

Bruce Hillebrand K2/58/100 (2 pts)

B
218

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

DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ DE L'EAU DE MER

PAR

M. J. THOULET

PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ DE NANCY.

ANVERS

IMPRIMERIE J.-E. BUSCHMANN

REMPART DE LA PORTE DU RHIN

1902

17
17

DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ DE L'EAU DE MER

PAR

J. THOULET

PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ DE NANCY

59920

I

A I

Sorti des presses de J.-E. BUSCHMANN, Anvers,
le 3 avril 1901.

DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ DE L'EAU DE MER

PAR

J. THOULET (1)

PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ DE NANCY

Chargé par la Commission de la BELGICA d'exécuter les corrections et calculs relatifs aux densités d'eaux de mer mesurées par M. H. Arctowski pendant le cours de l'expédition, j'ai cherché une méthode d'opération plus simple et en même temps plus exacte que les interminables calculs indiqués généralement. Après de nombreux essais, je me suis décidé à employer un procédé graphique basé sur une série d'expériences. Le présent travail se propose de décrire ces expériences et, à ce propos, d'examiner en détail un certain nombre de questions se rapportant à la détermination des densités des eaux de mer.

Le poids spécifique d'un liquide quelconque à une certaine température t , est le poids de l'unité de volume de ce liquide, à la température t , rapporté au poids de l'unité de volume d'un liquide type à une température t' . C'est ce qu'on exprime par le symbole S_t^t .

Nous allons examiner successivement, à propos du poids spécifique de l'eau de mer :

- 1° Quel est le liquide à adopter comme type ;
- 2° Quelles valeurs doivent être attribuées à t et à t' ;
- 3° Quel est le meilleur mode opératoire pour déterminer le poids spécifique de l'eau de mer et quel instrument répond le mieux au but que l'on se propose en cherchant à connaître cette caractéristique.

I. Tout d'abord — et la question ne saurait faire l'objet d'aucun doute aujourd'hui que le système métrique est adopté par toutes les nations pour les recherches scientifiques — l'unité de volume doit être évidemment le litre qui, pour l'eau distillée, pèse exactement 1000 grammes à la température 4° du maximum de densité de celle-ci. Pour le même motif, le liquide type sera cette même eau distillée à la température de 4° centigrades. Dans ces conditions, le symbole général S_t^t deviendra S_t^4 et représentera, non plus le *poids spécifique* mais la *densité* de l'eau de mer à la température t .

II. La température de t' étant ainsi fixée à 4° , quelle température faut-il choisir pour t ? Convient-il d'adopter une certaine température normale à laquelle on ramènera soit par un calcul soit par une construction graphique toutes les densités mesurées à la mer, ou bien prendra-t-on au contraire, une température différente dans chaque cas ?

(1) Je tiens dès le début de ce travail, à mentionner le concours actif et dévoué que m'a prêté M. Chevallier, préparateur de minéralogie à la Faculté des Sciences de Nancy et dont je le remercie vivement.

Les avis sont partagés. Quelques auteurs ont admis le principe d'une même température normale pour t , d'autres l'ont admis pour t et t' tout en différant d'ailleurs d'opinion sur la valeur même de cette ou de ces températures normales. (1) Avant de formuler une opinion, cherchons à établir nettement le but que l'on se propose en mesurant le poids spécifique ou la densité d'un échantillon d'eau de mer pris en un point de l'océan, à la surface ou dans la profondeur.

Ce but n'est évidemment pas d'obtenir un simple chiffre, mais de connaître les conséquences de la valeur représentée par ce chiffre dans l'économie générale de la masse océanique. Or la conséquence d'une variation de densité qui n'est autre qu'une variation de poids, en des lieux différents, est une variation d'équilibre et par suite un mouvement c'est-à-dire une circulation. C'est pourquoi il convient d'adopter pour caractériser un échantillon d'eau en une localité quelconque de l'océan et établir l'effet dynamique auquel il donne lieu concurremment avec d'autres échantillons d'eau pris en des endroits différents et caractérisés de la même façon, la propriété même qui produit l'état dynamique actuel de ces divers échantillons, leurs poids par unité de volume ou leurs densités respectives au moment où se manifeste l'effet qui existe, que l'on ignore et que l'on désire connaître. Or ce poids dépend de la température que chacun d'eux possède actuellement et qu'on nomme la température *in situ*, au moment précis où l'on prend la mesure. A une autre température, les échantillons ne seraient pas ce qu'ils sont et, par conséquent, ils n'agiraient pas comme ils agissent. Toute réduction à une température normale, quelle qu'elle soit d'ailleurs, aurait pour conséquence immédiate d'effacer artificiellement ou tout au moins de transformer et par suite de fausser la différence même que l'on recherche et dont le phénomène mécanique est la manifestation.

On est ainsi amené à conclure qu'il faut mesurer la densité S_4^t ou, en d'autres termes, le poids de 1 litre ou 1 décimètre cube de l'échantillon d'eau considérée, à la température *in situ* t qu'il possède au moment même où il agit, rapporté au poids de 1 litre ou 1 décimètre cube d'eau distillée à la température immuable de 4° centigrades au-dessus de zéro, poids de 1 kilogramme d'après les principes fondamentaux du système métrique.

Si l'échantillon provient des profondeurs, la seule correction à effectuer sera celle qui résulte de la compressibilité de l'eau de mer. On applique la formule (2)

$${}_n S_4^t = S_4^t (1 + 0.0000046614) n$$

dans laquelle n représente la profondeur en mètres. Telle est en effet, à la distance de n mètres au dessous de la surface, la véritable densité de l'eau de mer comprimée par la charge des couches sus-jacentes, c'est-à-dire son véritable poids en grammes par unité de volume, poids qui, par suite du poids semblable ou dissemblable, mais évalué de la même façon, d'autres échantillons voisins ou éloignés, est la cause des phénomènes dynamiques s'effectuant dans la masse liquide.

Comme preuve de l'exactitude du principe énoncé, je citerai l'étude à laquelle je me suis livré (3) à propos des cartes par isopycnes représentant des sections de l'Atlantique; elles ont été tracées par M. J. Y. Buchanan à l'aide des données expérimentales recueillies par lui pendant la

(1) Voy. J. Thoulet. *Océanographie (Statique)* p. 325.

(2) Thoulet *l. c.* p. 360.

(3) J. Thoulet, C. R. Ac. Sc. T. cx p. 324, 1890 et *Revue générale des sciences pures et appliquées*, 30 août 1890, T. I. p. 500.

campagne du *Challenger* (1). Si, comme l'éminent physicien semble avoir eu tort de le faire l'on ramène les poids spécifiques observés à une même température normale (15,56° C) et qu'on ne les corrige pas lorsque cela est nécessaire, c'est-à-dire lorsque l'échantillon vient des profondeurs, de l'effet de la compression exercée par les couches sus-jacentes, on obtient des courbes limitant des zones d'égal poids spécifique apparent distribuées de la façon la plus irrégulière, où des eaux lourdes ramassées en espèces de nodules, flottent souvent au-dessus de masses d'eaux plus légères. On ne saurait à aucun titre admettre une pareille conclusion qui est une absurdité et qui, à elle seule, suffirait pour condamner le système. Au contraire, en procédant ainsi que je l'ai indiqué, à l'exception d'une couche superficielle peu épaisse soumise à toutes les variations climatiques de l'atmosphère qui lui est immédiatement adjacente, on obtient au sein de l'océan, des nappes sensiblement horizontales se succédant jusqu'au fond, selon leur ordre de densité croissante, conclusion conforme aux principes les plus élémentaires de l'hydrostatique.

III. Cherchons maintenant le meilleur mode opératoire pour déterminer le poids spécifique de l'eau de mer.

Si l'opération devait s'effectuer non à bord d'un bâtiment mais dans un laboratoire, on recueillerait à la mer l'échantillon d'eau en ayant soin de fixer un thermomètre près de la bouteille destinée à la récolte. On remonterait ensemble la bouteille et le thermomètre, on noterait la température t et immédiatement, sans laisser à l'eau le temps de s'évaporer et par conséquent de modifier sa constitution, on la verserait dans un flacon bien bouché que l'on confierait, à la fin de la campagne, au physicien chargé à terre, de mesurer la densité.

Celui-ci emploierait la méthode ordinaire du pycnomètre. Il remplirait exactement l'instrument avec l'eau ramenée artificiellement à la température t qu'elle possédait *in situ*; il en prendrait le poids et comme il aurait mesuré par avance le poids de ce même pycnomètre rempli d'eau distillée à 4°, il diviserait la première valeur par la seconde et aurait ainsi la densité de l'eau. Il aurait dû toutefois exécuter par le calcul les corrections de ses pesées (corrections de pression barométrique, au vide, etc.) et celles relatives au changement de volume du pycnomètre lui-même qui, à la température t n'a point le même volume qu'à 4°.

Ce procédé serait aussi exact que peut l'être une mesure matérielle, c'est-à-dire soumise à des corrections approximatives basées elles-mêmes sur des mesures expérimentales entachées d'erreurs inévitables malgré leur rigueur apparente. En réalité on n'aurait qu'une approximation de la vraie valeur, aussi proche que possible cependant, de la vérité absolue.

