Q
115
E 21

EXPÉDITION ANTARCTIQUE BELGE

RÉSULTATS

DU

VOYAGE DU S. Y. BELGICA

EN 1897-1898-1899

SOUS LE COMMANDEMENT DE

A. DE GERLACHE DE GOMERY

RAPPORTS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉS AUX FRAIS DU GOUVERNEMENT BELGE, SOUS LA DIRECTION

DE LA

COMMISSION DE LA BELGICA

OCÉANOGRAPHIE

RAPPORT SUR LES DENSITÉS DE L'EAU DE MER

observées à bord de la Belgica

PAR

H. ARCTOWSKI

MEMBRE DU PERSONNEL SCIENTIFIQUE DE L'EXPÉDITION

ET

J. THOULET

PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ DE NANCY.

ANVERS

IMPRIMERIE J.-E. BUSCHMANN

REMPART DE LA PORTE DU RHIN

1901

Printed in Belgium

MBL/WHOI
0 0301 0053139 8

WOODS HOLE, MASS.

RAPPORT SUR LES DENSITÉS DE L'EAU DE MER

observées à bord de la Belgica

PAR

H. ARCTOWSKI

Membre du personnel scientifique de l'Expédition

ET

J. THOULET

Professeur a l'Université de Nancy.

W. H. O. I.
WOODS
HOLE,
MASS.

Sorti des presses de J.-E. BUSCHMANN, Anvers,
le 25 Octobre 1901.

RAPPORT SUR LES DENSITÉS DE L'EAU DE MER

observées à bord de la Belgica

PAR

H. ARCTOWSKI

Membre du personnel scientifique de l'Expédition

ET

J. THOULET

Professeur a l'Université de Nancy.

Pendant le voyage de la Belgica, de l'ile Madère à Rio de Janeiro, à Montevideo et au détroit de Magellan, les déterminations de la densité de l'eau de mer de surface, ont été faites à bord, généralement trois fois par jour. Plus tard, au cours des premiers sondages de la Belgica, exécutés entre l'île des États et les Shetland Méridionales, des échantillons d'eau ont également été recueillis au fond de la mer et étudiés au point de vue de leur densité.

Ces recherches, interrompues pendant le voyage de découvertes géographiques aux terres antarctiques, ont été reprises à nouveau, dans l'Océan Pacifique, au delà du cercle polaire, et, pendant l'hivernage de la Belgica, dans les glaces du pôle Sud, des échantillons d'eau ont été puisés en profondeur à différentes reprises et examinés dans le laboratoire de physique, à bord.

Le présent rapport rend compte des résultats numériques de ces observations.

Dans les deux premiers paragraphes de ce travail, il est question de la façon d'opérer à bord et des corrections qu'ont dû forcément subir les chiffres obtenus au cours des expériences ; puis, dans les trois paragraphes suivants, le lecteur trouvera quelques renseignements sur les densités déterminées et les tableaux des chiffres obtenus.

I. — Pour puiser l'eau de mer de surface, pendant la marche du bateau, on s'est servi, à bord de la Belgica, de petits seaux en laiton, attachés à une corde suffisamment résistante.

Ces seaux (fig. 1) avaient 15 cm. de diamètre et 45 cm. de hauteur ; ils étaient cylindriques et leur fond était arrondi, de sorte qu'il était aisé de les nettoyer, et un dépôt de sel (produit par l'évaporation de l'eau de mer sur les parois du seau) n'était, dans tous les cas, pas à craindre. Généralement, même par fort roulis, on parvenait à ramener le seau parfaitement rempli d'eau ; pourtant, il serait avantageux de réduire le diamètre à 10 cm. dans le cas où la vitesse du bâtiment dépasserait 7 milles à l'heure. Pour obtenir des données exactes sur la température, il faut avoir soin de laisser prendre au seau la température de l'eau de mer avant de recueillir l'échantillon. On laissait donc trainer le seau quelques instants dans l'eau, puis on rejetait l'eau recueillie et on

45924

plongeait le seau à nouveau pour le hisser rempli d'eau. On puisait l'eau à l'avant, le plus souvent par babord.

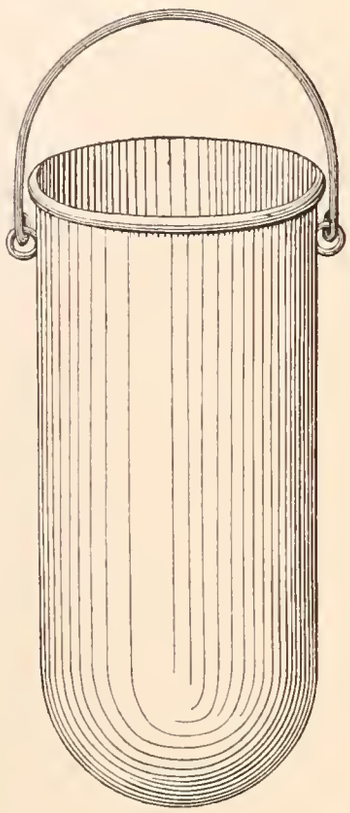


Fig. 1.

La lecture de la température était faite rapidement, à l'aide d'un thermomètre normal, gradué en dixièmes de degré.

L'échantillon d'eau était conservé dans un flacon de 2 litres, muni d'un bouchon en verre usé à l'émeri, que l'on avait soin de rincer plusieurs fois avec l'eau dont il fallait déterminer la densité. Ces flacons étaient déposés au laboratoire jusqu'à 5^{h} ap. m., heure à laquelle se faisaient les déterminations des densités des trois échantillons recueillis pendant la journée. Dans ces conditions l'eau prenait la température du laboratoire et, c'est à cette température, variant toujours, que se faisaient les déterminations.

Pour puiser l'eau de mer à de grandes profondeurs, l'Expédition était pourvue de trois bouteilles de Sigsbee, achetées chez le fabricant d'instruments Knutsen, à Copenhague. Ces bouteilles ne diffèrent que fort peu de celles qui sont décrites dans l'ouvrage de Sigsbee (1), il est donc inutile d'y insister. En général, les bouteilles de Sigsbee fonctionnent très bien.

Pendant l'hivernage de la Belgica, on s'est servi d'une bouteille construite d'après le principe de la bouteille de Buchanan (2), munie d'un large entonnoir dans le bas et dont les robinets se fermaient par la percussion d'un messager de Rung (3). Pour ce qui concerne les thermomètres ayant servi à mesurer les températures en profondeur, et les résultats des observations thermométriques, on trouvera tous les détails voulus dans le Rapport sur les températures océaniques déterminées.

Le modèle de l'aréomètre qui a servi aux déterminations de la densité des eaux est celui de Buchanan (4). L'Expédition était pourvue de deux aréomètres de ce genre, construits par Victor Chabaud à Paris, qui les a légèrement modifiés dans quelques détails de construction. Ils portaient les n^{os} 24 et 4 et, ils ont été étalonnés dans le laboratoire d'océanographie de l'Université de Nancy. Ces aréomètres sont à poids et à volume variables. Le poids de l'aréomètre n° 24, qui a servi pour toutes les déterminations, est (réduit au vide) = 176,9746 gr. et les volumes de l'aréomètre immergé à la température de 0°, pour les divisions 0 et 100 de la tige, sont respectivement : 177,8690 et 177,0680 c. c. La description détaillée et les détails sur l'étalonnage de ces instruments, pouvant être consultés à une source facilement accessible (5), nous n'y insisterons pas davantage.

A bord de la Belgica se trouvait également un réfractomètre de Abbe (6), construit par la maison Zeiss à Jena. Cet ingénieux instrument avait déjà été employé précédemment par Krümmel

(1) Charles D. Sigsbee, *Deap-sea sounding and dredging* (Pl. 20, p. 92). Washington 1880.

(2) C. W. Thomson, *The Atlantic*, p. 37 ; et, *Challenger Reports, Narrative.*

(3) J. Thoulet, *Océanographie statique*, p. 291.

(4) J. Y. Buchanan, *Report on the Specific Gravity of Ocean Water. (Report of the Scientific Results of the Voyage of H.M.S. Challenger : Physics and Chemistry*, vol. I).

(5) J. Thoulet, *Océanographie statique*, pp. 330-335.

(6) E. Abbe, *Neue Apparate zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungsvermögens fester und flüssiger Körper.* Jena, 1874.

à bord du National (1) et par Schott, qui le recommande même très chaleureusement (2). A bord de la Belgica, la pratique a montré, que dans sa construction actuelle, le réfractomètre ne peut pas fournir la précision de l'aréomètre, et que, bien loin de simplifier les travaux, il donne parfois des résultats douteux et n'offre, dans tous les cas, aucun avantage sérieux sur les déterminations directes de la densité, faites à l'aide de l'aréomètre.

Les volumes d'eau, que l'on peut puiser en profondeur avec les bouteilles employées actuellement, sont toujours plus que suffisants pour la détermination directe de la densité; l'avantage du réfractomètre (qui n'exige qu'une quantité d'eau minime) ne se fera donc sentir que le jour où l'on emploiera de très petites bouteilles. Le messager du capitaine Rung pourrait être remplacé par un appareil servant en même temps à puiser de l'eau en profondeur et de poids faisant culbuter les thermomètres à renversement. La construction d'un appareil de ce genre n'offrirait pas de grandes difficultés.

Pour ce qui concerne les dosages du chlore, par la méthode titrimétrique de Mohr (3), comme elle a été appliquée à l'étude de la chloruration de l'eau de mer par Bouquet de la Grye (4), on ne les a pas poursuivis d'une façon courante à bord de la Belgica de sorte qu'il n'y a pas lieu d'en rendre compte.

La détermination d'un poids spécifique est toujours une opération délicate et, l'usage de l'aréomètre, très simple en apparence, présente des difficultés qui pour être évitées exigent, de la part de l'observateur, une main exercée dans les travaux de physique.

Il est certain que la méthode chimique est plus facile. Pour obtenir la quatrième décimale, de la densité de l'eau de mer, avec certitude, il faut opérer avec beaucoup de soin et c'est pourquoi nous insisterons sur quelques unes des précautions qui ont été prises à bord de la Belgica.

