit de supposer que les oscillations « internes » affectent, par moments, la surface libre.

D'autre part, ces grandes oscillations au sein d'une couche sensiblement homogène (de 0 à 75 m, environ) doivent entraîner un brassage énergique au sein de cette couche.

Ces deux remarques pourraient expliquer l'existence de certaines anoma-

lies dans le tracé de la courbe de la température en surface qui présente, par endroits, des oscillations anormales (fig. 3).

7° L'étude de la dérive du bateau révèle l'existence, dans la région considérée, d'un courant, légèrement variable avec la marée, de 1 nœud en moyenne, portant vers le Sud. Ce courant, en traversant le seuil Mayotte-Anjouan, pourrait, à lui seul, donner naissance à des ondes internes, et il est possible que cela explique la grande amplitude du phénomène observé.

ANNEXES

OBSERVATIONS EFFECTUÉES A LA STATION 37 DU 5 SEPTEMBRE 1952 à 7 H. 25 AU 6 SEPTEMBRE A 19 H. 27.

Coordonnées : 12° 53' ± 2' S
44° 41' ± 2' E Gr.

Marée à Mayotte

<i>Date</i>	<i>P. M.</i>		<i>B. M.</i>	
	Heure (TU + 3)	Amplitude (m)	Heure (TU + 3)	Amplitude (m)
5-9-52	05.00	4,4	11.13	0,6
»	17.18	4,4	23.24	0,5
6-9-52	05.30	4,5	11.48	0,6
»	17.49	4,3	23.59	0,6

Passage de la lune au méridien de la station :

le 5-9-52 à 00 heure 35
le 6-9-52 à 01 » 26

Etat de la mer : Calme. Houle de 1 m venant de l'E NE.

A. — CONDITIONS ATMOSPHÉRIQUES

θ_a = température de l'air, en degré Celsius.

e = humidité relative, en %.

H = pression atmosphérique, en mm, à 3 m au-dessus du niveau de la mer.

N = nébulosité, en 1/10.

<i>Date</i>	<i>Heure (Tu + 3)</i>	θ_a	e	H	N
5-9-52	07.25	25,1	82	766,5	1
»	09.36	26,3	81	767	0
»	11.39	28,4	74	766	1
»	13.50	28,8	74	764,5	3
»	15.53	30,5	68	764	4
»	18.02	26,4	76	766	8
»	20.31	26,8	77	767	2
»	22.43	25,0	84	767,5	4
6-9-52	00.46	24,7	84	767	5
»	02.56	24,3	84	766,5	2
»	04.43	24,3	84	767	5
»	07.18	25,4	84	766,5	2
»	09.35	25,9	81	766,5	3
»	11.59	26,7	80	765	5
»	14.00	28,4	77	764	3
»	16.01	27,5	81	763	5
»	18.04	25,9	81	764	9

Vent négligeable.

Ces observations atmosphériques ont été effectuées simultanément aux observations en surface.

B. — RÉSULTATS DES OBSERVATIONS DE TEMPÉRATURE

H = heure de l'observation (TU + 3).

θ = température, en degré Celsius ; précision : ± 0,03° C.