La méthode est inapplicable à la mer. Le nombre et le poids des flacons serait trop grand pour la place restreinte dont on dispose; on courrait toutes les mauvaises chances de casse, de changement dans la constitution de l'eau par suite d'un bouchage défectueux, de l'action sur le verre des flacons, de la perte de gaz au moment de la mise en bouteille et plus tard de la mesure dans le laboratoire, enfin de la réaction mutuelle des substances inorganiques et organiques contenues dans l'eau de mer elle-même pendant la durée prolongée de la conservation des échantillons.

On ne peut pas davantage exécuter cette mesure sur un navire car le roulis s'oppose à toute pesée. On est donc obligé d'avoir recours à un autre procédé.

Un échantillon d'eau de mer est caractérisé à l'instant où on le récolte par sa chloruration

(1) J. Y Buchanan. *Report on the specific gravity of samples of Ocean water*. Report on the scient. results of the Voy. of H. M. S. Challenger. Physics and Chemistry I. Diag. I. III.

ou par la quantité des sels qu'il contient par unité de volume, par sa densité et par sa température. Ces variables constituent dans leur ensemble l'individualité de l'eau de mer au moment considéré. Elles possèdent une influence mutuelle les unes sur les autres; ainsi deux échantillons d'eaux de même salinité n'ont pas la même densité si la température change: deux échantillons à la même température n'ont pas la même densité si leur salinité est différente; enfin deux échantillons à la même température n'auront pas la même densité si les proportions de sels tenus en dissolution sont différentes.

Ces variables chloruration ou salinité, densité et température réagissant ainsi les unes sur les autres, on a essayé d'établir empiriquement, c'est-à-dire à la suite d'expériences et par conséquent avec des erreurs inévitables, la relation qui les relie et qui permet, connaissant deux d'entre elles, d'en déduire la troisième. Cette relation est représentée par la formule de Tornøe

$$Q = (S_{17.5}^{17.5} - 1) 1319$$

où Q est le poids total des sels, $S_{17.5}^{17.5}$ le poids du litre d'eau de mer ramené à la température de 17.5° C par rapport au poids du litre d'eau distillée à la température de 17.5° C. Du reste, tandis que Tornøe attribue la valeur 1319 au coefficient constant, Krummel lui donne la valeur 1310, preuve de la non-précision absolue de cette formule.

Si deux de ces trois variables permettent de déterminer la troisième, cherchons quelles sont les deux qu'il sera préférable de choisir pour une mesure à exécuter à bord.

La température s'évalue au thermomètre avec tant de facilité et tant de précision, qu'il s'agisse d'eaux de surface ou d'eaux de profondeur que tous les océanographes sont unanimes à prendre d'abord cette variable. Restent donc la salinité et la densité.

M. Bouquet de la Grye⁽¹⁾ mesure directement la salinité à l'aide d'un dosage volumétrique susceptible de s'effectuer à la mer. Il prépare une solution normale d'azotate d'argent et s'en sert pour précipiter les chlorures qu'il considère comme étant entièrement constitués par du chlorure de sodium. Pour obtenir des solutions titrées, il emporte dans des flacons des quantités d'azotate d'argent pesées à terre et qu'il se borne à dissoudre dans l'eau distillée à bord.

On objectera à cette méthode :

1. L'embaras d'emporter des quantités d'azotate pesées à l'avance.
2. La difficulté d'exécuter sur un bâtiment, avec une précision suffisante, un dosage, même volumétrique.
3. L'erreur provenant de ce que les chlorures seuls étant précipités par l'azotate d'argent et ceux-ci étant à tort supposés n'être que du chlorure de sodium, on néglige non seulement les proportions susceptibles de varier de chlorure de sodium et de chlorure de magnésium mais encore tous les autres corps très nombreux dissous dans l'échantillon.

Ces inconvénients ont conduit les océanographes à rejeter cette méthode à la fois embarrassante, compliquée et inexacte.

On a essayé d'établir une relation empirique entre la salure, la densité, la température d'une eau de mer et son indice de réfraction. Mais cette méthode due à l'ingénieur américain Hilgard⁽²⁾, se heurte à de tels inconvénients qu'elle mérite, elle aussi, d'être rejetée. Inexactitude

(1) Bouquet de la Grye. *Recherches sur la chloruration de l'eau de mer*. Annales de Chimie et de Physique. S. T. XXV, p. 30, 1882.

(2) Ch. D. Sigsbee. *Deep sea Soundings and Dredging*. U. S. Coast and geodetic Survey p. 101, 1880.

dans la relation empirique adoptée entre l'indice et les autres variables ; influence portée au maximum et ne pouvant manquer de produire des erreurs considérables dans une expérience s'opérant sur une très faible quantité de matière, d'un changement de température et même d'une évaporation, conséquences inévitables d'une manipulation compliquée ; instrument coûteux et d'un usage peu commode à la mer. La précision d'une telle mesure optique n'est qu'apparente. Bien entendu rien n'empêche de faire des corrections par le calcul ; cependant comme les formules de correction sont elles-mêmes entachées d'erreurs, la précision réelle n'en recueille aucun avantage.

Reste la détermination du poids spécifique soit au moyen de corps flottants complètement immergés, soit au moyen d'aréomètres.

Les flotteurs immergés de M. Pisati (1) ne sont pas pratiques. On leur reproche leur manque de précision à moins d'employer un nombre considérable de flotteurs étalons, les modifications extrêmes éprouvées par la température du liquide et, comme ces modifications sont dues en partie à l'immersion même des flotteurs, obligation de déterminer préalablement le coefficient de dilatation de chacun d'eux puisque chacun d'eux possède une densité différente, manipulation compliquée et lente par suite des tâtonnements successifs obligeant à retirer un flotteur trop lourd pour le remplacer par un ou plusieurs autres plus légers avant de parvenir à trouver le plus convenable, sensibilité exagérée d'une méthode par flottaison totale exacte, c'est-à-dire par immobilité, sans montée ni descente au sein du liquide. Là encore on devra effectuer des corrections de corrections au grand détriment de la précision réelle de l'opération.

En définitive on est amené à se servir d'aréomètres à immersion partielle. Je passe sur la description et l'étalonnage de ces instruments qui sont indiqués dans les traités d'océanographie. J'ai moi-même exposé en détail la manière dont j'étalonne les aréomètres à poids variable et à volume variable. (2)

Il existe deux sortes d'aréomètres, les premiers à volume variable et à poids constant ont été employés par M. Tornøe pendant l'expédition du *Vöringen* et par les savants allemands ; les seconds à poids variable et à volume variable, ont servi à M. J. Y. Buchanan à bord du *Challenger*. Quels sont les avantages et les désavantages de ces deux genres d'instruments ?

Les océanographes allemands, (3) selon la précision avec laquelle ils veulent exécuter la mesure, prennent ou bien une série de dix instruments dits aréomètres normaux, à volume variable et à poids constant, donnant à eux dix l'intervalle 1.000—1.0305, ou bien une série de cinq instruments donnant l'intervalle 1.000—1.031, ou bien enfin un seul aréomètre donnant l'intervalle 1.022—1.029. Comme nous ne nous occupons ici que de mesures précises, nous ne considérerons que la grande série à laquelle on objectera le nombre considérable d'instruments volumineux et fragiles. Le même reproche pourra encore s'adresser aux cinq aréomètres de la moyenne série.

Ces instruments quels qu'ils soient sont gradués de façon à indiquer le poids spécifique $S_{17.5}^{17.5}$ à la condition que l'on exécute la mesure avec de l'eau à 17.5° C. Comme en pratique ce cas

(1) N. Reggiani, *La densità dell'acqua del Mediterraneo e gli areometri a totale immersione (sistema Pisati)*. Rendiconti della R. Accademia dei Lincei, vol. VI, sem. 1. fasc. 3. febbraio 1890.

(2) J. Thoulet, *Note sur l'aréomètre et le thermomètre destinés aux observations océanographiques*. Bulletin de la Société de Géographie de Paris. T. XII, pp. 362-376, 1891.

(3) Voir à ce sujet les nombreux travaux du Prof. Krümmel et particulièrement *Ueber die Bestimmung des spezifischen Gewichts des Seewassers an Bord*. Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie. Heft. X, October 1890.

est tout-à-fait exceptionnel et que, presque toujours, on opère à une certaine température T variable selon les circonstances, il est indispensable de passer à l'aide de corrections, de la valeur trouvée $S_{17.5}^T$ mesurée avec un instrument qui ne fournit une indication vraie qu'à 17.5° , à la valeur réelle de $S_{17.5}^{17.5}$.

Je laisse de côté le choix déjà critiqué précédemment de la température 17.5°C , à la fois température type et température normale, adoptée par cette raison assez peu philosophique que $17.5^\circ \text{C} = 63.5^\circ \text{F} = 14^\circ \text{R}$, nombres à peu près ronds de degrés dans les trois graduations thermométriques centigrade, Fahrenheit et Réaumur. Je me bornerai à exposer comment, toutes réserves étant faites sur les principes fondamentaux, la mesure elle-même est exécutée.