En premier lieu, il est indispensable que l'éprouvette, dans laquelle on plonge l'aréomètre, soit soustraite aux mouvements de roulis et de tangage du bateau.

A cette fin on s'est servi d'une suspension à la Cardan. La figure ci-après (fig. 2), qui représente le laboratoire de physique de la Belgica, indique le mode de suspension employé. L'éprouvette est pincée dans un anneau en laiton (l'anneau intérieur, fig. 3) que l'on peut serrer à volonté et que l'on peut placer plus ou moins haut, de préférence au 1/3 de la hauteur de l'éprouvette. Une bande de caoutchouc est intercalée entre l'anneau et le verre, de façon à pouvoir serrer les vis. Cet anneau repose sur un deuxième anneau (l'anneau extérieur, fig. 3) qui oscille librement sur les extrémités d'une fourche (fig. 3) fixée au bout d'une tige. Des barres verticales, allant du plafond du laboratoire à la table de travail, permettaient de suspendre cet appareil plus ou moins haut. L'éprouvette balançait ainsi librement et restait parfaitement verticale, de sorte que, même par très fort roulis, il y avait moyen de faire la détermination de la densité, sans la moindre difficulté, et l'aréomètre n° 24 qui a servi tout le temps a été rapporté intact à Punta-Arenas. L'éprouvette avait 5 cm. de diamètre interne et 38 cm. de longueur.

(1) Otto Krümmel, *Geophysikalische Beobachtungen der Plankton-Expedition.*

(2) Gerhard Schott, *Wissenschaftliche Ergebnisse einer Forschungsreise zur See,* p. 22 et suivantes *(Petermann's Mitteilungen. Ergänzungsheft,* n° 109).

(3) F. Mohr, *Traité d'analyses par les liqueurs titrées.*

(4) Bouquet de la Grye, *Recherches sur la chloruration de l'eau de mer.* (Ann. de Chim. Phys. 5e sér. t. XXV, 1882).

Pour ce qui concerne l'aréomètre, on a eu soin, autant que possible, de ne pas le toucher avec les doigts ; toutes les déterminations ont été faites par l'un de nous et l'aréomètre n'a été confié dans les mains de personne d'autre pendant toute la durée du voyage.

Pour essuyer l'aréomètre on se servait toujours de papier à filtrer blanc, de bonne qualité et sec, et l'on tenait l'aréomètre dans la main dans une feuille de papier à filtrer. Sans doute, on gaspille de la sorte beaucoup de feuilles de papier, mais on est par contre certain de nettoyer l'aréomètre promptement et bien, et l'on évite de le toucher avec les doigts. Du reste, on lavait l'aréomètre de temps en temps avec de l'alcool.

On a également pris soin de ne jamais laisser plonger les surcharges dans l'eau de mer.

La température a été mesurée avec soin et, pour éviter que la température dans le fond de l'éprouvette ne soit différente de celle des couches supérieures, on agitait vivement l'eau à l'aide

Fig. 2.

d'une baguette en verre, recourbée à son extrémité en forme d'anneau horizontal. Néanmoins, il nous a été impossible d'éviter une légère variation de la température, lorsque, étant dans les glaces, le laboratoire était chauffé et que la température de l'air au plafond était de 25 à 30° parfois, tandis que la température de l'air sur le plancher n'était que 0 à 5°. Dans ce cas, on a pris la moyenne des deux lectures, avant la détermination et immédiatement après. Cette variation n'a généralement pas dépassé 0°,3 C.

On rencontre une difficulté beaucoup plus désagréable dans les bulles de gaz qui s'attachent parfois au verre de l'aréomètre. Il est évident qu'un rien peut fausser l'indication de l'aréomètre,

aussi faut-il bien prendre garde pour que ce cas ne se présente pas. Le plus simple est encore de recommencer plusieurs fois la même détermination, à la condition que l'on dispose d'une quantité d'eau suffisante.

Mais, on peut également éviter l'inconvénient en question en agitant l'eau dans l'éprouvette très vivement au moyen de l'agitateur, de façon à former de grosses bulles de gaz qui remontent rapidement et purifient l'eau (qui dans certaines conditions est assez fortement gazeuse) et ensuite, on laisse l'aréomètre s'y enfoncer tout doucement.

Pour ce qui concerne le nettoyage de l'éprouvette, on a toujours pris la précaution de la rincer plusieurs fois avec de l'eau de l'échantillon dont il s'agissait d'avoir la densité.

II. — L'aréomètre donne le poids P d'un volume V de l'eau essayée.

La densité est donc le quotient $\frac{P}{V}$, auquel on fait subir les corrections relatives à la température mesurée au 1/10e de degré.

Dans les tableaux qui suivent, les densités S_4^t ont été ramenées à la température *in situ,* au moyen du graphique, publié par l'un de nous dans un Rapport (1) sur la « détermination de la densité de l'eau de mer », ce qui nous donne les densités S_4^0 et, lorsqu'elles se rapportaient à des eaux situées à n mètres de profondeur, elles ont été en outre corrigées de l'effet de la compressibilité d'après la formule (2)

$$n\,S_4^0 = \frac{S_4^0}{1 - 0{,}00000432\,n}.$$

On a exposé en détail, les motifs en faveur de ces transformations à faire subir aux mesures expérimentales brutes. Sur le graphique des courbes de dilatation, une division de l'aréomètre, longue de 1 mm., correspond à une distance de 2 mm., l'approximation expérimentale de une demi-division de l'aréomètre correspond à une distance de 1 mm. sur le graphique. La correction

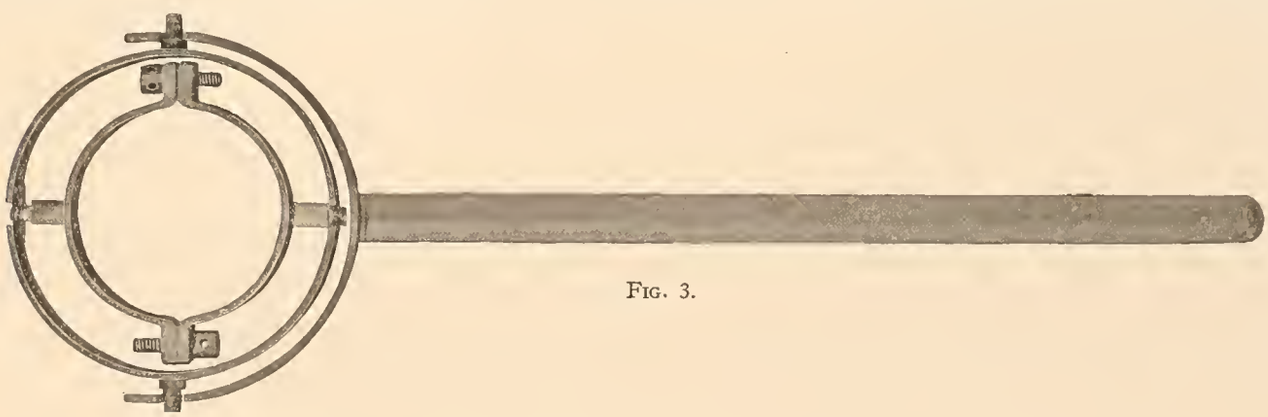


Fig. 3.

graphique s'opère donc avec une approximation double de celle de la mesure expérimentale et toutes deux offrent une exactitude supérieure à 5 unités du cinquième ordre dans la valeur de la densité, c'est-à-dire à 0,00005.

Le travail le plus important qui ait été fait jusqu'ici, sur les densités des eaux de mer, est l'ouvrage de l'Amiral Makaroff (3). A côté des densités S_4^0 l'Amiral Makaroff a également calculé

(1) J. Thoulet, *Détermination de la densité de l'eau de mer,* Pl. : Courbes de dilatation des eaux de mer (Rapports scientifiques de la Commission de la Belgica, 1901).

(2) J. Thoulet, *Océanographie statique,* p. 355.

(3) S. Makaroff, *Le « Vitiaz » et l'Océan Pacifique,* St-Petersbourg 1894.

les densités S_4^{15} à l'aide de formules empiriques établies d'après les mesures volumétriques de Lentz, Ekmann, Thorpe, Rücker, Dittmar et Tornoë.

D'un autre côté, M. le Prof. H. N. Dickson, d'Oxford, a publié récemment un important mémoire (1) dans lequel il donne la chloruration χ, la salure p et la densité S_4^{15} d'un nombre considérable d'eaux récoltées à la surface de l'Atlantique Nord.

En présence de travaux utilisant autant de données expérimentales, il faut se conformer aux règles établies et chercher à rattacher ses propres recherches à celles déjà effectuées. C'est pourquoi nous adoptons également les densités S_4^{15}, la chloruration et la salure. Nous allons donc expliquer comment ont été obtenues les valeurs portées sur les tableaux dans les colonnes intitulées S_4^{15}, χ et p.

M. Dickson, s'appuyant sur les travaux du Prof. O. Pettersson, et d'ailleurs en conformité avec les conclusions formulées au Congrès International de Stockholm en 1899, désigne sous le nom de chloruration χ, le poids des halogènes dosés comme chlore et, sous le nom de salinité ou salure p, le poids total des sels contenus l'un et l'autre, dans 1 kilogramme de l'eau de mer considérée. On trouvera dans le mémoire cité tous les renseignements relatifs au mode de dosage de χ.

La chloruration étant évaluée directement par un dosage volumétrique à la liqueur d'azotate d'argent avec le chromate de potasse comme réactif coloré, M. Dickson obtient par le calcul la valeur de S_4^{15} en se servant de la formule

$$S_4^{15} = 1.389\,\chi - 0.805$$

et adopte la table II (2) comme donnant la relation entre la chloruration et la densité. Nous nous sommes conformés à ce choix.

On est donc obligé de connaître S_4^{15}. Le graphique ayant servi à passer de S_4^t à S_4^0 en fournit le moyen et c'est ainsi qu'ont été obtenus les nombres figurant dans les colonnes S_4^{15}. On peut alors appliquer la formule précédente mise sous la forme

$$\chi = \frac{S_4^{15} + 0.805}{1.389}.$$

L'usage d'un graphique abrège notablement le temps nécessaire au calcul d'un nombre aussi considérable de valeurs. Le tableau de M. Dickson a permis de tracer sur un papier quadrillé au millimètre, une courbe en prenant pour abscisses les valeurs de χ et pour ordonnées celles correspondantes de S_4^{15}. Cette courbe est une ligne droite (voir fig. 4).