Série	Surface		25 m		50 m		100 m		200 m		300 m		400 m		500 m	
	H	θ	H	θ	H	θ	H	θ	H	θ	H	θ	H	θ	H	θ
1	07.25	25,33	07.37	25,02	08.00	24,79	08.12	24,40	08.25	21,54	08.40	15,51	08.56	13,94	09.16	11,24
2	09.36	25,42	09.45	25,06	09.50	24,72	10.06	24,35	10.29	21,59	10.45	15,81	11.00	13,62	11.19	11,31
3	11.39	25,90	11.48	25,07	11.57	24,82	12.08	24,30	12.19	21,24	12.35	16,09	12.50	13,73	13.08	11,57
4	13.50	26,39	13.59	24,94	14.10	24,80	14.21	24,50	14.33	22,47	14.46	16,31	15.02	12,96	15.21	11,30
5	15.53	26,54	16.03	25,01	16.13	24,86	16.23	24,45	16.35	22,52	16.49	16,34	17.06	12,52	17.34	10,75
6	18.08	25,81	18.18	25,06	18.27	24,86	18.43	24,57	18.55	21,45	19.10	16,15	19.29	13,03	19.50	11,11
7	20.31	26,07	20.45	25,17	20.54	24,92	21.05	24,51	21.17	20,95	21.30	16,05	21.46	13,10	22.05	11,66
8	22.43	25,56	22.53	25,13	23.03	24,85	23.12	24,47	23.22	20,92	23.36	16,49	23.55	13,37	00.14	12,13
9	00.46	25,79	00.55	25,14	01.04	24,93	01.14	24,48	01.24	22,53	01.41	16,23	01.59	13,04	02.19	11,39
10	02.56	25,41	03.05	25,04	03.14	24,89	03.24	24,49	03.37	22,73	03.50	16,78	04.05	13,87	04.24	11,97
11	04.43	25,35	04.51	25,11	05.00	24,99	05.09	24,65	05.20	22,84	05.34	16,27	05.50	13,50	06.09	10,79
12	07.18	25,21	07.26	25,16	07.35	25,14	07.44	24,61	07.55	21,85	08.09	16,07	08.27	13,11	08.51	10,75
13	09.35	25,65	09.45	25,11	09.56	24,93	10.05	24,44	10.18	20,30	10.35	15,18	10.54	12,67	11.13	11,11
14	11.59	25,66	12.10	25,09	12.20	24,99	12.31	24,45	12.40	21,36	12.50	17,27	13.13	13,47	13.30	10,96
15	14.00	26,03	14.07	25,12	14.16	25,03	14.26	24,11	14.37	21,52	14.51	16,86	15.05	13,42	15.22	10,93
16	16.01	25,87	16.10	25,17	16.19	25,01	16.29	24,10	16.42	21,44	16.58	16,50	17.12	13,00	17.24	10,90
17	18.04	25,86	18.08	25,11	18.21	25,03	18.31	24,44	18.41	20,24	18.55	16,69	19.10	12,63	19.27	10,98
θ moy.	$\left(\frac{\sum \theta_i}{17}\right)$ 25,76		25,09		24,92		24,43		21,61		16,27		13,23		11,23	
θ max.	26,54		25,17		25,14		24,65		22,84		17,27		13,94		12,13	
θ min.	25,21		24,94		24,72		24,10		20,24		15,18		12,52		10,75	
Différence																
(θ max - θ min)	1,33		0,23		0,42		0,55		2,60		2,09		1,42		1,38	