Les océanographes allemands ayant obtenu leur valeur brute de poids spécifique à T à l'aide de leur aréomètre gradué à 17.5° , effectuent d'abord une première correction afin de passer de T à 17.5 . La correction s'appuie forcément sur le coefficient de dilatation de l'échantillon lequel dépend de sa salinité et à son tour, sa salinité ne peut être évaluée qu'en se basant sur le poids spécifique encore inconnu puisqu'on est justement en train de le mesurer.

Ekman⁽¹⁾ a dressé expérimentalement, c'est-à-dire avec toutes les causes d'erreurs inhérentes à cette méthode, pour 8 types différents de salinité (eau distillée, 5.24, 10.48, 15.72, 20.91, 25.87, 30.61, 35.01 de sel pour 1000) la réduction à faire subir à la mesure faite à T donnant $S_{17.5}^T$ afin de passer à $S_{17.5}^{17.5}$.

Pour estimer approximativement à quelle catégorie de salure appartient l'échantillon et par conséquent quelle série de correction doit lui être appliquée, on opère de la manière suivante.

Supposons, pour prendre un exemple, qu'on ait lu directement sur l'aréomètre $S_{17.5}^{21.3}$ c'est-à-dire 1.0263 à $21^\circ.3$; un schéma dressé d'après les tables de Karsten permet de passer graphiquement à $S_{17.5}^{17.5} = 1.0272$. On calcule ensuite pour ce poids spécifique, la salinité à l'aide de la formule empirique

$$p = (S_{17.5}^{17.5} - 1) 1310 = 35.63 \text{ de sel pour } 1000.$$

L'aréomètre de Buchanan, ⁽²⁾ à poids et à volume variables, paraît préférable car il offre l'avantage précieux de n'exiger qu'un seul instrument pour des déterminations comprises entre 0.9939 et 1.1214 environ. Il indique non pas une densité mais un volume et, les poids en surcharge étant connus avec une grande précision, tout étant rapporté à l'eau distillée à sa densité maximum, une simple division d'après la formule $\frac{P}{V}$, précédée d'une correction relative à la dilatation du verre à la température θ de l'observation, calculée une fois pour toutes et donnée dans une table jointe à chaque instrument, fournit la densité S_4^θ . L'échelle est graduée de millimètre en millimètre et comme les divisions sont marquées par des couleurs et des traits différents se répétant de 10 en 10, la lecture se fait aisément avec une approximation inférieure à une demi-division. Un autre avantage est celui d'un seul coefficient de dilatation pour un instrument unique tandis que ce coefficient peut être différent pour les divers instruments d'une série.

Nansen, ⁽³⁾ dans un travail récent a énuméré et étudié les inconvénients des aréomètres à immersion incomplète quels qu'ils soient, norvégiens, allemands ou anglais. Il leur reproche des

(1) Ekman, kgl. Vetenskaps Akademiens Handlingar IX Stockholm 1870.

(2) Thoulet, *Océanographie statique*, p. 330.

(3) Nansen. X, *On hydrometers and the surface tension of liquids. The Norwegian north-polar expedition 1893-1896. Scientific Results* edited by Fridtjof Nansen.

indications troublées par l'influence de différences dans la température des couches d'eau au milieu desquelles ils flottent, par l'électricité, par l'humidité recouvrant la surface de l'instrument, par la façon de le sécher, par la matière grasse pouvant en souiller la surface, par la différence d'indication obtenue lorsqu'un même échantillon d'eau est examiné immédiatement après sa récolte ou seulement après un séjour d'une certaine durée dans un laboratoire chaud, par les poussières flottantes, par le mouvement que l'on communiquerait à l'éprouvette en verre contenant l'eau, par l'immersion dans cette éprouvette d'un thermomètre ou d'un agitateur en verre, enfin par la tension superficielle de l'eau de mer essayée. Pour toutes ces causes, l'auteur préconise l'emploi d'aréomètres à immersion totale dont le poids serait susceptible de varier grâce à l'addition de petits anneaux de platine enfilés sur une pointe portée par l'instrument.

Il semble que Nansen exagère quelque peu toutes ces causes d'erreurs et ne tienne pas un compte suffisant des difficultés et autres chances défavorables qui résulteraient en pratique de l'emploi d'une série forcément assez considérable d'instruments à immersion totale, des tâtonnements conséquence de l'addition successive de poids surcharges, de la difficulté de déterminer à bord d'un navire une flottaison parfaite par immobilisation complète du flotteur, des chutes probables au fond de l'éprouvette de l'instrument trop surchargé et de la nécessité de l'alléger pour continuer la mesure, opération présentant certainement beaucoup de chances de trouble et par conséquent d'erreurs. En outre, l'opération devant durer un temps relativement long, la température du liquide risque de varier surtout dans le haut de l'éprouvette, ce qui est une cause d'erreur d'une extrême importance. Une partie des erreurs mentionnées dont plusieurs sont communes aussi bien aux aréomètres à immersion complète qu'à ceux à immersion incomplète, sont non seulement très faibles mais les mêmes pour toutes les observations. Or il ne faut pas oublier que les mesures de densité ont pour but principal d'apprécier des différences entre des eaux de localités diverses à comparer entre elles et que si toutes les valeurs trouvées sont affectées de la même façon et, en définitive, d'une façon qu'il est facile de rendre minime, la comparaison n'en souffrira guère. D'autres erreurs sont aisées à éviter, en particulier les plus considérables. Celle qui provient de l'immersion d'un thermomètre dans l'éprouvette sera supprimée si l'on se sert, en guise d'agitateur, du thermomètre même donnant la température et si l'on a soin de le retirer avant la lecture. C'est du reste ainsi que l'on agit toujours à moins qu'on ne cherche à multiplier les erreurs comme à plaisir. Après usage, on essuiera avec un linge fin et propre. Enfin, comme la mesure est très rapide, on s'astreindra sauf circonstances tout à fait exceptionnelles, à l'exécuter aussi tôt que possible après la récolte de l'échantillon. Pour ma part, je me suis livré à cette opération quatre fois par jour, pendant six mois, à bord d'un navire, souvent par très mauvais temps, dans l'Atlantique nord, autour de Terre-Neuve et plus tard dans le Golfe de Gascogne et je n'ai eu, sous tous les rapports, qu'à me louer de l'instrument.

La précision de la lecture se borne à une demi-division, c'est-à-dire un demi millimètre. Supposons, pour prendre un exemple, qu'à 12 degrés de température, on ait fait une lecture de 69 ou de 69,5 divisions avec une surcharge de 192.7935 g, les densités obtenues seraient respectivement de 1.025137 et 1.025161, ou en supprimant la sixième décimale 1.02514 et 1.02516. L'erreur serait donc inférieure à deux unités du cinquième ordre. Il serait à souhaiter que l'on eût, avec cette approximation, des observations relatives à la surface entière et à toutes les profondeurs de l'océan. Le problème de la circulation des eaux et tous les problèmes qui en dépendent, que l'on se propose en mesurant des densités, seraient bien près d'être résolus même dans leurs plus petits détails.

L'aréomètre de Buchanan conserve donc tous ses avantages : il donne rapidement et facilement le poids du litre d'eau de mer à moins de 5 centigrammes près.

Il n'est pas toujours possible d'exécuter la mesure à la température de l'eau *in situ* et nous avons insisté sur l'absolue nécessité d'obtenir cette valeur. Une eau récoltée à une certaine profondeur est le plus souvent à une température inférieure à celle de la cabine où s'exécute la mesure et le même fait se présente, dans les contrées froides pour les eaux de surface. Aussi convient-il de ramener la densité S_4^t prise à une température quelconque t , à ce qu'elle serait S_4^θ à une température *in situ* θ différente.

On peut procéder par le calcul en appliquant la formule (*)

$$S_4^\theta = S_4^t \times \frac{v_t}{v_o} \times \frac{v_o}{v_\theta}$$

dans laquelle v_o , v_t et v_θ représentent respectivement le poids de l'unité de volume de l'eau de mer aux diverses températures o , t et θ .

M. Tornøe (2) a dressé un tableau des valeurs de $\frac{v_t}{v_o}$ et par conséquent de $\frac{v_o}{v_t}$, en prenant l'inverse, pour une eau ayant un poids spécifique de 1.027 environ. Mais il importe de remarquer que les valeurs seraient différentes pour une eau possédant un autre poids spécifique et qu'il en résulte forcément des inexactitudes dans le calcul. Une méthode graphique est plus avantageuse au point de vue de la promptitude et de la simplicité et, ce qui est à noter tout spécialement, la correction y possède une précision identique à celle de l'opération même à laquelle elle s'applique.

En définitive, la difficulté du passage d'une température à une autre consiste en ce que l'opération exige la connaissance préalable du coefficient de dilatation de l'échantillon. Or ce coefficient, variable avec la salure et par conséquent avec la densité qui fait l'objet de la mesure est inconnu. On se trouve donc en présence d'une sorte de cercle vicieux.