Afin d'avoir la salinité p, on a de même adopté la formule de M. Dickson où p est exprimé en fonction de χ (3)

$$p = 1.83\,\chi - 0.0012\,\chi^2$$

Pour opérer encore graphiquement, on a calculé d'après cette formule les valeurs de p pour un certain nombre de valeurs particulières de χ et on a dressé ainsi la table suivante :

(1) H. N. Dickson, *The circulation of the surface-waters on the North-Atlantic Ocean.* Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, vol. 196, pp. 61-203, 1901.

(2) H. N. Dickson, *loc. sit.*, p. 75 et p. 195. Table II.

(3) H. N. Dickson. *Report on physical investigations carried out on board H.M.S. Jackal 1893-1894.* Twelfth Annual Report of the Fishery Board for Scotland. Part III : Scientific Investigations. Section C : Physical Observations. 1894. p. 340.

χ	p	χ	p	χ	p
0	0.00	9	16.37	18	32.54
1	1.83	10	18.18	19	34.33
2	3.66	11	19.98	20	36.12
3	5.48	12	21.79	21	37.90
4	7.30	13	23.59	22	39.68
5	9.12	14	25.38	23	41.46
6	10.94	15	27.18	24	43.23
7	12.75	16	28.97	25	45.00
8	14.56	17	30.76		

Sur le graphique, on a porté en ordonnées les valeurs de p correspondantes à chacune des abscisses χ déjà tracées. Les points obtenus réunis par un trait continu ont fourni une courbe à légère concavité tournée vers l'axe des abscisses. Le schéma complété laisse trouver d'un seul coup les valeurs indiquées dans les colonnes intitulées χ et p.

En résumé, la valeur S_4^t étant mesurée directement à bord au moyen de l'aréomètre, on passe, sur le premier graphique, aux valeurs S_4^0 et S_4^{15} et, sur le second graphique, de S_4^{15} à χ et p.

Dans le but de se rendre compte du degré de concordance de ces divers éléments, M. Chevallier a bien voulu effectuer quelques dosages directs de chloruration dans le laboratoire d'océanographie de l'Université de Nancy. Il a rédigé à ce propos, la note qu'on trouvera ci-dessous (1).

Les faibles discordances constatées entre les divers auteurs n'ont rien d'étonnant et l'on aurait tort d'exiger d'aucune formule générale une précision exagérée qu'elle est incapable de fournir pour cette simple raison que l'eau de mer n'a pas une composition élémentaire rigoureusement identique dans l'Océan tout entier ou, en d'autres termes, n'est pas une solution saline

(1) La présente note a pour objet de vérifier la relation existant entre la densité d'une eau de mer et sa chloruration.

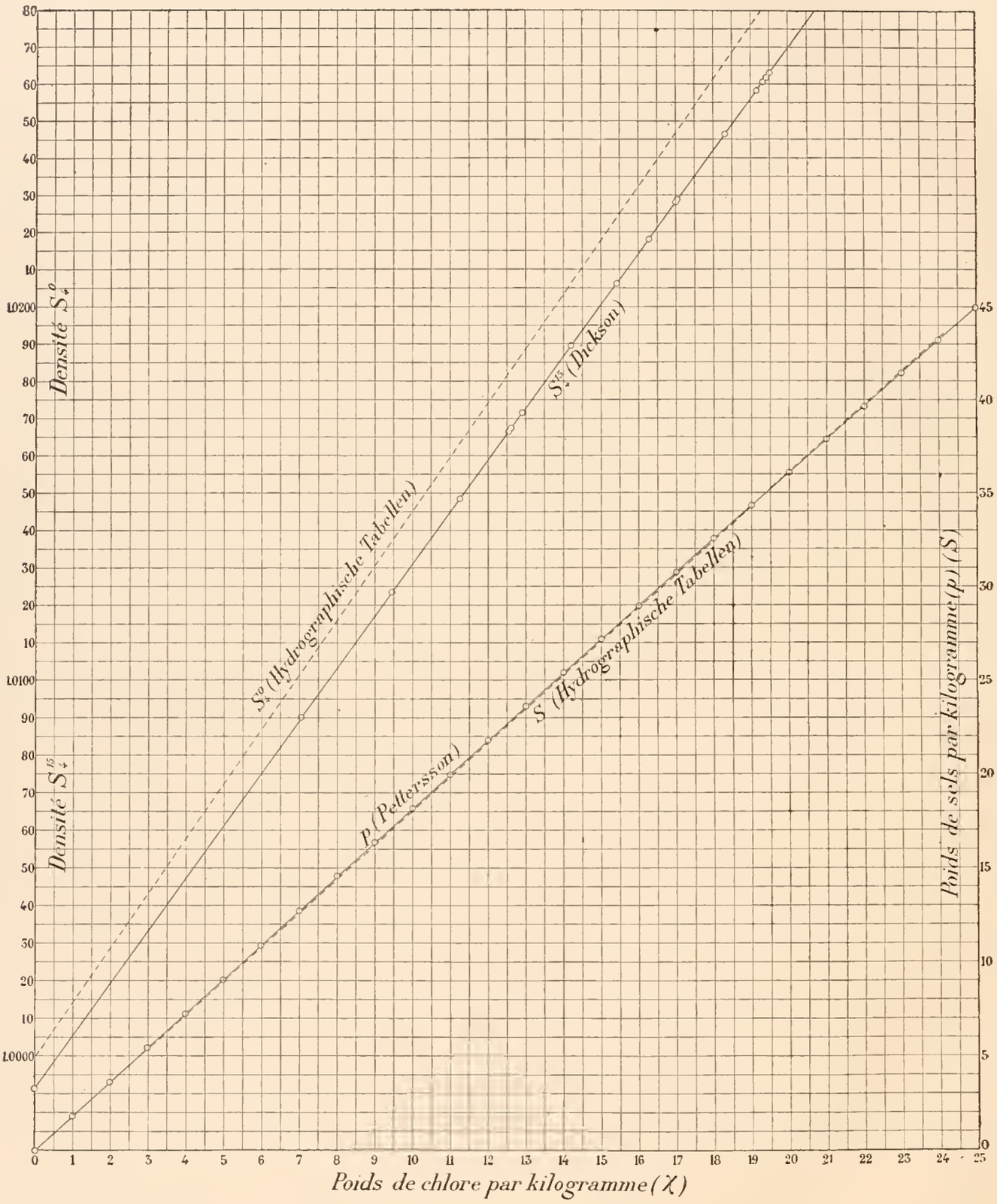
Les dosages de chlore ont été effectués sur sept échantillons : deux provenaient des parages de l'île Jan Mayen, quatre des environs du phare de Hourtins dans le Golfe de Gascogne, le dernier a été recueilli à 1800 mètres au large de Luc-sur-Mer (Calvados). Un des deux échantillons récoltés à Jan Mayen a été tantôt concentré, tantôt étendu avec de l'eau distillée, de façon à obtenir une série de densités comprises entre 1,00000 et 1,03280.

J'ai suivi la méthode classique de Mohr : précipitation des halogènes par une solution titrée d'azotate d'argent avec le chromate de potasse comme réactif indicateur. J'ai employé la même liqueur titrée que celle dont s'est servi M. Bouquet de la Grye dans les essais qu'il a faits pendant son voyage à l'île Campbell, c'est-à-dire une liqueur, contenant 47,887 gr. d'azotate d'argent par litre d'eau distillée à 15° C. ; de cette façon 1 c. c. de la solution sature exactement 0,01 gr. de chlore ; pour les eaux de faible densité je me suis servi d'une liqueur renfermant moitié moins d'azotate d'argent que la précédente.

J'opérais sur 10 c. c. environ d'eau de mer ; cette quantité était placée dans un petit flacon en verre mince bouché à l'émeri et pesée au dixième de milligramme. L'eau de mer était ensuite versée dans un verre de Bohême et le dosage était effectué à la manière habituelle. Trois essais étaient faits pour chaque échantillon ; la moyenne ne s'est jamais écartée de l'une des mesures de plus d'un centième de centimètre cube.

Immédiatement avant chaque série de dosages, j'ai mesuré la densité de l'eau de mer avec un aréomètre système Buchanan. La température constante de 15° est difficile à obtenir ; néanmoins, ainsi qu'on pourra s'en rendre compte

Fig. 4.


Densité S_4^0
Densité S_4^{15}
S_4^{0} (Hydrographische Tabellen)
S_4^{15} (Dickson)
P (Pettersson)
S (Hydrographische Tabellen)
Poids de sels par kilogramme (p) (S)
Poids de chlore par kilogramme (χ)

uniforme des mêmes sels, dans les mêmes proportions et plus ou moins étendue d'eau distillée. On comprend donc que si l'on veut pousser la précision jusqu'à ses extrêmes limites, deux échantillons peuvent avoir la même densité à une même température et cesser d'être d'accord à une autre température parce que les sels que chacun d'eux contient dans des proportions différentes leur donnent à chacun un coefficient de dilatation différent. Ou bien encore ils pourront posséder

par le tableau ci-dessous les densités ont toujours été prises à des températures qui n'ont jamais été inférieures à 14°,6 ni supérieures à 15°,8. La densité obtenue S_4^t était ramenée à S_4^{15} au moyen du graphique construit par M. Thoulet.