MARÉES INTERNES EN CANAL DE MOZAMBIQUE

BIBLIOGRAPHIE

1. BERNARD (P.), 1945. — Les « Marées » internes. — *Ann. Inst. Océanogr.*, N. S., XXII, 3, p. 145-192.
2. DEFANT (A.), 1927. — Kurzperiodische Schwankungen von Temperatur und Salzgehalt in den obersten Wasserschichten des Ozeans. — *Z. d. Ges. Erdkunde z. Berlin*, h. 5/6, p. 286.
3. — 1929. — Dynamische Ozeanographie. Einführung in der Geophysik. — Berlin, III, 222 pp.
4. — 1932. — Die Gezeiten und inneren Gezeitenwellen des Atlantischen Ozean. — *Wiss. Ergebn. Deutsch. Atl. Exp. des « Meteor »*, VII, 1, Berlin.
5. — 1934. — Gedanken über interne Gezeitenwellen. — *James Johnstone Mem. Vol.*, London, p. 310.
6. — 1937. — Bericht über den erster Teil der Nordatlantischen Expedition des Meteor, feb. - mai 1937. — *Sitz. Ber. Preuss. Ak. Wiss. Phys. Math. Kl.*, XIX, p. 256. — *Ann. d. Hydr.*, sept., p. 12.
7. — 1940. — Die Lage der Forschungsschiffes Altair auf der Ankerstation 16-20 juni 1938, und das auf ihr gewonnene Beobachtungsmaterial. — *Ann. d. Hydr.*, oct.
8. — 1940. — Die ozeanographischen Verhältnisse während der Ankerstation des Altair am Norddrand des Hauptstromstriches des Golfstromes nordlich der Azoren. — *Ann. d. Hydr.*, nov., 4 Lief, 35 pp.
9. — 1940. — Das Phänomen der Scylla und Charybdis in der Strasse von Messina. — *Naturwissenschaften*, XXVIII, p. 729. — *Ann. d. Hydr.*, LXVIII, p. 145-157. — *Geofisica pura e applicata*, II, 2. — Trad. dans *Rev. Hydr.*, XIX, p. 31, 1942, Monaco.
10. — 1948. — Über interne Gezeitenwellen und ihre Stabilitätsbedingungen. — *Arch. Met. Geophys. Bioklim.*, A, I, 1, p. 39-61.
11. — 1950. — On the Origin of Internal Tide Waves in the Open Sea. — *J. Mar. Res.*, IX, 2, p. 111-119.
12. — 1950. — Reality and illusion in oceanographic surveys. — *J. Mar. Res.*, IX, 2, p. 120-138.
13. DEFANT (A.), SCHUBERT (O. von), 1934. — Strommessungen und ozeanographische Serienbeobachtungen der Vier-Länder-Unternehmung im Kattegat, 10 bis 17 August 1931. — *Veroff. Inst. Meereskunde Univer.*, Berlin, N. F., A, 25.
14. EKMAN (V. W.), 1904. — On dead water. — *Norw. Polar Exp.*, 1893-96. — *Scientific Results*, V, 15.
15. — 1904. — Ueber Totwasser. — *Ann. d. Hydr.*, p. 562.
16. — 1931. — On internal waves. — *Cons. Per. Int. Expl. Mer, Rapp. et P. V.*, LXXXVI.
17. FJELDSTAD (J. E.), 1933. — Interne Wellen. — *Geof. Publ.*, X, 6.
18. — 1936. — Internal waves. — *Norw. Polar Exp. with the « Maud »*, 1918-25. *Scientific Results*, IV (4) : Results of tidal observations, p. 47.
19. — 1937. — Internal waves. — *P. V. Ass. Ocean. Phys.*, n° 2, p. 141 (Conf. d'Edimbourg).
20. — 1938. — Interne Wellen. — *C. R. Congrès intern. Géogr. Amsterdam*, II, sect. II b, p. 49.
21. GROEN (P.), 1948. — Contribution to the theory of internal waves. — *Meded. ned. met. Inst.*, B, 2, n° 11.
22. HAURWITZ (B.), 1931. — Zur Theorie der Wellenbewegungen in Luft und Wasser. — *Veroff. Geoph. Inst. Leipzig*, II, 5, n° 1.