Pour en sortir, on remarquera qu'une eau ayant une densité S_4^θ à θ_o , possède un coefficient de dilatation très peu différent des coefficients d'échantillons qui auraient à peu près la même densité qu'elle à la même température θ . Cette légère différence est susceptible d'être rapidement et assez exactement appréciée à l'œil si l'on a d'avance établi expérimentalement, sur des échantillons connus, un schéma des variations de ces coefficients, à une échelle suffisamment grande et en procédant dans des conditions identiques à celles suivant lesquelles s'effectuent les mesures de densité. Voici comment j'ai opéré :

Une éprouvette en verre contenant un échantillon d'eau de mer et où était immergé un aréomètre de Buchanan grand modèle, convenablement lesté, en tout conforme à ceux qui servent dans les observations à la mer (3), était installé au milieu d'un réservoir profond, en zinc, cubant une soixantaine de litres. Les opérations ont eu lieu en deux séries ; la première, pour les températures hautes, à la fin de juillet 1900, mois pendant lequel la température de l'air s'est maintenue non seulement très élevée mais encore d'une extrême fixité. Dans mon laboratoire, elle oscillait régulièrement, pendant les 24 heures, entre 29 et 31 degrés.

On remplissait le récipient d'eau et de glace ; on agitait pour établir l'équilibre de

(1) Thoulet. *Océanographie statique*, p. 326.

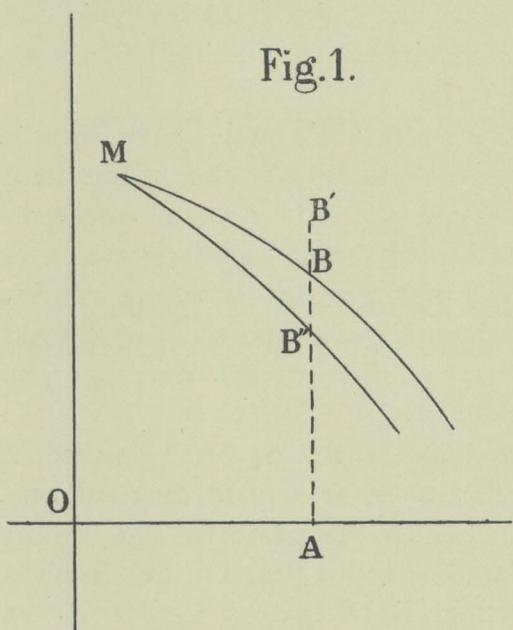
(2) H. Tornøe, *Chemistry*. The Norwegian North-Atlantic Expedition 1876-1878 et Thoulet *l. c.* p. 303.

(3) Thoulet *l. c.* p. 330.

température à l'extérieur et à l'intérieur de l'éprouvette, avec un thermomètre gradué en dixièmes de degré; on retirait le thermomètre et on notait le point d'affleurement de l'aréomètre. On ajoutait alors une certaine quantité d'eau bouillante dans le récipient, on établissait un nouvel état d'équilibre de température mesuré comme la première fois avec le thermomètre et on observait le nouvel affleurement. On répétait l'opération une quinzaine de fois en se plaçant, je le répète à dessein, dans des conditions identiques à celles d'une mesure aréométrique, à bord, avec un instrument du même genre.

Les valeurs trouvées étaient portées en ordonnées sur un papier quadrillé en millimètres où 2 millimètres figuraient une division de l'aréomètre, limite de lecture certaine. Les températures étaient indiquées en abscisses, chaque millimètre représentant un dixième de degré centigrade. Si par suite de la dilatation faisant émerger l'instrument jusqu'au bas de sa tige, il devenait nécessaire d'augmenter les poids supplémentaires, on produisait ainsi l'immersion de l'aréomètre jusqu'au haut de sa tige et l'on raboutait, au pointage, la nouvelle courbe avec la précédente au moyen d'une ou deux mesures communes obtenues au même instant dans le liquide, l'une au bas de la tige avec la surcharge légère, l'autre au haut de cette tige avec la surcharge lourde. La courbe était ensuite tracée graphiquement et s'il y avait lieu, très légèrement corrigée à l'œil par un balancement des points obtenus. L'opération durait environ sept heures pour 18 ou 20 points.

Il est évident que pendant ce temps, il se produisait une évaporation dont il fallait tenir compte. Pour cela, l'appareil était abandonné à lui-même pendant 24 ou 48 heures, la température ambiante restant sensiblement constante. Après ce délai, on mesurait, toujours avec les mêmes précautions, la température de l'échantillon et le point d'affleurement. Sur l'abscisse OA (fig. 1), correspondant à la température trouvée, on prenait une ordonnée AB' égale au



nombre de divisions et fractions de division de la tige de l'aréomètre correspondant à l'affleurement qui aurait dû avoir lieu après le temps écoulé depuis le commencement de l'expérience jusqu'au moment où l'eau de mer avait possédé pour la première fois la température OA. Le nombre AB' était aisément obtenu en réduisant l'écart mesuré après 24 heures proportionnellement à la durée de l'expérience jusqu'au moment de la température OA. On corrigait alors conformément à cette indication et d'une manière régulière, en sens inverse, la courbe MB qu'on transformait en MB''. Si par exemple, il y avait eu après 24 heures une différence de 2.5 divisions de l'aréomètre pour une température du liquide de 26.2, comme cette température avait été obtenue pour la première fois 6 heures soit $24 : 4$ heures après le commencement de l'expérience, la correction d'évaporation était $2.5 : 4 = 0.6$ division de l'aréomètre. Au

moment où, pour la première fois on avait mesuré le nombre de divisions AB, il s'était produit dans le liquide, par suite de l'évaporation, une concentration qui avait rendu la liqueur plus pesante et fait émerger la tige de l'aréomètre d'un nombre de divisions BB' précisément égal à BB'', de sorte que AB'' représente le véritable nombre de divisions de l'affleurement qui aurait dû avoir lieu si aucune concentration par évaporation ne s'était effectuée.

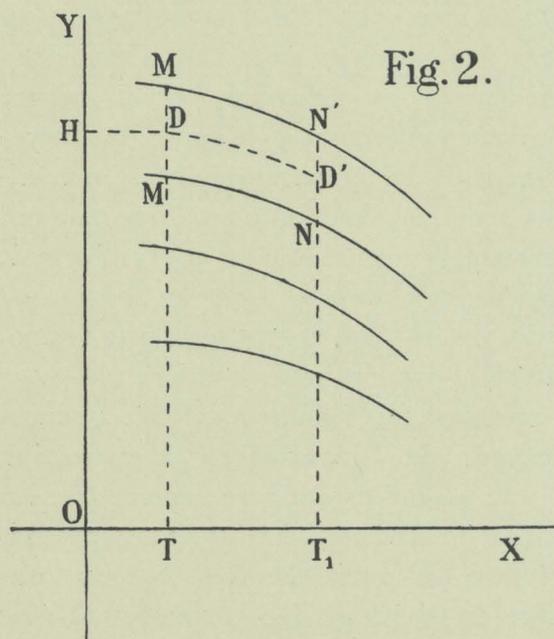
Pour obtenir plus de régularité dans la suite des opérations, on pointait ensuite graphiquement sur la courbe les cotes d'affleurement de 2 en 2 degrés — ces valeurs sont inscrites dans les tableaux sous le nom d'affleurement corrigé et on s'en servait pour calculer les densités par la méthode ordinaire en les corrigeant, bien entendu, de la température. On était en possession de toutes les données nécessaires au calcul. Ces densités permettaient de construire une nouvelle courbe rapportée à deux axes rectangulaires l'un des températures, l'autre des densités et à une très grande échelle puisque 2 millimètres y représentaient une unité de la quatrième décimale.

Ces diverses valeurs sont indiquées sur des tableaux se rapportant à des échantillons d'eaux de mer récoltés au large de Fécamp et dans les parages de l'Islande tantôt employés naturels, tantôt étendus d'eau distillée et tantôt concentrés par évaporation. La courbe relative à l'eau distillée a été tracée d'après les indications portées dans les traités de physique.

Etant donnée la saison chaude, on n'a pu obtenir des températures inférieures à 6° environ. Afin d'avoir des valeurs expérimentales plus voisines de zéro, les expériences ont été renouvelées en hiver en refroidissant de l'eau de mer avec un mélange de glace et de sel marin, sur d'autres échantillons et les résultats ont été représentés par les procédés déjà décrits.

Les courbes expérimentales ont servi de canevas pour un tracé de courbes régulièrement espacées et plus commodes pour la pratique. Toujours dans un but de régularité, on s'est astreint à les faire toutes passer par les points de rencontre de l'ordonnée de 10° avec la série des densités différant entre elles de 0.0025. On se servait, pour obtenir les points de la nouvelle courbe, des deux courbes expérimentales les plus voisines dont l'écartement était mesuré et corrigé proportionnellement à leur variation.

Mentionnons en passant que sur ce graphique, il est facile de tracer la courbe donnant la température du maximum de densité pour toutes les eaux de mer et d'évaluer cette densité maximum elle-même. La courbe paraît être une ligne droite, du moins dans les limites de précision de l'opération et en remarquant qu'au voisinage du maximum de densité, les courbes sont très aplaties ce qui introduit une indécision graphique.



ordonnée représente la densité S_4^θ cherchée. En réalité, on se borne, sur l'ordonnée OT corres-

En considérant une horizontale quelconque et les courbes successives coupées par elle, on aurait la ligne d'équilibre d'une eau à la densité correspondant à l'horizontale pour toutes les températures, en d'autres termes le graphique de l'équilibre continu d'une eau s'alourdissant par évaporation et concentration consécutive et en même temps devenant plus légère par échauffement.