PROVENANCE DE L'EAU DE MER	Température t	Densité à t° S_4^t	Densité à 15° S_4^{15}	Chloruration χ
Eau distillée	»	»	0,99915	0,00
Jan Mayen (étendue)	15,2	1,00161	1,00163	1,93
» » »	15,5	1,00337	1,00344	3,23
» » »	14,9	1,00511	1,00510	4,44
» » »	14,6	1,00727	1,00720	5,93
» » »	15,0	1,00842	1,00842	6,91
» » »	15,0	1,01007	1,01007	8,09
» » »	15,8	1,01317	1,01330	10,48
» » »	15,0	1,01639	1,01639	12,71
» » »	14,8	1,01948	1,01943	14,89
» » »	15,2	1,02244	1,02247	17,12
Jan Mayen (2e échantillon)	15,0	1,02422	1,02422	18,30
Luc-sur-Mer	15,1	1,02434	1,02436	18,46
Jan Mayen (concentrée)	15,1	1,02550	1,02552	19,24
Phare de Hourtins	14,6	1,02585	1,02578	19,48
» » »	15,3	1,02590	1,02596	19,56
» » »	15,0	1,02642	1,02642	19,90
» » »	15,2	1,02642	1,02646	19,93
Jan Mayen (concentrée)	15,5	1,02787	1,02797	21,03
» » »	15,7	1,03051	1,03068	22,91
» » »	15,7	1,03263	1,03280	24,33

Ces résultats ont été ensuite portés sur une feuille de papier quadrillé au millimètre en prenant comme ordonnées les densités S_4^{15} et comme abscisses les chlorurations χ.

En joignant par un trait continu les différents points on obtient une courbe régulière différant très peu d'une droite et présentant sa concavité du côté de l'axe des y.

En cherchant, d'après ces données expérimentales, à mettre la courbe en équation, on arrive à la formule

$$S_4^{15} = 0{,}0022\,\chi^2 + 1{,}329\,\chi - 0{,}85$$

qui permet d'obtenir la densité S_4^{15} d'une eau de mer dont on connait la chloruration χ.

J'ai conservé dans cette formule la notation de M. Dickson qui désigne par S_4^{15}, non pas la densité tout entière, mais seulement ses quatre derniers chiffres : par exemple 25,32 au lieu de 1,02532.

Depuis la rédaction de cette note, la Commission internationale pour l'étude des mers septentrionales d'Europe a publié à Copenhague ses « Hydrographische Tabellen » contenant les formules adoptées pour le calcul des chlorura-

un χ différent pour un même p, ou un p différent pour un même χ et ainsi de suite. Il serait dangereux d'exagérer le principe inverse et de se contenter d'une approximation notoirement insuffisante.

On ne saurait se dissimuler que, pour les eaux superficielles, la densité ne joue qu'un rôle secondaire dans l'économie générale de la circulation tandis que le rôle du vent est au contraire prépondérant. Ces conclusions sont d'ailleurs celles qui résultent du mémoire même de M. Dickson. Il en est autrement à mesure qu'on considère des eaux de plus en plus profondes sur lesquelles le vent agit de moins en moins tandis que la densité *in situ* prend toute son importance.

A ce propos se pose un problème pratique. Les bouteilles à recueillir les eaux profondes sont lourdes et assez peu maniables. Comme il conviendrait de récolter le plus possible d'échantillons d'eaux le long d'une même ligne verticale, c'est-à-dire dans un même sondage, s'il était vraiment reconnu impossible d'avoir une bouteille à la fois légère et de grande capacité, il serait très désirable de parvenir à établir un modèle de bouteilles légères, de faible capacité, dont plusieurs seraient susceptibles d'être attachées les unes au-dessus des autres au fil de sonde. Se garantir des effets de la pression (1) n'offre aucune difficulté. On serait donc amené à réduire au minimum le volume d'eau recueilli par chacune d'elles. Le modèle est encore à trouver. Toutefois le procédé de mesure directe des densités par l'aréomètre qui exige environ 1 litre de liquide devrait être alors remplacé soit par une mesure au réfractomètre, comme il a déjà été dit précédemment, soit, par une mesure au pycnomètre sur une cinquantaine de grammes de liquide, soit par un dosage de chloruration qui demande au plus une quinzaine de grammes d'eau. On pourrait même employer les deux ou les trois procédés en même temps ce qui serait encore plus sûr. M. Dickson (2) n'est pas partisan du pycnomètre. Son opinion défavorable mériterait d'être atténuée. Avec cette méthode on prend une densité avec beaucoup d'exactitude au prix de quelques précautions simples telles, par exemple, que de faire les affleurements dans la glace fondante. Outre l'avantage d'opérer par pesées, ce qui est une sécurité de plus, on obtient directement, sans passer par aucune transformation, la densité S_4^0 de l'échantillon étudié qui, ramenée à S_4^0 par le graphique, est en définitive la véritable et unique caractéristique de la densité au point de vue du problème de la circulation océanique.

---

tions, salinité, densité à des températures différentes, etc., des diverses eaux de mer. Les densités à une température quelconque sont calculées en fonction de la densité à 0°. Afin de vérifier le degré de précision des courbes de M. Thoulet, j'ai calculé par les formules des « Hydrographische Tabellen », en partant de divers S_4^0 déterminés graphiquement sur les courbes, 26 densités pour 15 et pour 30 degrés.

L'écart entre les valeurs pointées sur la courbe et celles obtenues par les formules, tantôt en plus, tantôt en moins, a été de —0,00015 comme maximum dans un seul cas et, en moyenne, de —0,00003. On peut donc avoir toute confiance pratique dans les courbes qui offrent en outre, comme tous les procédés graphiques relativement aux procédés de calculs de formules ou d'interpolations tabulaires, l'avantage d'une simplicité et d'une rapidité incomparablement supérieures.

Pour faciliter les autres déterminations, j'ai tracé sur la fig. 4 les droites des salinités et des densités d'après les « Hydrographische Tabellen »; seulement comme cette dernière droite est rapportée par M. Knudsen à S_4^0, lorsqu'on voudra en faire usage, il y aura lieu de considérer l'axe des ordonnées y comme indiquant non plus des S_4^{15} mais des S_4^0, l'axe des abscisses représentant toujours des chlorurations ainsi qu'il a été dit dans la note.

A. Chevallier.

(1) J. Thoulet. *Sur une modification à apporter à la construction des bouteilles destinées à recueillir les échantillons d'eaux de mer.* C. R. Acad. Sci. T. CXVI, p. 334, février 1893.

(2) Loc. cit., p. 75.

III. — Dans l'Océan Atlantique, les déterminations de la densité des eaux de surface ont été commencées le 2 octobre 1897 par 5° de latitude N. La route suivie par la Belgica dans l'Océan Atlantique Sud se trouve indiquée sur la planche et les positions déterminées astronomiquement y sont figurées par des points. La route suivie rend les déterminations relativement peu intéressantes à plusieurs points de vue. Le Vitiaz a effectivement suivi, en 1886, à peu de chose près la même route et, les données fournies par l'Amiral Makaroff sont suffisantes pour que l'intérêt de nos déterminations ne soit plus que secondaire (1). Sur une partie de cette même route viennent également s'échelonner les données fournies par l'Expédition du Challenger (2) et celles de l'Expédition de la Gazelle (3), tandis que les chiffres de Schott (4) et ceux de Krümmel (5) font également double emploi avec les nôtres en différents points de la route de la Belgica.

Néanmoins, il est utile de posséder le plus grand nombre de données possible afin de pouvoir discuter les chiffres et cela d'autant plus que l'on est bien loin encore de pouvoir tracer, avec quelque certitude, les cartes de la salinité et de la densité des eaux de surface de l'Atlantique Sud. Mais, d'un autre côté, sur une bonne partie de la route considérée, la Belgica a suivi de trop près les côtes du Brésil et surtout celles de la Patagonie, pour que les densités offrent l'intérêt qu'auraient présenté des données recueillies plus au large, suivant une route moins fréquentée. Les chiffres obtenus se trouvent consignés sur le tableau I.

Ces résultats ont également été représentés graphiquement sur la planche où les chiffres correspondant à chaque point d'observation ont été portés en ordonnées sur les courbes des densités S^0_4 et des salinités p. Sur ces courbes, au lieu de prendre des abscisses proportionnelles aux distances on a préféré projeter les points d'observation sur l'axe de façon à avoir un profil correspondant à la carte adjacente. D'après ce principe de physique que les hauteurs de liquides différents, dans des vases communiquants — et, on peut considérer l'Océan comme une suite infinie de vases communiquants, — sont en raison inverse des densités de ces liquides, en chacun des points au-dessus de la ligne de densité initiale, on a pris des ordonnées proportionnelles à la densité trouvée S^0_4 afin que, de même que dans la nature, les points de faible densité soient à un niveau proportionnellement plus élevé que les points à forte densité.

Ces points ont été reliés par des lignes droites. Les salinités p ont également été portées en ordonnées ce qui nous donne la deuxième courbe.

IV. — Les densités des eaux du grand canal antarctique, qui sépare l'Amérique du Sud des terres antarctiques situées au sud du Cap Horn, se trouvent consignés sur le tableau II, dans lequel la colonne nS^0_4 indique les densités *in-situ* à la profondeur dont l'échantillon provient. On remarquera que dans les quatre cas où de l'eau a été puisée (à l'aide de la bouteille de Sigsbee) au fond de la mer, la salinité est toujours plus grande au fond qu'elle ne l'est à la surface.

Pour ce qui concerne les densités *in-situ* elles sont évidemment notablement plus grandes au fond à cause de l'énorme pression des couches d'eau superposées qui compriment l'eau du fond et la forcent à occuper un volume plus faible qu'à la pression atmosphérique. Remarquons aussi que, les densités réduites à une même température, donc S^{15}_4, sont sensiblement égales pour

(1) S. Makaroff, *Le « Vitiaz » et l'Océan Pacifique*. Vol. II, pp. 12-18.

(2) J. Y. Buchanan, loc. cit. pp. 19, 20.

(3) Die Forschungsreise S. M. S. « Gazelle ». V, p. 189 ; II, p. 47.

(4) G. Schott, loc. cit.

(5) O. Krümmel, loc. cit.

les 4 échantillons en question ; les chiffres 34.32, 34.34, 34.33, 34.34 nous montrent que la salinité est la même, au fond de l'Océan, depuis le Cap Horn jusqu'aux Shetland Méridionales. A la surface, au contraire, la salinité des eaux est un peu plus faible dans les parages des Shetland Méridionales qu'elle ne l'est au large du Cap Horn :

$$33.62,\ 33.70 > 33.40,\ 33.53.$$

Mais, dans tous les cas, ces chiffres sont un peu plus élevés que ceux obtenus sur le plateau continental de la Patagonie ; les cartes publiées dans les Rapports du CHALLENGER doivent donc être légèrement modifiées pour ces parages de même qu'elles devront subir de notables corrections pour les régions antarctiques.