23. — 1948. — The effect of ocean currents on internal waves. — *J. Mar. Res.*, VII, 3, p. 217-228.
24. — 1950. — Internal waves of tidal character. — *Trans. Amer. Geophys. U.*, XXXI, 1, p. 47-52.
25. HELLAND-HANSEN (B.), 1930. — Rep. of the Scient. Results of the Michael-Sars North Atl. Deep Sea Exped., 1910, I, 1 : Physical Oceanography and Meteorology, Bergen.
26. — 1939. — Untersuchungen über die oertlichen und zeitlichen Schwankungen des « Golfstromes » im Norwegischen Meer. — *Norsk geogr. Tidsskr.*, VII.
27. HELLAND-HANSEN (B.), NANSEN (F.), 1909. — The Norwegian Sea, chap. VI : Apparent irregularities in the horizontal distribution of temperature, salinity and density. — *Rep. on Norw. Fish. Marine Investig.*, II, 2, p. 87.
28. — 1926. — The eastern North Atlantic, chap. IV : Vertical oscillations. — *Geof. Publ.*, IV, 2.
29. IDRAC (P.), 1934. — Recherches sur les mouvements et fluctuations de température des eaux sous-marines en Méditerranée. — *Ann. Inst. Océanogr.*, XIV, 2.
30. JACOBSEN (J. P.), 1913. — Die Gezeitenwelle in Kattegat. — *Medd. Komm. Havund.*, série Hydrografi, II, 2, p. 80, Copenhagen.
31. — 1935. — Temperaturmessung mit elektrischen Widerstand Thermometer auf der Kattegatsexpedition in August 1931. — *Medd. Komm. Havund.*, série Hydrografi, III, 1.
32. JACOBSEN (J. P.), THOMSEN (H.), 1934. — Periodical variations in temperature and salinity in the Straits of Gibraltar. — *James Johnstone Mem. Vol.*, London, p. 275.
33. KALLE (K.), 1942. — Ueber die innere thermische Unruhe des Meeres. — *Ann. d. Hydr.*, LXX, p. 383.
34. KUNDSSEN (M.), 1911. — Danish hydrographical investigations at the Far Oe Islands in the spring of 1910. — *Medd. Komm. Havund.*, série Hydrografi, II, 1.
35. KULLENBERG (B.), 1932. — A recording boundary gauge for the open sea. — *Goteborgs Kungl. Vet. o. Vitt. Samh. Handl.*, série 5 B, II, 9. [*Medd. Got. Ocean. Inst.*, n° 3.]
36. — 1935. — Interne Wellen im Kattegat. — *Sv. Hydr. Biol. Komm. Skr.*, XII.
37. KULLENBERG (B.), PETTERSSON (H.), 1933. — Boundary waves in the Kattegat. — *Got. Kungl. Vet. Handl.*, 5 B, III, 5. [*Medd. Got. Ocean. Inst.*, n° 4.]
38. — 1933. — Boundary tides in the Kattegat. — *Nature*, CXXXI, p. 586.
39. LAMB (H.), 1916. — On waves due to a travelling disturbance with an application to waves in superposed fluids. — *Phil. Mag.*, XXXI, p. 386.
40. — 1922. — Waves of permanent type on the interface of two liquids. — *Proc. Cambr. Phil. Soc.*, XXI, p. 136.
41. LEIPPER (D. F.), 1949. — Sea temperature in shallow water. — Thesis. Scripps Inst. Oceanogr., University of California.
42. LEK (L.), 1938. — Die Ergebnisse der Strom und Serienmessungen. — *The Snellius Exp. in the eastern part of the Netherl. : East Indies, 1929-30*, II, 3.
43. — 1938. — Interne Wellen in den Niederlandisch Ostindischen Gewässern. — *C. R. Congrès intern. Geogr. Amsterdam*, II, sect. II b, p. 69.
44. LEK (L.), FJELDSTAD (J. E.), 1938. — Interne Wellen auf Ankerstation 253 a. — *Snellius Exp.*, II, 3, p. 152.
45. MAGRINI, 1924. — Relation sur l'activité italienne : Etude dans le détroit de Messine. — *Bull. Comm. Int. Expl. Sc. Mer Méditerranée*, n° 10, p. 39, Monaco.