Le passage d'une densité S_4^t à une densité S_4^θ n'offre aucune difficulté en se servant du graphique.

Sur l'axe OX des températures (fig. 2), on prend $OT = t$. Parallèlement à l'axe OY des densités, on élève une ordonnée T, D' égale à S_4^t . Par D' on trace en se guidant sur les courbes les plus voisines, en dessous et en dessus, MN et $M'N'$, la courbe $D'D$ jusqu'en D point de rencontre de l'ordonnée ayant pour abscisse $OT = \theta$. La longueur $TD = OH$ de cette

pendant à ϵ , à partager MM' au point D dans le rapport de ND' à $N'D'$ et il n'est pas nécessaire de tracer la courbe.

La mesure elle-même doit être effectuée de la manière suivante. On verse un peu de l'eau de mer dans une éprouvette en verre haute de 37 cm et de 6.5 cm de diamètre environ, on rince et on rejette l'eau. Si l'on est en mer, on suspend l'éprouvette à un croc fixé au plafond de la chambre ou bien encore on la munit d'une suspension à la Cardan. L'instrument obéira au roulis et oscillera, mais même lorsque l'aréomètre y sera plongé, son point d'affleurement restera immobile après qu'il se sera établi. On remplit l'éprouvette d'eau de mer, on introduit l'aréomètre en le touchant le moins possible avec les doigts récemment lavés au savon, on le soulève légèrement, on agite avec le thermomètre, on note la température, on retire le thermomètre, on abandonne l'aréomètre à lui-même, on y ajoute le capuchon et la surcharge nécessaire, on le laisse s'enfoncer très peu au dessus du point définitif d'affleurement, on lit ce point d'affleurement en regardant la tige à travers le verre, un peu au-dessous du niveau du liquide. L'aréomètre et le thermomètre sont essuyés avec un linge fin propre et rangés dans la boîte; l'éprouvette est vidée, rincée à l'eau douce et laissée se sécher à l'air.

En opérant ainsi avec l'aréomètre de Buchanan, on peut être assuré d'obtenir la densité à moins de 5 unités près de la cinquième décimale.

Pour se rendre compte de l'approximation obtenue, j'ai comparé les résultats qu'elle fournit avec ceux relevés dans le tableau dressé par M. Tornøe⁽¹⁾ pour une eau de densité 1.02700, tableau dont on est malheureusement obligé de se servir pour les calculs par formules de toutes les eaux de mer quelle que soit leur densité, puisqu'il est unique.

D'après M. Tornøe, pour $S_4^{17.5} = 1.02700$, on a

$$\begin{aligned} S_4^0 &= 1.02968 \\ S_4^{10} &= 1.02855 \\ S_4^{20} &= 1.02637 \end{aligned}$$

La méthode actuelle par graphique donne

$$\begin{aligned} S_4^0 &= 1.02968 \\ S_4^{10} &= 1.02856 \\ S_4^{20} &= 1.02636 \end{aligned}$$

L'accord est donc parfait, mais il n'a lieu que pour $S_4^{17.5} = 1.02700$ et n'existe plus pour d'autres densités, pour $S_4^{17.5} = 1.01000$ par exemple, Tornøe trouve alors

$$\begin{aligned} S_4^0 &= 1.01264 \\ S_4^{10} &= 1.01151 \\ S_4^{20} &= 1.00939 \end{aligned}$$

tandis que la méthode graphique donne

$$\begin{aligned} S_4^0 &= 1.01168 \\ S_4^{10} &= 1.01108 \\ S_4^{20} &= 1.00945 \end{aligned}$$

Ainsi, dans ce cas, ma courbe plus aplatie que celle de M. Tornøe pour les températures basses, la coupe à 17.5° puisque c'est l'hypothèse d'où nous sommes partis, et passe ensuite par

(1) H. Tornøe, *Chemistry*. The Norwegian North. Atlantic Expedition.

dessus. On devait s'y attendre et cette vérification est tout en faveur de la précision et de la sensibilité de la méthode graphique.

Les océanographes allemands et suédois caractérisent les échantillons d'eaux marines non par leur poids spécifique ou leur densité mais d'après le poids de sels qu'ils contiennent calculé au moyen des tables de Karsten (1) dressées expérimentalement et qui donnent pour les diverses valeurs de $S_{17.5}^{17.5}$, le poids des sels pour mille. Cette caractéristique ne se rattache qu'indirectement à la dynamique de l'Océan, seul but des mesures par la densité dont la quantité de sels est un élément tandis que la densité s'y rattache directement. Si la salure offre un réel intérêt aux zoologistes qui ont besoin de connaître, grâce à elle, une des conditions du milieu au sein duquel vivent les êtres marins, ces naturalistes peuvent se contenter d'une précision bien inférieure à celle qu'exige un physicien. Deux autres motifs porteraient encore à préférer caractériser une eau de mer plutôt par sa densité que par sa salure. D'abord la sensibilité plus grande de la détermination expérimentale de la densité. En second lieu, dans les deux cas, à la suite d'une mesure expérimentale, on obtient une valeur numérique. Le chiffre de la densité représente d'abord le résultat d'une mesure aréométrique forcément entachée d'une erreur expérimentale, ramené de la température de l'observation à une température normale quelconque ou à la température *in situ* au moyen d'un calcul ou d'un graphique basés sur des expériences c'est-à-dire entachés eux-mêmes d'erreurs. Le chiffre définitif de la densité ou du poids spécifique est donc l'approximation d'une approximation. D'autre part la méthode d'évaluation d'après la salure sauf par détermination directe, comporte les deux opérations précédentes, mesure aréométrique et passage d'une certaine température à la température normale 17.5, mais encore elle exige une troisième transformation, le passage de $S_{17.5}^{17.5}$ au poids des sels par application de la formule.

$$Q = (S_{17.5}^{17.5} - 1) 1310$$

qui basée elle aussi sur une moyenne d'expériences, comporte de nouvelles erreurs. On n'a par conséquent, dans ce cas, que l'approximation de l'approximation d'une approximation et l'on est fatalement encore plus éloigné de la vérité qu'on ne le serait en se bornant à deux approximations seulement, d'ailleurs inévitables.

La détermination de la chloruration χ , c'est-à-dire du poids de chlore par litre d'eau de mer possédant la densité $S_{17.5}^{17.5}$ a été reliée au poids de sel par la relation empirique.

$$Q = 1,8058 \chi$$

selon M. Dittmar (2) et

$$Q = 1.809 \chi$$

selon M. Tornöe (3).

La valeur χ a été mesurée directement au moyen d'un dosage par liqueur titrée d'après la méthode Volhard-Dittmar (4) ou Mohr-Bouquet de la Grye. (5)

(1) G. Karsten, *Tafeln für Berechnung der Beobachtungen an den Küstenstationen u. s. w.* Kiel 1874.

(2) Thoulet, *Océanographie statique*, p. 223.

(3) Thoulet, *Océanographie statique*, p. 226.

(4) Dittmar *Physics and Chemistry*, Reports of the scientific Results of the voyage of H. M. S. Challenger I. 1884.

(5) Bouquet de la Grye *Recherches sur la chloruration de l'eau de mer*. Ann. de Chimie et de Physique, 5^e série T. xxv. 1882.

Il ne faut pas oublier que le symbole $S_{17.5}^{17.5}$ ou d'une façon plus générale S_t^t indique un rapport abstrait tandis que S_4^θ se raccordant avec les principes fondamentaux du système métrique, est le poids en grammes de 1 litre d'eau de mer dans les conditions mêmes où le litre se trouve dans l'océan, à la température θ quelle qu'elle soit d'ailleurs.

Le Congrès international pour l'étude de la mer tenu à Stockholm en 1899, a défini la salinité et la chloruration d'une eau de mer le poids de sel ou de chlore contenu dans 1 kilogramme de cette eau.

Il y a changement d'unité puisque S_4^θ est le poids en grammes de 1 litre, unité de volume, tandis que la salinité et la chloruration sont rapportées à 1 kilogramme, unité de poids.

Les valeurs de salinité ou de chloruration s'obtenant par analyse chimique, il y a tout avantage à les définir par des pesées et non par des mesures de volume qui impliquent de nombreuses et délicates corrections de température.

Il se peut qu'une salinité ou une chloruration soient un caractère statique fixant en quelque sorte la personnalité d'une eau de mer déterminée, permettant de la suivre dans sa marche au sein de l'océan et de la reconnaître quelles que soient les variations de température éprouvées par elle, quoique peut-être l'évaporation puisse jeter un trouble dans la question. Mais s'il s'agit d'un rôle dynamique à expliquer, ainsi que je l'ai soutenu depuis de longues années, (1) il conviendra de recourir à la densité S_4^θ qui à elle seule, indique la manière d'agir de cette eau par rapport à une autre eau de mer de densité $S_4^{\theta'}$.

Connaissant la chloruration au kilogramme d'une eau de mer, on pourra, en s'aidant du graphique, connaître la chloruration au litre χ_4^θ de cette même eau à une température quelconque θ .

Pour cela on dosera la chloruration au kilogramme de plusieurs échantillons d'eaux dont on aura en même temps mesuré la densité à une température définie 15° par exemple, qui est celle à laquelle sont généralement étalonnés les flacons et burettes jaugés. On portera ces valeurs en courbe sur un graphique dont les abscisses seront les chlorurations au kilogramme et les ordonnées les densités S_4^{15} .