Le tableau III nous renseigne sur les résultats des 5 déterminations, de la densité des eaux de surface, faites dans le détroit de Bransfield et dans le Golfe de Hughes. Il nous montre que dans le détroit de Bransfield les densités *in-situ* S^0_4 sont encore plus élevées que dans le Canal Antarctique. Les chiffres vont en augmentant assez régulièrement vers le sud : 1.0265 au large du Cap Horn, 1.0267 au milieu du Canal Antarctique, 1.0269 en vue des Shetland méridionales, et 1.0271 dans le détroit de Bransfield.

V. — Les tableaux IV et V rendent compte des chiffres obtenus au large des Terres de Graham et d'Alexandre et de ceux relatifs aux échantillons puisés sous la glace pendant l'emprisonnement dans la banquise et la dérive de la BELGICA, depuis le 1er mars 1898 jusqu'au 14 mars 1899. Ces chiffres étant fort interessants, nous les examinerons en détail, sans discuter toutefois leur importance au point de vue de la circulation générale des eaux, cette discussion devant faire l'objet d'un rapport spécial.

Remarquons tout d'abord que les conditions dans lesquelles nous nous trouvons dans les régions où les glaces flottantes sont abondantes, sont très spéciales. Les icebergs, qui sont extrêmement nombreux dans la région considérée, proviennent des glaciers des terres antarctiques et forment par conséquent, en se dissolvant dans l'eau de mer, un apport continu d'eau douce. Les relations thermiques, de l'Océan Pacifique Antarctique (1), nous montrent que c'est surtout à la base des icebergs que cette dissolution doit se poursuivre d'une façon active, c'est-à-dire là où les eaux ont une température supérieure à 0. La glace de mer, par contre, en se formant, enrichit l'eau de mer en sels, pendant les mois de l'année durant lesquels la congélation des eaux superficielles de l'océan se poursuit d'une façon continue. Pendant les quelques mois de l'été antarctique, au contraire, la fusion de la glace formée produit de l'eau saumâtre qui appauvrit le degré de salinité des eaux de surface. Néanmoins, l'été antarctique étant extrêmement rigoureux (2), la fusion de la glace de mer est un facteur de beaucoup moins important au pôle Sud que cela n'est le cas dans les régions arctiques. Aussi, si nous faisons abstraction des eaux superficielles des crevasses, qui se forment dans la banquise, et des nappes d'eau de faible étendue, qui n'ont d'ailleurs aucune importance dans l'économie générale de l'océan, nous pouvons dire que les variations annuelles de la salinité des eaux, immédiatement sous-jacentes à la glace, ne sont que très faibles. La série de chiffres donnant la salinité p des eaux puisées à des profondeurs comprises entre la

(1) Henryk Arctowski, *Aperçu sur les recherches océanographiques de l'Expédition antarctique belge* (Verh. VII internat. Geogr. Kongr. p. 652).

(2) Henryk Arctowski, *Géographie physique de la région antarctique visitée par l'Expédition*, p. 67 (Bull. Soc. Géogr. Bruxelles 1900).

surface et 20 m. de profondeur nous le démontre. Pour plus de clarté nous avons figuré sur le graphique ci-dessous (fig. 5), d'après les tableaux IV et V, la courbe que l'on obtient en prenant le temps pour abscisses et les salinités comme ordonnées. Les grandes différences que l'on observe en février, suivant les endroits, nous démontrent que suivant les conditions des glaces, la salinité peut fortement différer d'un endroit à l'autre; mais la moyenne de ces chiffres est à peu près de 2 °/₀ inférieure au chiffre observé en septembre. La courbe nous montre que les

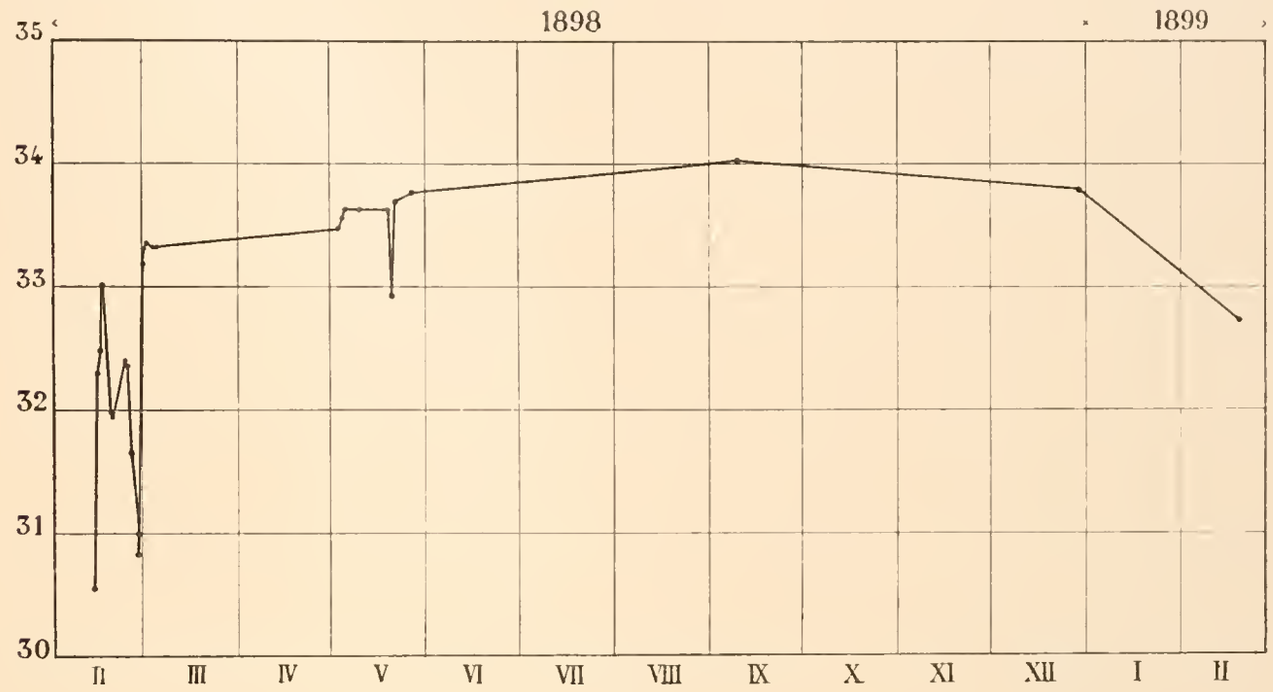


Fig. 5.

salinités augmentent très légèrement depuis mars jusqu'en septembre et ce n'est sans doute qu'en janvier que la salinité diminue de nouveau. Au point de vue quantitatif, cette courbe n'a évidemment qu'un intérêt secondaire, puisque les variations de la salinité doivent également dépendre de la distance à laquelle on se trouve de la lisière du pack et en général des conditions géographiques; mais, dans tous les cas, elle démontre le fait que la salinité augmente avec le progrès de la congélation.

A ce propos il y a lieu de rendre compte de quelques mesures de densités effectuées sur les eaux de fusion de différents échantillons de glace de mer.

Vendredi le 18 février 1898 à 10^{h} du matin, la Belgica était dans le pack au milieu de plaques de vieille glace de mer, entre lesquelles se trouvaient beaucoup de petits fragments de glace, provenant du frottement des plaques les unes contre les autres. De l'eau puisée à l'arrière du bateau et parfaitement dépourvue de glace, avait une température de —1°,68 et sa densité :

$$S_4^{15} = 1.02377 \quad (p = 31{,}99\ °/_0).$$

Un autre seau a été puisé dans la bouillie de glace. Il renfermait quelques morceaux de glace, de la glace pilée et un peu d'eau tenant le tout en suspension. La température de cet échantillon était —1°,65. La densité de l'eau de fusion de l'ensemble de glace et d'eau de mer a été :

$$S_4^{15} = 1.01258 \quad (p = 17{,}49\ °/_0).$$

A l'aide d'un autre échantillon puisé de la même manière on a décanté l'eau; 3 morceaux de glace fondus ont donné de l'eau dont la densité était :

$$S_4^{15} = 1.00128 \quad (p = 2.80\ ^0/_0);$$

tandis que la glace pilée qui s'y trouvait en menus fragments a donné de l'eau dont la densité était :

$$S_4^{15} = 1{,}00368 \quad (p = 5{,}94\ ^0/_0).$$

Un seau renfermant l'ensemble, tel qu'on le puise entre les plaques de glace de mer, à été déposé dans le laboratoire. La température y était —1°,65 à 10^h, —1,61 à 10^h 30 du matin, —1°,50 à 1^h et —1°,28 à 4^h du soir. — Ces chiffres démontrent que la glace de mer n'a pas une température de fusion constante, sans quoi la température se serait maintenue la même jusqu'à ce que toute la glace soit dissoute dans l'eau. La glace de mer a une température de fusion inférieure à 0° et variable suivant sa composition. Le fait de l'inégale composition chimique de la glace de mer a été établi par le Prof. O. Pettersson. Le savant professeur de Stockholm compare, d'une façon générale, les diverses glaces de mer, à une roche, composée d'éléments hétérogènes, telle que le granite.

Le 24 février 1898. — Un fragment de glace de mer jaunâtre, peu épaisse, donne une eau trouble; ce trouble est gélatineux, blanc (Diatomées) :

$$S_4^{15} = 1{,}00791 \quad (p = 11{,}43\ ^0/_0).$$

Cette glace ayant été abandonnée quelque temps à la fusion et décantée donne après fusion complète :

$$S_4^{15} = 1.00270 \quad (p = 4{,}64\ ^0/_0).$$

De la glace de mer fraichement formée donne une eau de fusion dont la densité est :

$$S_4^{15} = 1.00542 \quad (p = 8{,}19\ ^0/_0).$$

Le 27 février. — Deux morceaux de nouvelle glace donnent respectivement :

$$S_4^{15} = 1{,}00521 \quad (p = 7{,}83\ ^0/_0),$$
$$S_4^{15} = 1{,}00455 \quad (p = 7{,}08\ ^0/_0).$$

De la jeune glace formée le 6 mars :

$$S_4^{15} = 1{,}00475 \quad (p = 7{,}33\ ^0/_0).$$

Pendant les mois de l'été antarctique, l'eau de surface, dans le trou servant aux sondages, qui a été percé dans la glace non loin de la Belgica, était saumâtre.