46. MATTHEWS (D. J.), 1937. — Variations of temperature and salinity during a tidal period in the northern North Sea and off the West Coast of Scotland. — *P. V. Ass. Ocean. phys.*, n° 2, p. 115.
- 46 b. MOSBY (H.), 1950. — Recherches océanographiques dans la mer de Norvège à la station météorologique M. *Cahiers du Centre de Rech. et d'Et. Océanogr., Ch.*, n° 1.
47. MUNK (W. H.), 1941. — Internal waves in the Gulf of California. — *J. Mar. Res.*, IV, 1, p. 81-91.
48. MURRAY (J.), HJORT (J.), HELIAND-HANSEN (B.), 1912. — The depths of the Ocean. — London, Mac Millan & Co, 821 pp.
49. NANSEN (F.), 1902. — Oscillations of the boundary between the cold surface current and the warmer under-current. — *Norw. Polar Exp., 1893-96. Scientif. Results*, III, 9, p. 346.
50. NAVARRO (F.), 1934. — Sur l'existence de la marée sous-marine dans la Méditerranée occidentale. — *Bull. Inst. Océanogr.*, n° 656, Monaco.
51. — 1934. — Sobre la existencia de ondas de marea interna en el Mediterraneo, y generalizacion de la importancia de este fenomeno en los estudios oceanograficos. — *Trab. Inst. Esp. Ocean.*, n° 12.
52. — 1935. — Sur l'existence d'ondes de marée profonde à l'entrée de la Méditerranée et l'importance générale de ce phénomène dans les études océanographiques. — *Cons. Per. Int. Expl. Mer, Rapp. et P.-V.*, XCI, p. 29.
53. — 1935. — Nuevos datos sobre la continua variacion de la temperatura de las aguas submarinas en la bahia de Palma de Mallorca. — *Inst. Esp. Ocean., Notas y resúmenes*, série II, n° 90.
54. PARR (A. E.), 1937. — Report on hydrographic observations at a series of anchor stations across the Straits of Florida. — *Bull. Bing. Ocean. Coll.*, VI, 3.
55. PETERSSON (H.), 1916. — Bewegungen des Tiefenwassers an der Küste von Bohuslän in nov. 1915. — *Ann. d. Hydr.*, XLIV, p. 272.
56. — 1917. — Some new instruments for oceanographical research. — *Monthly weather Review*, XLV, p. 159.
57. — 1919. — Synoptic studies of hydrographical phenomena. — *Monthly weather Review*, XLVII, p. 100.
58. — 1920. — Internal movements in coastal waters and meteorological phenomena. — *Geogr. Annaler*, II, pp. 33-66.
59. — 1938. — Internal waves in Scandinavian waters. — *C. R. Congrès intern. Géogr., Amsterdam*, II, sect. II b, p. 77. — Traduit dans *Rev. Hydr.*, XVI, 1, 1939, p. 102.
60. PETERSSON (O.), 1905. — Ueber die Warscheinlichkeit von periodischen und unperiodischen Schwankungen in dem atlantischen Stromungen. — *Sv. Hydr. Biol. Komm. Skr.*, II.
61. — 1909. — Gezeitenähnliche Bewegungen des Tiefenwassers. — *Cons. Per. Int. Expl. Mer, Publ. Circonst.*, n° 47.
62. — 1914. — Die Bewegungen der Zwischenschichten im Meere und die ozeanische Zirkulation überhaupt. — *Ann. d. Hydr.*, XLII, p. 141.
63. — 1921. — Etude sur les mouvements internes dans la mer et dans l'air. — *Sv. Hydr. Biol. Komm. Skr.*, VI.
64. — 1921. — Flodkrafter (La force des marées). — *Sv. Hydr. Biol. Komm. Skr.*, VIII.
65. — 1930. — The tidal force. — *Geogr. Annales*, XII, p. 281.
66. — 1931. — Vattencirkulationen i Atlantiska Oceanen. — *Ymer.*, n° 4, p. 229.
67. — 1933. — Interne Gezeitenwellen. — *Cons. Per. Int. Expl. Mer, Rapp. et P. V.*, LXXXII.
68. — 1933. — Sur une lacune de la théorie classique des marées (suivi de remarques par E. FICHOT). — *C. R. Acad. Sc.*, Paris, CXCVI, p. 361.