Une chloruration au kilogramme C étant donnée, on la mesurera en abscisse sur ce graphique; on prendra le point correspondant de la courbe et l'ordonnée donnera S_4^{15} . En d'autres termes, on obtiendra ainsi la densité S_4^{15} au litre et à 15° de l'eau de mer dont le poids de chlore par kilogramme, c'est-à-dire la chloruration au kilogramme, est C.

Au moyen du graphique des densités, on passe ensuite de S_4^{15} à S_4^θ et on applique la formule

$$\chi_4^\theta = C \times S_4^\theta$$

La connaissance de deux quelconques des trois variables d'une même eau de mer savoir : sa température θ , sa densité à une température quelconque t c'est-à-dire S_4^t et sa chloruration C ou sa salinité au kilogramme, permet évidemment de connaître la troisième au moyen des deux graphiques mentionnés ci-dessus.

(1) J. Thoulet. *Observations sur le Gulf-Stream* (C. R. Ac. Sc. T. cv. 862. 1888) — *Sur la mesure de la densité des eaux de mer, considérations générales sur le régime des courants marins qui entourent l'île de Terre-Neuve* (Ann. de Chim. et de Phys. 1888) — *Note sur le poids spécifique et la densité de l'eau de mer* (Bull. de Geogr. histor. et descript. du Ministère de l'Instr. publ. iv. 1890) — *Traité d'océanographie (statique)* p. 352 et suiv. 1890 — *De quelques objections à la théorie de la circulation verticale profonde océanique* (C. R. Ac. Sc. T. cx. 334, 1890 et Revue gén. des Sci. pures et appliq. I. 500, 1890), — etc. etc.

Il pourra résulter de cette remarque une notable diminution du volume des bouteilles destinées à récolter des échantillons d'eaux profondes.

Le graphique peut servir à résoudre le problème suivant : Peut-il, sur l'Océan, exister un courant marin d'un point A caractérisé par son S_4^θ à un autre point B caractérisé par $S_4^{\theta'}$ les deux points étant séparés par une distance de m milles ?

Posons sur le graphique, les deux points A et B à leurs places respectives S_4^θ et $S_4^{\theta'}$. Il y aura courant de A vers B si B est par rapport à A dans le demi-cercle Ouest-Nord-Est, les directions Ouest et Est exceptées, parce que dans ce cas S_4^θ égalerait exactement $S_4^{\theta'}$. Si B était dans le demi-cercle W. S. E, on serait assuré qu'il n'existe point de courant de densité de A vers B. Le courant, en tant que résultant de la différence des densités, sera d'autant plus rapide de A vers B que m sera plus petit. Il est probable que des mesures réelles en divers points de l'Océan permettraient, toutes choses égales d'ailleurs, d'évaluer par analogie cette pente, c'est-à-dire la vitesse du courant pour une différence déterminée entre S_4^θ et $S_4^{\theta'}$.

Le pointage sur le graphique des diverses valeurs S_4^θ , $S_4^{\theta'}$, $S_4^{\theta''}$ mesurées sur un même courant comparées aux distances m , m' , m'' séparant ces divers points, aura des chances de fournir une notion des vitesses relatives de ce courant en ces points.

J'ai essayé d'appliquer ces mesures au Gulf-Stream. Malheureusement je n'ai pu me procurer les nombreuses données de vitesses et de densités qui m'eussent été indispensables pour constituer une vérification véritablement frappante de mon hypothèse. Les quelques chiffres que j'ai trouvés dans l'Atlas de l'Océan Atlantique du Deutsche Seewarte montrent bien que le courant doit couler du détroit de Bahama aux bancs de Terre-Neuve et qu'il ne doit y avoir aucun courant de la côte américaine à la mer des Sargasses, ce qui a lieu en réalité, mais mon essai était beaucoup trop grossier et il serait à souhaiter qu'il en soit exécuté un avec toute la précision requise.

EXPLICATION DES TABLEAUX

	PROVENANCE	DATE 1900	TEMP. EXTÉR.	DURÉE DE L'EXP.	EVAPORATION DIV. DE L'ARÉOM.	CORRECTION D'EVAPORATION DIV. DE L'ARÉOM.
I	au large de Fécamp, naturelle . . .	18 juillet	29°	8 ^h	3.0 p. 24 ^h	0.75 p. 6 ^h
II	» concentrée . . .	19 »	30	7	4.5 — 24 ^h	1.1 — 6 ^h
III	» étendue . . .	20 »	29	7	2.0 — 24 ^h	0.5 — 6 ^h
IV	Islande, naturelle.	21 »	30	7	5.0 — 48 ^h	0.6 — 6 ^h
V	» étendue	23 »	30	7	2.0 — 24 ^h	0.5 — 6 ^h
VI	» étendue	24 »	30	7	2.5 — 24 ^h	0.6 — 6 ^h
VII	» naturelle.	23 octobre	8	6	sensiblement nulle	nulle
VIII	» étendue	24 »	8	6	id.	id.
IX	» étendue	25 »	9	6	id.	id.
X	» étendue	26 »	9	6	id.	id.
XI	» étendue	27 »	8	6	id.	id.
XII	» étendue	29 »	9	8	id.	id.
XIII	» concentrée	30 »	7	7	id.	id.
XIV	» concentrée	5 novembre	8	7	id.	id.
XV	» concentrée	9 »	8	6	id.	id.

TABLEAU I

t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S ₄ ^t	t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S ₄ ^t
10.0		$\pi + V$ 88.0	1.02624	25.4	$\pi + V$ 22.0		
12.0		» 83.5	1.02595	26.0	» 17.0	$\pi + V$ 17.0	1.02234
12.8	$\pi + V$ 80.0			26.5	» 14.0		
14.0	» 76.5	» 76.5	1.02556	27.2	» 10.0		
15.2	» 72.0			28.0	» 6.5	» 5.0	1.02171
16.0		» 68.0	1.02510	28.8	$\pi + IV$ 99.0	$\pi + IV$ 97.5	1.02174
16.6	» 66.0				$\pi + V$ 2.0		
18.0	» 59.0	» 59.0	1.02460	29.8	$\pi + IV$ 94.0		
19.1	» 54.0			30.0	» 87.0		
20.0		» 49.0	1.02408	30.7	» 81.5	» 85.0	1.02109
20.2	» 48.5			31.4	» 77.0		
21.4	» 42.5			32.0		» 72.5	1.02040
22.0		» 39.0	1.02351	32.1	» 73.0		
22.5	» 37.5			32.8	» 68.5		
23.6	» 31.5			33.5	» 63.5		
24.0		» 28.5	1.02295				
24.5	» 27.0						

TABLEAU II

t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t	t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t
6.0		$\pi + VI + I$ 51.0	1.03311	20.6	$\pi + VI$ 91.0		
6.3	$\pi + VI + I$ 50.0			22.0		$\pi + VI$ 83.0	1.02952
7.6	» 46.0			22.1	» 83.5		
8.0		» 45.5	1.03279	23.5	» 75.0		
9.9	» 39.5			24.0		» 72.0	1.02893
10.0		» 39.0	1.03242	24.6	» 69.0		
12.0		» 32.0	1.03201	26.0		» 59.5	1.02826
12.3	» 31.0			26.2	» 59.5		
14.0		» 24.5	1.03160	27.7	» 50.0		
14.6	» 22.0			28.0		» 47.0	1.02760
16.0		» 16.0	1.03112	28.3	» 44.5		
16.7	» 13.5			30.0		» 33.5	1.02689
18.0		» 7.5	1.03065	30.8	» 29.5		
18.8	» 4.5			32.0		» 19.5	1.02616
18.8	$\pi + VI$ 100.0			32.5	» 17.5		
20.0		$\pi + VI$ 93.0	1.03007	34.1	» 7.0		
20.4	» 92.0						

TABLEAU III

t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t	t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t
7.6	$\pi + III$ 91.0			22.0		$\pi + III$ 40.5	1.01461
8.0		$\pi + III$ 90.0	1.01738	23.1	$\pi + III$ 35.5		
9.0	» 88.0			24.0	» 30.5		1.01407
10.0		» 86.0	1.01713	24.2	» 29.5		
10.7	» 84.5			25.5	» 23.0		
12.0		» 80.5	1.01682	26.0		» 19.0	1.01347
12.6	» 79.0			27.1	» 14.0		
14.0		» 74.5	1.01647	28.0		» 7.5	1.01287
14.7	» 71.5			29.1	» 2.0		
16.0		» 67.0	1.01606	29.1	$\pi + II$ 98.0		
16.7	» 66.0			30.0		$\pi + III$ 91.5	1.01224
18.0		» 59.0	1.01560	31.0	» 87.0		
18.9	» 54.5			32.0		» 80.0	1.01163
20.0		» 50.0	1.01512	32.9	» 74.5		
21.2	» 44.5			34.2	» 66.0		