Ainsi, le 29 décembre, cette eau avait pour densité :

$$S_4^{15} = 1{,}00820 \quad (p = 11{,}50\ ^0/_0).$$

Nous avons dit plus haut que la salinité des eaux immédiatement sous-jacentes à la glace de mer augmente légèrement pendant les mois de l'hiver.

Ce n'est qu'en hiver que la salinité est normale.

Remarquons maintenant que nos chiffres démontrent que, dans la région de l'hivernage de la Belgica, la densité (de même que la salinité des eaux) augmente avec la profondeur. Les stations des sondages n^{os} 32 et 36 et les stations n^{os} 29 et 30 montrent qu'aux mêmes profondeurs la salinité diminue vers le pôle Sud. Les stations n^{os} 17 et 21 nous montrent également que plus loin encore, sur le plateau continental, les salinités diminuent davantage; mais, dans tous les cas, les salinités ne sont pas inférieures à celles des eaux du Canal Antarctique et les densités *in-situ* sont supérieures.

TABLEAU I.

DATE	HEURE	LATITUDE	LONGITUDE OUEST	TEMPÉRATURE θ	TEMP. DE LA MESURE t	S_4^t	S_4^θ	S_4^{15}	χ	p
2 octobre 1897	7 m.			28.06	27.9	1.02198	1.02196	1.02552	18.90	34.15
»	11 m.	à midi 5° 00' N	24° 48'	28.00	28.0	1.02083	1.02083	1.02433	18.10	33.22
»	4 s.			27.89	27.9	1.02212	1.02212	1.02605	19.33	34.90
4 octobre	8 m.			27.40	27.7	1.02297	1.02306	1.02649	19.66	35.50
»	12	3° 07'	25° 30'	27.46	27.75	1.02283	1.02292	1.02633	19.54	35.29
»	5 s.			27.29	27.25	1.02315	1.02315	1.02653	19.68	35.54
5 octobre	8 m.			27.26	27.4	1.02321	1.02324	1.02660	19.73	35.63
»	12	2° 06'	27° 08'	27.32	27.4	1.02321	1.02324	1.02660	19.73	35.63
»	4 s.			27.05	27.1	1.02327	1.02328	1.02660	19.73	35.63
7 octobre	8 m.			26.09	27.45	1.02330	1.02344	1.02675	19.85	35.82
»	12			26.29	27.2	1.02335	1.02354	1.02676	19.86	35.82
»	4 s.	0° 35' S	29° 20'	26.46	26.6	1.02351	1.02357	1.02663	19.76	35.65
8 octobre	8 m.			26.29	27.1	1.02340	1.02365	1.02675	19.85	35.82
»	12	2° 14'	30° 40'	26.45	26.8	1.02347	1.02358	1.02672	19.82	35.78
»	4 s.			26.59	26.55	1.02360	1.02359	1.02677	19.87	35.84
9 octobre	8 m.			26.33	26.7	1.02364	1.02375	1.02686	19.92	35.94
»	12	4° 07'	31° 47'	26.34	26.6	1.02360	1.02367	1.02678	19.87	35.84
»	4 s.			26.42	26.5	1.02365	1.02368	1.02680	19.88	35.89
10 octobre	8 m.			25.99	26.5	1.02356	1.02372	1.02672	19.82	35.78
»	12	5° 52'	33° 07'	26.18	26.1	1.02343	1.02340	1.02672	19.82	35.78
»	4 s.			26.32	26.2	1.02342	1.02339	1.02673	19.83	35.80
11 octobre	8 m.			26.21	27.15	1.02349	1.02377	1.02685	19.92	35.94
»	12	7° 16'	33° 25'	26.43	27.0	1.02354	1.02372	1.02684	19.91	35.91
»	4 s.			26.41	26.45	1.02365	1.02366	1.02677	19.87	35.84
12 octobre	8 m.			26.18	26.4	1.02384	1.02389	1.02697	20.00	36.10
»	12	9° 17'	33° 14'	26.17	26.3	1.02384	1.02387	1.02693	19.98	36.09
»	4 s.			26.26	26.3	1.02393	1.02394	1.02706	20.06	36.20
13 octobre	8 m.			25.01	26.6	1.02388	1.02407	1.02709	20.08	36.25
»	12	10° 35'	33° 50'	26.31	26.55	1.02370	1.02386	1.02696	20.00	36.10
»	4 s.			26.40	26.3	1.02379	1.02376	1.02688	19.93	35.96
14 octobre	8 m.			25.94	25.9	1.02417	1.02416	1.02715	20.13	36.33
»	12	12° 19'	34° 50'	25.95	25.9	1.02420	1.02419	1.02719	20.15	36.37
»	4 s.			25.83	25.5	1.02423	1.02415	1.02709	20.08	36.25
15 octobre	8 m.			25.50	25.4	1.02432	1.02429	1.02717	20.14	36.34
»	12	13° 55'	35° 55'	25.52	25.5	1.02432	1.02431	1.02719	20.15	36.37
»	4 s.			25.45	25.5	1.02432	1.02433	1.02719	20.15	36.37
16 octobre	8 m.			24.90	25.2	1.02451	1.02462	1.02728	20.23	36.50
»	12	15° 28'	36° 39'	25.00	25.3	1.02451	1.02461	1.02730	20.24	36.52
»	4 s.			24.73	24.8	1.02462	1.02465	1.02727	20.22	36.48

DATE	HEURE	LATITUDE SUD	LONGITUDE OUEST	TEMPÉRATURE θ	TEMP. DE LA MESURE t	S_4^t	S_4^θ	S_4^{15}	χ	p
17 octobre 1897	8 m.			24.53	24.8	1.02471	1.02480	1.02735	20.28	36.59
»	12	17° 18'	37° 23'	24.78	24.75	1.02480	1.02479	1.02740	20.32	36.64
»	4 s.			24.88	24.7	1.02480	1.02474	1.02741	20.33	36.66
18 octobre	8 m.			24.09	24.7	1.02494	1.02511	1.02755	20.42	36.83
»	12	18° 45'	37° 57'	24.19	24.55	1.02495	1.02505	1.02751	20.39	36.79
»	4 s.			24.07	24.15	1.02496	1.02498	1.02740	20.32	36.64
19 octobre	8 m.			24.05	24.85	1.02494	1.02518	1.02760	20.46	36.90
»	12	19° 49'	38° 48'	24.06	25.2	1.02479	1.02515	1.02757	20.43	36.88
»	4 s.			24.07	24.65	1.02499	1.02516	1.02758	20.44	36.89
20 octobre	8 m.			23.39	24.45	1.02481	1.02515	1.02736	20.29	36.61
»	12	21° 10'	40° 03'	23.50	24.85	1.02475	1.02518	1.02740	20.32	36.64
»	4 s.			23.20	24.1	1.02491	1.02518	1.02732	20.26	36.56
»	5 s.			21.72	22.55	1.02509	1.02533	1.02705	20.05	36.18
21 octobre	8 m.			21.85	24.45	1.02370	1.02445	1.02618	19.43	35.09
»	12	22° 49'	41° 34'	22.57	24.6	1.02352	1.02412	1.02605	19.33	34.90
»	4 s.			21.94	24.75	1.02368	1.02450	1.02627	19.50	35.20
31 octobre	8 m.			21.00	24.0	1.02418	1.02505	1.02656	19.70	35.56
»	12	24° 14'	44° 16'	21.81	24.5	1.02412	1.02492	1.02664	19.76	35.65
»	4 s.	24° 47'	44° 28'	21.25	24.3	1.02445	1.02535	1.02692	19.92	35.94
1 novembre 1897	8 m.			21.84	21.1	1.02471	1.02450	1.02625	19.48	35.17
»	12	25° 03'	45° 06'	21.69	20.75	1.02412	1.02387	1.02553	18.97	34.30
»	4 s.			21.32	20.65	1.02427	1.02410	1.02564	19.04	34.39
2 novembre	8 m.			21.40	20.8	1.02371	1.02357	1.02509	18.64	33.68
»	12	25° 02'	46° 16'	21.60	20.75	1.02375	1.02353	1.02511	18.66	33.71
»	4 s.			21.48	21.0	1.02366	1.02354	1.02509	18.64	33.68
3 novembre	8 m.			21.22	20.4	1.02362	1.02340	1.02488	18.50	33.44
»	12	25° 47'	47° 39'	21.33	20.7	1.02371	1.02355	1.02506	18.62	33.64
»	4 s.			21.45	20.9	1.02382	1.02367	1.02523	18.75	33.88
4 novembre	8 m.			20.42	21.4	1.02378	1.02403	1.02536	18.84	34.05
»	12	27° 17'	47° 49'	20.82	21.5	1.02378	1.02395	1.02543	18.89	34.13
»	4 s.			20.89	21.2	1.02420	1.02428	1.02574	19.12	34.53
5 novembre	8 m.			19.68	21.8	1.02377	1.02433	1.02545	18.90	34.15
»	12	29° 11'	48° 50'	19.71	21.9	1.02377	1.02435	1.02547	18.92	34.17
»	4 s.			19.71	21.0	1.02386	1.02420	1.02533	18.82	34.00
6 novembre	8 m.			18.18	21.1	1.02306	1.02380	1.02451	18.22	33.92
»	12	31° 27'	50° 45'	18.12	20.9	1.02277	1.02345	1.02413	17.96	32.47
»	4 s.			18.19	20.55	1.02282	1.02338	1.02418	18.00	32.55
7 novembre	8 m.			16.13	20.75	1.02125	1.02260	1.02257	16.83	30.44
»	12	33° 45'	52° 37'	16.52	20.5	1.02186	1.02280	1.02313	17.23	31.17
»	4 s.			16.99	19.55	1.02248	1.02308	1.02352	17.52	31.67