69. — 1934. — La marée interne. — *James Johnstone Mem. Vol.*, London, p. 294.
70. — 1935. — The internal parallax tide in the transitional area. — *Cons. Per. Int. Expl. Mer., Rapp. et P. V.*, XCIV, 3, p. 25.
- 70 b. SCHMIDT (J.), 1922. — Oceanography of the Gibraltar Region. — *Nature*, CIX, p. 45.
- 70 t. — 1929. — Introduction to the oceanographical reports. *The Danish « Dana » Expedition, 1920-1922*, n° 1, pp. 69-70. Copenhagen.
71. SCHMIDT (W.), 1908. — Stehende Schwingungen in der Grenzschicht zweier Flüssigkeiten. — *Sitz. ber. Kais. Ak. d. Wiss. Wien*, CXVII, II a, p. 191.
- 71 b. SCHOTT (G.), 1928. — Die Wasserbewegungen im Gebiete der Gibraltarstrasse. — *J. Int. Expl. Mer.*, III, p. 139. Copenhagen.
72. SCHUBERT (O. von), 1939. — Die Ozeanographischen Arbeiten auf der zweiten Teilfahrt der Deutschen Nordatlantischen Expedition des Meteor, Januar bis Juli 1938. — *Ann. d. Hydr.*, Beiheft, p. 11.
73. — 1944. — Ergebnisse der Strommessungen und der ozeanographischen Serienmessungen auf den beiden Ankerstationen der zweiten Teilfahrt. — *Ann. d. Hydr.*, Beiheft.
74. SEIWELL (H. R.), 1937. — Short period vertical oscillations in the western basin of the North Atlantic. — *Pap. phys. Ocean. Meteorol.*, V, 2.
75. — 1938. — Ueber die ganz und halbtägige Mondkomponente der internen Wellen im westlichen Nordatlantischen Ozean. — *Ann. d. Hydr.*, LXVI, p. 485.
76. — 1939. — The effect of short period variations of temperature and salinity on calculations in dynamic oceanography. — *Pap. phys. Ocean. Meteorol.*, VII, 3.
77. — 1939. — Daily temperature variations in the Western North Atlantic. — *Cons. Per. Int. Expl. Mer., Jour. du Cons.*, XIV, 3, p. 357.
78. — 1940. — Time variability of hydrographic elements determining the dynamic situation in the Western North Atlantic. — *Proc. Amer. Phil. Soc.*, LXXXII, 3, p. 369.
79. — 1942. — An analysis of vertical oscillations in the Southern North Atlantic. — *Proc. Amer. Phil. Soc.*, LXXXV, 2.
80. SRETENSKY, 1935. — La théorie générale des marées dans un fluide hétérogène. — *Jour. of Geophysics*, V, 4, pp. 395-408, Moscou.
81. SVERDRUP (H. U.), 1927. — Dynamic of tides on the North Siberian shelf. — *Geof. Publ.*, IV, 5.
82. — 1940. — The gulf of California. — *P. V. Ass. Ocean. Phys.*, n° 3, pp. 170-171.
83. SVERDRUP (H. U.), JOHNSON (M. W.), FLEMING (H. R.), 1942. — The Oceans. Their physics, chemistry, and general biology. — New-York, Prentice-Hall, Inc., p. 585-602.
84. TAKEGAMI (T.), 1936. — A study of the effect of a local wind upon the sea surface and on the development of the internal boundary wave. — *Mem. Coll. Sci. Kyoto*, A, 19, p. 109.
85. TAYLOR (G. I.), 1931. — Effect of variation in density on the stability of superposed streams of fluids. — *Proc. Roy. Soc.*, A, 132, p. 499.
86. — 1931. — Internal waves and turbulence in a fluid of variable density. — *Cons. Per. Int. Expl. Mer., Rapp. et P. V.*, LXXXVI, p. 35.
87. THORADE (H.), 1931. — Probleme der Wasserwellen. Probleme der kosmischen Physik, XIII et XIV, Hamburg, 219 pp.
88. VAN RIEL (P. M.), 1937. — Some Physical Oceanographical Results of the Snellius Expedition 1929-30. — *P. V. Ass. Ocean. phys.*, n° 2, p. 97.

89. VERCELLI (F.), 1936. — Analisi delle sesse termiche nelle acque della Bahía de Palma de Mallorca. — *Inst. Esp. Ocean., Notas y Resúmenes*, serie II, n° 93.
90. — 1937. — Onde, sesse, e maree interne. — *Scientia*, LXI, p. 273. — Traduction à la p. 111 du supplément.
91. WEDDERBURN (E. M.), 1909. — Dr. O. Pettersson's observations on deep water oscillations. — *Proc. Roy. Soc. Edimburgh*, XXIX, p. 602.
92. ZEILON (N.), 1912. — On tidal boundary waves and related hydrodynamical problems. — *Kungl. Svenska Vet. Akad. Handl.*, XLVII, n° 4.
93. — 1913. — On the Seiches of the Gullmarfjord. — *Sv. Hydr. Biol. Komm. Skr.*, V.
94. — 1915. — On the influence of diffusion upon the propagation of boundary waves. — *Nova Acta Reg. Soc. Sc. Upsal.*, serie IV, IV, 2.
95. — 1934. — Experiments on boundary tides. — *Goteb. Kungl. Vet. Handl.*, 5 B, III, 10 [*Medd. Got. Ocean. Inst.*, n° 8.]