TABLEAU IV

19

t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t	t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t
8.0		$\pi + VI$ 30.5	1.02739	21.0	$\pi + V$ 66.0		
8.4	$\pi + VI$ 29.0			22.0		$\pi + V$ 59.0	1.02448
9.5	» 27.5			23.2	» 55.0		
10.0		» 25.5	1.02709	24.0		» 48.5	1.02392
11.0	» 22.0			24.4	» 45.5		
12.0		» 19.0	1.02673	25.9	» 37.5		
13.0	» 16.5			26.0		» 37.0	1.02329
	$\pi + V$ 98.0			27.6	» 27.5		
14.0		» 12.0	1.02631	28.0		» 24.5	1.02264
15.1	$\pi + VI$ 8.0			29.5	» 17.0		
	$\pi + V$ 90.0			30.0		» 11.5	1.02197
16.0		» 4.5	1.02587	31.5	» 1.0		
17.2	» 81.5				$\pi + IV$ 94.0		
18.0		$\pi + V$ 77.5	1.02549	32.0		$\pi + IV$ 90.5	1.02128
19.1	» 73.0			33.3	» 82.0		
20.0		» 69.0	1.02503				

TABLEAU V

t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t	t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t
8.0		$\pi + IV$ 71.0	1.02105	24.0		$\pi + IV$ 41.5	1.01773
9.8	$\pi + IV$ 67.5			24.3	$\pi + IV$ 9.5		
10.0		» 67.0	1.02080	25.1	» 5.0		
11.3	» 63.0				$\pi + III$ 100.0		
12.0		» 61.0	1.02045	25.8	» 96.5		
12.6	» 59.5			26.0		» 1.0	1.01717
14.0		» 55.0	1.02008			$\pi + III$ 96.0	1.01715
14.5	» 51.5			27.4	» 88.5		
16.0		» 47.5	1.01969	28.0		» 84.5	1.01655
16.2	» 47.0			29.0	» 80.0		
18.0		» 40.0	1.01927	30.0		» 72.5	1.01591
18.1	» 39.5			30.6	» 70.0		
20.0	» 33.5	» 31.0	1.01878	32.0		» 60.0	1.01525
21.7	» 23.0			32.1	» 60.0		
22.0		» 22.0	1.01829	33.5	» 49.5		
23.5	» 15.5						

TABLEAU VI

t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL		AFFLEUREMENT CORRIGÉ		DENSITÉ S_4^t	t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL		AFFLEUREMENT CORRIGÉ		DENSITÉ S_4^t
8.0	$\pi + II$	45.0	$\pi + II$	45.0	1.01066	21.9	$\pi + I$	90.0			
9.3	»	43.5				22.0			$\pi + II$	5.0	1.00835
10.0			»	42.5	1.01047				$\pi + I$	93.5	1.00837
10.8	»	42.0				23.1	»	85.5			
12.0			»	39.0	1.01025	24.0			»	83.0	1.00782
12.8	»	37.5				24.3	»	81.0			
14.0			»	34.5	1.00998	26.0			»	72.5	1.00727
14.6	»	32.5				26.2	»	72.0			
16.0			»	29.0	1.00966	28.0	»	60.0	»	61.0	1.00665
16.6	»	27.5				29.6	»	52.5			
18.0			»	22.5	1.00930	30.0			»	49.0	1.00602
18.8	»	19.5				31.4	»	42.5			
20.0			»	14.0	1.00884	32.0			»	36.5	1.00538
20.4	»	11.0				33.0	»	30.0			
	$\pi + I$	99.0									
20.6	$\pi + II$	9.0									
	$\pi + I$	97.0									

TABLEAU VII

t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL		AFFLEUREMENT CORRIGÉ		DENSITÉ S_4^t	t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL		AFFLEUREMENT CORRIGÉ		DENSITÉ S_4^t
-4.3	$\pi + V$	74.0				4.0			$\pi + V$	72.0	1.02563
-4.0			$\pi + V$	74.5	1.02599	4.3	$\pi + V$	71.0			
-3.3	»	75.0				5.8	»	68.5			
-3.0			»	75.5	1.02601	6.0			»	68.5	1.02541
-2.4	»	75.5				8.0			»	64.5	1.02515
-2.0			»	76.0	1.02600	8.4	»	64.0			
-1.2	»	77.0				10.0			»	60.0	1.02488
-1.0			»	76.0	1.02597	10.7	»	58.0			
-0.3	»	76.0				12.0			»	54.5	1.02456
0.0	»	75.0	»	75.5	1.02593	12.7	»	52.5			
0.7	»	74.5				14.0			»	48.5	1.02421
1.7	»	73.5				14.1	»	48.0			
2.0			»	74.5	1.02581	16.0			»	42.5	1.02386
3.0	»	73.0				16.5	»	40.5			

TABLEAU VIII

21

t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t	t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t
- 3.0		$\pi + IV$ 95.0	1.02252	3.0	$\pi + IV$ 94.0		
- 2.7	$\pi + IV$ 95.5			4.0		$\pi + IV$ 93.5	1.02225
- 2.3	» 95.5			4.8	» 92.5		
- 2.0		» 96.0	1.02254	6.0		» 90.5	1.02204
- 1.9	» 96.0			7.2	» 88.5		
- 1.6	» 96.0			8.0	» 86.5	» 87.0	1.02182
- 1.1	» 96.5			9.9	» 82.5		
- 1.0		» 96.5	1.02254	10.0		» 82.5	1.02154
- 0.8	» 96.0			12.0		» 77.0	1.02122
0.0		» 96.0	1.02248	12.3	» 75.0		
0.2	» 96.5			14.0		» 71.0	1.02087
1.0		» 95.5	1.02243	14.3	» 70.0		
1.6	» 95.0			16.0		» 63.5	1.02045
2.0		» 95.0	1.02237	16.6	» 63.0		

TABLEAU IX

t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t	t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t
- 3.0		$\pi + IV$ 10.0	1.01844	4.6	$\pi + IV$ 11.0		
- 2.8	$\pi + IV$ 10.5			5.0		$\pi + IV$ 10.5	1.01823
- 2.6	» 11.0			6.0		» 9.0	1.01813
- 2.3	» 11.0			7.6	» 5.5		
- 2.0		» 11.5	1.01848	8.0		» 5.0	1.01788
- 1.7	» 10.5				» 4.0		
- 1.5	» 11.5			8.4	$\pi + III$ 99.5		
- 1.0		» 12.5	1.01850	10.0		» 10.5	1.01761
- 0.3	» 12.5				$\pi + III$ 96.0		1.01762
0.0		» 13.0	1.01850	11.0	» 95.0		
0.8	» 13.5			12.0		» 91.0	1.01732
1.0		» 13.0	1.01847	13.9	» 85.5		
2.0		» 13.0	1.01843	14.0		» 85.0	1.01697
2.5	» 12.5			16.0		» 78.5	1.01660
3.0		» 12.5	1.01838	16.1	» 77.5		
4.0		» 12.0	1.01833	17.4	» 73.5		

TABLEAU X

t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t	t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t
-2.5		$\pi + III$ 26.5	1.01465	4.0		$\pi + III$ 29.0	1.01458
-2.3	$\pi + III$ 26.5			5.0		» 28.0	1.01450
-2.1	» 27.0			5.4	$\pi + III$ 28.0		
-2.0		» 27.5	1.01468	6.0		» 26.5	1.01440
-1.6	» 27.5			6.7	» 26.5		
-1.6	» 27.0			8.0		» 23.5	1.01423
-1.0		» 29.0	1.01472	10.0	» 19.0	» 19.0	1.01393
-0.9	» 28.5			12.0		» 14.0	1.01364
-0.1	» 29.0			12.2	» 14.5		
0.0		» 29.5	1.01474	14.0		» 8.5	1.01331
0.8	» 30.0			14.6	» 7.0		
1.0		» 30.0	1.01471	15.8	» 3.0		
2.0		» 30.0	1.01469	15.8	$\pi + II$ 100.0		
2.1	» 30.0			16.0		» 2.0	1.01295
3.0		» 29.5	1.01463	16.0		$\pi + II$ 99.0	1.01303 (?)
3.5	» 29.0			17.3	» 93.5		

TABLEAU XI

t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t	t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t
-2.0		$\pi + I$ 89.5	1.00886	6.7	$\pi + I$ 92.5		
-1.8	$\pi + I$ 89.5			7.0		$\pi + I$ 92.0	1.00872
-1.6	» 90.0			8.0		» 90.5	1.00862
-1.1	» 90.5			8.5	» 90.0		
-1.0	» 91.0	» 91.0	1.00891	10.0		» 87.5	1.00842
-0.2	» 92.0			10.1	» 87.0		
0.0		» 92.0	1.00893	12.0	» 83.0	» 83.5	1.00818
0.7	» 92.5			13.6	» 79.5		
1.0		» 93.0	1.00894	14.0		» 78.0	1.00786
1.6	» 93.0			16.0		» 72.0	1.00752
2.0		» 93.5	1.00894	16.3	» 72.0		
2.9	» 93.5			18.0		» 65.5	1.00713
3.0		» 93.5	1.00891	18.1	» 64.5		
4.0		» 93.5	1.00888	20.0		» 57.0	1.00669
4.2	» 93.5			20.4	» 55.0		
5.0		» 93.5	1.00885	22.0		» 48.0	1.00621
6.0		» 93.0	1.00880				