DATE	HEURE	LATITUDE SUD	LONGITUDE OUEST	TEMPÉRATURE θ	TEMP. DE LA MESURE t	S_4^t	S_4^θ	S_4^{15}	χ	ρ
8 novembre 1897	8 m.	à 1 mille du cap Polonio		16.20	18.0	1.02266	1.02307	1.02331	17.37	31.41
»	12			15.98	17.55	1.02286	1.02321	1.02340	17.43	31.53
9 novembre	8 m.	au mouillage devant le		15.12	17.1	1.02273	1.02315	1.02318	17.28	31.26
»	12	phare du cap Polonio		15.23	16.9	1.02271	1.02313	1.02312	17.22	31.14
10 novembre	8 m.			15.12	16.55	1.02286	1.02316	1.02340	17.43	31.53
»	12	34° 48'	54° 25'	16.03	16.8	1.02241	1.02259	1.02278	16.99	30.73
»	5 s.			17.05	17.3	1.02074	1.02079	1.02122	15.87	28.70
11 novembre	8 m.			17.33	20.55	1.01668	1.01718	1.01791	13.47	24.32
»	12	34° 55'	55° 45'	19.20	20.2	1.01358	1.01382	1.01470	11.17	20.26
»	4 s.			18.38	20.3	1.01422	1.01465	1.01536	11.64	21.11
»	6 s.	en face du phare de Montevideo		19.01	19.65	1.01072	1.01083	1.01162	8.95	16.06
12 novembre		en rade à Montevideo		22.10	19.7	1.00473	1.00420	1.00564	4.67	8.45
14 novembre	8 m.	départ de Montevideo		20.35	19.7	1.00495	1.00480	1.00585	4.82	8.72
»	12			20.16	19.65	1.01031	1.01021	1.01121	8.67	15.73
»	4 s.			19.55	19.6	1.01186	1.01187	1.01278	9.79	17.78
15 novembre	8 m.			13.82	19.3	1.02375	1.02500	1.02473	18.38	33.25
»	12	37° 18'	55° 43'	13.68	18.5	1.02391	1.02498	1.02472	18.37	33.22
»	4 s.			13.61	16.8	1.02437	1.02505	1.02477	18.42	33.31
16 novembre	8 m.			12.90	17.7	1.02430	1.02531	1.02490	18.52	33.48
»	12	38° 20'	56° 03'	13.50	17.65	1.02430	1.02520	1.02490	18.52	33.48
»	4 s.			13.61	15.8	1.02481	1.02528	1.02499	18.57	33.64
17 novembre	8 m.			12.60	15.9	1.02464	1.02531	1.02483	18.46	33.37
»	12	39° 22'	56° 50'	12.84	15.7	1.02465	1.02522	1.02480	18.44	33.34
»	4 s.			12.92	13.6	1.02505	1.02518	1.02497	18.42	33.31
18 novembre	8 m.			11.02	15.1	1.02492	1.02569	1.02493	18.53	33.50
»	12	40° 32'	58° 26'	11.19	15.05	1.02492	1.02563	1.02493	18.53	33.50
»	4 s.			11.61	13.75	1.02509	1.02548	1.02484	18.46	33.37
19 novembre	8 m.			11.96	15.7	1.02462	1.02533	1.02477	18.42	33.31
»	12	41° 36'	59° 19'	11.98	15.65	1.02462	1.02535	1.02475	18.40	33.29
»	4 s.			12.12	14.3	1.02489	1.02531	1.02475	18.40	33.29
20 novembre	8 m.			11.61	15.8	1.02467	1.02550	1.02484	18.46	33.37
»	12	42° 45'	59° 45'	12.28	15.4	1.02470	1.02530	1.02477	18.42	33.34
»	4 s.			12.74	14.6	1.02479	1.02515	1.02471	18.36	33.20
21 novembre	8 m.	à 12h : 43°36'	61° 44'	12.26	16.4	1.02433	1.02515	1.02463	18.35	33.18
22 novembre	8 m.			12.93	16.9	1.02422	1.02504	1.02464	18.33	33.16
»	12	44° 38'	63° 19'	14.16	16.9	1.02422	1.02500	1.02464	18.33	33.16
»	4 s.			13.70	15.7	1.02442	1.02487	1.02455	18.26	33.01
23 novembre	8 m.			13.82	17.7	1.02397	1.02479	1.02457	18.27	33.03
»	12	45° 35'	64° 32'	13.58	17.5	1.02395	1.02478	1.02450	18.22	32.93
»	4 s.			13.58	16.0	1.02422	1.02470	1.02442	18.17	32.83

DATE	HEURE	LATITUDE SUD	LONGITUDE OUEST	TEMPÉRATURE θ	TEMP. DE LA MESURE t	S_4^t	S_4^θ	S_4^{15}	χ	p
24 novembre 1897	12	47° 3′	64° 40′	10.48	14.8	1.02440	1.02519	1.02435	18.12	32.75
»	4 s.			10.51	13.3	1.02473	1.02523	1.02440	18.15	32.80
25 novembre	8 m.			10.87	13.3	1.02476	1.02518	1.02443	18.18	32.87
»	12	48° 40′	65° 36′	11.22	12.9	1.02493	1.02523	1.02452	18.23	32.95
»	4 s.			11.54	11.9	1.02509	1.02515	1.02450	18.22	32.93
26 novembre	8 m.			9.90	12.5	1.02494	1.02539	1.02446	18.20	32.90
»	12			9.37	12.4	1.02492	1.02540	1.02447	18.21	32.92
»	4 s.			8.80	12.4	1.02485	1.02545	1.02437	18.12	32.75
27 novembre	8 m.			8.31	12.2	1.02495	1.02558	1.02441	18.16	32.82
»	12	50° 4′	65° 18′	8.61	11.75	1.02503	1.02551	1.02442	18.17	32.83
»	4 s.			8.67	11.2	1.02508	1.02550	1.02438	18.13	32.77
28 novembre	8 m.			7.73	11.55	1.02503	1.02563	1.02440	18.15	32.80
»	12	50° 47′	67° 27′	8.19	10.95	1.02516	1.02560	1.02442	18.17	32.83
»	4 s.	51° 6′	67° 54′	8.84	10.55	1.02517	1.02545	1.02438	18.13	32.77
29 novembre	8 m.	Cap des Vierges		8.69	12.05	1.02454	1.02508	1.02400	18.86	32.30
»	12			8.40	11.85	1.02415	1.02470	1.02358	17.57	31.77
»	4 s.	Détroit de Magellan		8.41	10.15	1.02454	1.02481	1.02369	17.64	31.90

TABLEAU II

DATE	HEURE	LATITUDE SUD	LONGITUDE OUEST	PROFONDEUR n MÈTRES	TEMPÉRATURE θ	TEMP. DE LA MESURE t	S_4^t	S_4^θ	$_nS_4^\theta$	S_4^{15}	χ	p	Nos DES SONDAGES
15 jan. 1898		55° 51′	63° 19′	surf.	6.28	7.77	1.02631	1.02650		1.02504	18.61	33.62	St. 3
»		»	»	4030	2.1	8.18	1.02677	1.02748	1.04568	1.02558	19.00	34.32	
16 janvier		56° 49′	64° 30′	surf.	7.78	8.20	1.02630	1.02636		1.02510	18.65	33.70	St. 4
»		»	»	3850	1.2	8.06	1.02682	1.02761	1.04499	1.02562	19.02	34.34	
18 janvier		59° 58′	63° 12′	surf.	3.1	6.72	1.02625	1.02667		1.02485	18.48	33.40	St. 5
»		»	»	3785	0.6	6.70	1.02699	1.02764	1.04472	1.02561	19.01	34.33	
19 janvier		61° 05′	63° 04′	surf.	3.21	5.77	1.02646	1.02675		1.02495	18.55	33.53	St. 6
»		»	»	3660	0.6	7.17	1.02693	1.02765	1.04416	1.02562	19.02	34.34	
20 janvier	12	62° 02′	61° 58′	surf.	1.48	8.09	1.02615	1.02690		1.02495	18.55	33.53	St. 7
21 janvier	4 s.	62° 37′	61° 53′	»	1.60	5.35	1.02652	1.02690		1.02495	18.55	33.53	

TABLEAU III

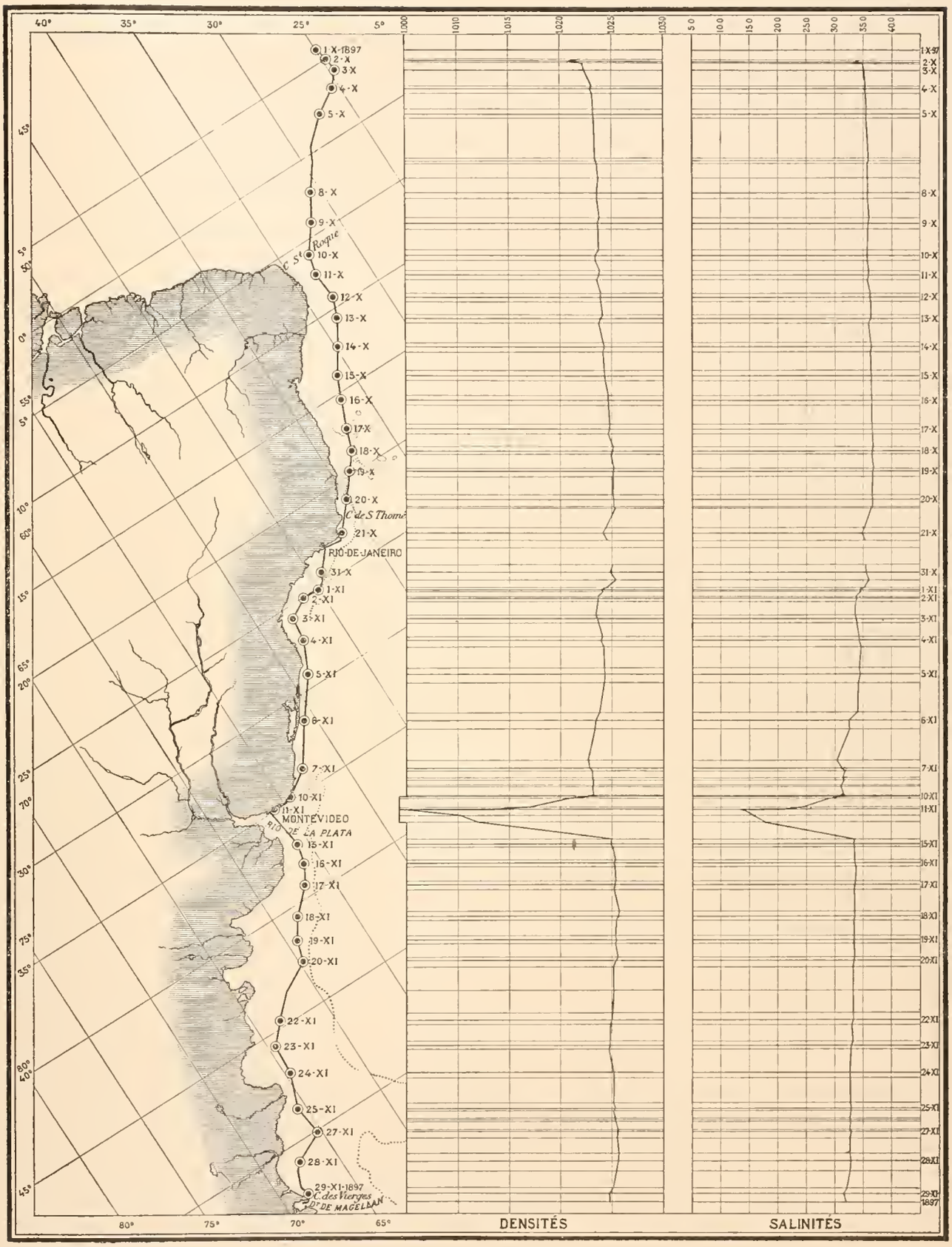
DATE	HEURE	LATITUDE SUD	LONGITUDE OUEST	TEMPÉRATURE θ	TEMP. DE LA MESURE t	S_4^t	S_4^θ	S_4^{15}	χ	p
22 janvier	12	63° 05′	61° 48′	1.18	7.22	1.02647	1.02713	1.02513	18.68	33.77
23 janvier	12	63° 40′	61° 47′	0.7	7.20	1.02647	1.02716	1.02513	18.68	33.77
»	4 s.	63° 47′	61° 45′	1.1	7.09	1.02629	1.02692	1.02495	18.55	33.53
24 janvier	12	64° 05′	61° 24′	1.8	5.24	1.02623	1.02657	1.02467	18.34	33.17
»	4 s.	64° 13′	61° 07′	2.47	4.42	1.02625	1.02653	1.02457	18.27	33.03

TABLEAU IV

DATE	HEURE	LATITUDE SUD	LONGITUDE OUEST	PROFONDEUR n MÈTRES	TEMPÉRATURE θ	TEMP. DE LA MESURE t	S_4^t	S_4^θ	$_nS_4^\theta$	S_4^{15}	χ	p	N^{os} DES SONDAGES
13 fév. 1898	3 ½ s.	65° 16′	64° 33′	surf.	—1.12	5.01	1.02421	1.02462		1.02265	16.89	30.55	
14 février	12	65° 31′	66° 07′	»	—1.61	3.30	1.02574	1.02607		1.02402	17.87	32.30	
15 février	4 s.	66° 56′	68° 58′	»	—1.65	9.05	1.02517	1.02623		1.02415	17.97	32.49	
16 février	4 s.	67° 59′	70° 39′	»	—1.39	3.55	1.02631	1.02668		1.02455	18.26	33.01	St. 10
»	»	»	»	120	—1.2	4.37	1.02681	1.02727	1.02780	1.02512	18.66	33.71	
18 février	10 m.	68° 40′	76° 55′	surf.	—1.68	6.41	1.02515	1.02581		1.02377	17.68	31.99	
19 février		69° 06′	78° 21′	»	—1.6	4.48	1.02533	1.02576		1.02373	17.66	31.93	St. 11
»		»	»	465	1.2	4.50	1.02635	1.02665	1.02872	1.02470	18.37	33.23	
23 février		69° 46′	81° 08′	surf.	—1.79	2.77	1.02587	1.02613		1.02409	17.92	32.40	St. 12
»		»	»	550	1.0	2.0	1.02770	1.02779	1.03024	1.02573	19.11	34.51	
24 février		69° 30′	81° 31′	surf.	—1.72	3.15	1.02579	1.02609		1.02404	17.89	32.34	St. 13
»		»	»	488	1.0	0.12	1.02765	1.02759	1.02976	1.02553	18.97	34.27	
25 février		69° 17′	82° 25′	surf.	—1.52	1.10	1.02538	1.02553		1.02350	17.50	31.65	St. 14
27 février	4 s.	69° 24′	84° 39′	»	—1.45	2.96	1.02556	1.02585		1.02283	17.03	30.81	
»	6 s.	69° 42′	84° 41′	»	—1.40	3.35	1.02546	1.02575		1.02371	17.68	31.99	

TABLEAU V

DATE	LATITUDE SUD	LONGITUDE OUEST	PROFONDEUR n MÈTRES	TEMPÉRATURE θ	TEMP. DE LA MESURE t	S_4^t	S_4^θ	$_nS_4^\theta$	S_4^{t5}	χ	p	Nos DES SONDAGES
1 mars 1898	71° 06'	85° 23'	surf.	—1.70	3.10	1.02648	1.02708		1.02468	18.35	33.18	St. 17
»	»	»	500	0.9	2.32	1.02734	1.02746	1.02968	1.02543	18.88	34.12	
»	71° 17'	85° 26'	surf.	—1.70	0.14	1.02679	1.02690		1.02477	18.42	33.31	St. 18
2 mars	71° 31'	85° 16'	»	—1.73	6.56	1.02621	1.02680		1.02480	18.44	33.35	St. 19
»	»	»	400	0.2	4.8	1.02685	1.02727	1.02905	1.02521	18.73	33.86	
4 mars	71° 22'	84° 55'	surf.	—1.50	2.02	1.02666	1.02683		1.02477	18.42	33.31	St. 20
»	»	»	450	0.75	1.9	1.02679	1.02687	1.02887	1.02490	18.51	33.47	
5 mars	71° 19'	85° 28'	surf.	—1.70	1.07	1.02677	1.02698		1.02479	18.43	33.33	St. 21
»	»	»	300	—1.1	0.18	1.02747	1.02754	1.02887	1.02540	18.87	34.10	
3 mai	70° 37'	89° 41'	surf.	—1.90	14.82	1.02493	1.02704		1.02490	18.51	33.47	
4 mai	70° 33'	89° 22'	3	—1.87	15.47	1.02486	1.02712	1.02713	1.02497	18.56	33.55	St. 26
5 mai	70° 38'	89° 22'	3.5	—1.81	15.94	1.02485	1.02720	1.02721	1.02505	18.62	33.64	St. 27
10 mai	71° 04'	89° 16'	surf.	—1.82	16.77	1.02464	1.02718		1.02503	18.61	33.62	St. 28
»	»	»	250	—1.9	16.30	1.02516	1.02770	1.02832	1.02547	18.92	34.18	
19 mai	71° 16'	87° 49'	surf.	—1.85	12.5	1.02554	1.02721		1.02505	18.61	33.62	
20 mai	»	»	»	—1.88	13.7	1.02475	1.02662		1.02449	18.21	32.92	St. 29
»	»	»	100	—1.9	13.8	1.02528	1.02720	1.02764	1.02505	18.61	33.62	
»	»	»	200	—1.8	13.65	1.02553	1.02743	1.02832	1.02526	18.77	33.90	
»	»	»	300	—1.0	13.8	1.02569	1.02762	1.02895	1.02542	18.88	34.12	
21 mai	71° 15'	87° 27'	surf.	—1.86	13.1	1.02549	1.02730		1.02510	18.65	33.70	
26 mai	71° 13'	87° 44'	5	—2.0	15.9	1.02495	1.02735	1.02736	1.02515	18.68	33.77	St. 30
»	»	»	100	—1.9	15.65	1.02523	1.02763	1.02807	1.02537	18.84	34.05	
»	»	»	200	—1.8	14.6	1.02549	1.02758	1.02847	1.02540	18.87	34.10	
»	»	»	300	—1.3	14.45	1.02556	1.02762	1.02895	1.02545	18.90	34.15	
9 septembre	69° 51'	82° 36'	surf.	—1.9	17.0	1.02491	1.02757		1.02536	18.83	34.03	St. 32
»	»	»	100	—2.0	16.4	1.02493	1.02740	1.02784	1.02525	18.77	33.90	
»	»	»	200	—1.2	17.45	1.02486	1.02760	1.02849	1.02543	18.89	34.13	
»	»	»	300	—0.8	15.4	1.02540	1.02767	1.02900	1.02548	18.93	34.21	
»	»	»	400	0.6	15.3	1.02556	1.02773	1.02951	1.02563	19.03	34.36	
29 septembre	70° 21'	83° 29'	75	—2.0	12.2	1.02578	1.02742	1.02775	1.02525	18.77	33.90	St. 36
»	»	»	200	—1.1	12.05	1.02595	1.02756	1.02845	1.02537	18.84	34.06	
»	»	»	400	0.7	11.85	1.02616	1.02763	1.02941	1.02555	18.98	34.30	
29 décembre	70° 15'	85° 51'	50	—1.9	13.05	1.02557	1.02735	1.02757	1.02517	18.70	33.79	St. 47
»	»	»	300	—0.6	12.5	1.02596	1.02763	1.02896	1.02545	18.90	34.15	
»	»	»	600	0.9	13.55	1.02598	1.02773	1.03040	1.02568	19.08	34.46	
19 février 1899	70° 29'	94° 12'	20	—1.9	14.8	1.02437	1.02645	1.02659	1.02433	18.11	32.73	St. 53
»	»	»	1000	1.2	14.7	1.02572	1.02770	1.03216	1.02565	19.04	34.38	
»	»	»	1500	0.9	15.1	1.02561	1.02771	1.03441	1.02563	19.03	34.36	
»	»	»	1710	0.9	15.05	1.02559	1.02765	1.03530	1.02560	19.01	34.33	



Ch. Lemard. del.

Route suivie par la Belgica dans l'Océan Atlantique et courbes des densités S_4^0 et des salinités p.