TABLEAU XII

23

t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t	t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t
-1.1	$\pi + \text{cap.}$ 85.0			11.3	$\pi + \text{cap.}$ 84.0		
-1.0		$\pi + \text{cap.}$ 85.5	1.00396	12.0		$\pi + \text{cap.}$ 82.5	1.00344
-0.7	» 86.0			13.6	» 79.5		
0.0		» 87.0	1.00399	14.0		» 78.0	1.00317
0.1	» 86.5			16.0		» 72.5	1.00286
1.0		» 88.5	1.00404	16.4	» 73.5		
1.1	» 88.0			18.0		» 66.0	1.00249
2.0		» 89.5	1.00406	19.0	» 62.5		
2.1	» 89.5			20.0		» 59.0	1.00211
3.0		» 90.5	1.00408	21.4	» 52.5		
3.3	» 90.5			22.0		» 50.5	1.00165
4.0		» 90.5	1.00405	24.0		» 42.0	1.00119
5.0		» 90.5	1.00402	24.4	» 41.5		
5.2	» 90.5			26.0		» 32.5	1.00069
6.0		» 90.0	1.00397	27.2	» 26.5		
7.0	» 89.0	» 89.5	1.00392	28.0		» 22.5	1.00016
8.0		» 88.5	1.00384	29.6	» 12.5		
9.4	» 86.0			30.0		» 10.5	0.99954
10.0		» 85.5	1.00372				

TABLEAU XIII

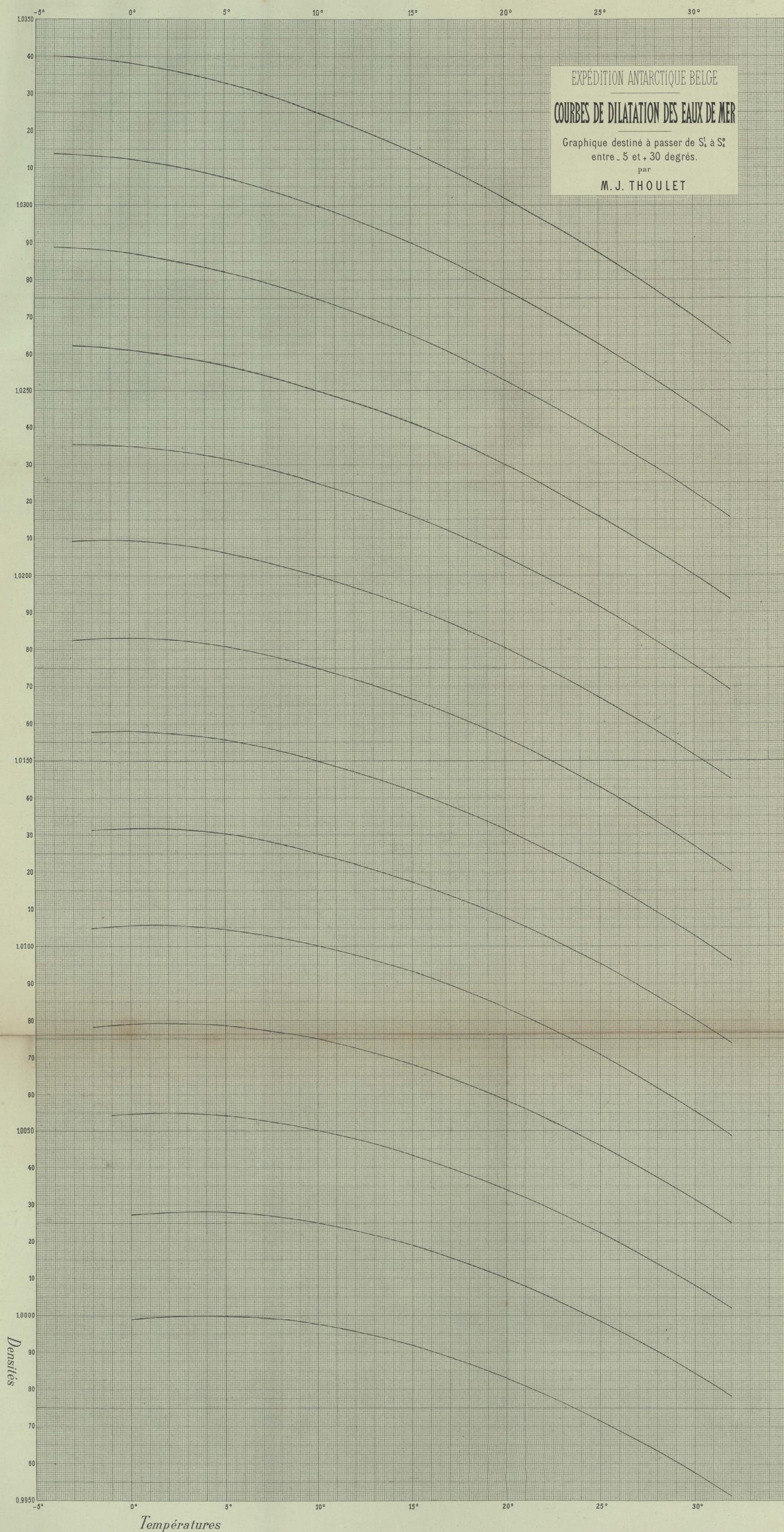
t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t	t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t
-4.0		$\pi + \text{VI}$ 54.5	1.02890	5.6	$\pi + \text{VI}$ 46.0		
-3.0	$\pi + \text{VI}$ 55.0	» 55.0	1.02889	6.0		$\pi + \text{VI}$ 45.0	1.02814
-2.3	» 55.5			7.3	» 42.5		
-2.0		» 55.5	1.02888	8.0		» 40.5	1.02787
-1.0	» 55.0	» 55.0	1.02884	9.1	» 37.5		
0.0		» 54.0	1.02876	10.0		» 35.0	1.02755
0.1	» 54.0			11.2	» 30.5		
1.0		» 53.0	1.02868	12.0		» 29.0	1.02720
1.4	» 52.0			12.9	» 26.0		
2.0		» 52.0	1.02860	14.0		» 22.0	1.02680
2.8	» 50.5			15.2	» 17.0		
3.0		» 50.5	1.02850	16.0		» 14.0	1.02636
4.0	» 48.5	» 48.5	1.02837				

TABLEAU XIV

t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAS	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t	t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t
-4.2	$\pi + VI + I$ 84.5			4.0		$\pi + VI + I$ 76.5	1.03442
-4.1	» 84.5			4.8	$\pi + VI + I$ 76.5		
-4.0		$\pi + VI + I$ 84.5	1.03504	6.0		» 72.0	1.03414
-3.6	» 85.0			6.7	» 70.5		
-3.3	» 85.0			8.0		» 67.0	1.03384
-3.0		» 85.0	1.03504	9.1	» 63.5		
-2.0		» 84.5	1.03498	10.0		» 61.0	1.03348
-1.9	» 84.5			11.2	» 57.0		
-1.0		» 84.0	1.03492	12.0		» 54.0	1.03308
-0.5	» 83.5			12.6	» 53.0		
0.0		» 83.0	1.03485	14.0		» 46.5	1.03264
1.0		» 82.0	1.03477	14.5	» 47.0		
2.0		» 80.5	1.03467	16.0		» 38.0	1.03217
2.1	» 80.5			16.6	» 37.5		
3.1	« 78.0						

TABLEAU XV

t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t	t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t
-4.0		$\pi + VI + I$ 40.5	1.03144	6.0		$\pi + VI + I$ 0.0	1.03064
-3.2	$\pi + VI + I$ 11.0					$\pi + VI$ 97.0	1.03066
-3.0		» 41.0	1.03144	7.0	$\pi + VI$ 95.0		
-2.2	» 11.0			8.0		» 92.5	1.03038
-2.0		» 41.0	1.03141	9.5	» 88.0		
-1.1	» 10.5			10.0		» 86.5	1.03004
-1.0		» 40.5	1.03136	11.6	» 81.5		
0.0		» 40.0	1.03130	12.0		» 80.0	1.02967
0.2	» 10.0			13.5	» 75.0		
1.0		» 9.0	1.03127	14.0		» 73.0	1.02927
2.0		» 8.0	1.03114	15.9	» 65.0		
2.4	» 7.5			16.0		» 64.5	1.02880
3.2	» 6.0			18.0	» 55.0	» 55.0	1.02828
4.0		» 4.5	1.03092				
5.2	» 2.0						
	$\pi + VI$ 100.0						



EXPÉDITION ANTARCTIQUE BELGE
COURBES DE DILATATION DES EAUX DE MER
 Graphique destiné à passer de S_1 à S_2
 entre -5 et $+30$ degrés.
 par
M. J. THOULET

(A₁)

LISTE DES RAPPORTS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉS SOUS LA DIRECTION DE LA
COMMISSION DE LA "BELGICA,"

Les mémoires, dont les titres sont précédés d'un astérisque (*), ont déjà paru.
Le classement des rapports dans les volumes III, IV, VI, VII, VIII, et IX sera fait ultérieurement.

VOLUME I.

- | | |
|--|---|
| RELATION DU VOYAGE ET RÉSUMÉ DES RÉSULTATS, par A. DE GERLACHE DE GOMERY.
TRAVAUX HYDROGRAPHIQUES ET INSTRUCTIONS NAUTIQUES, par G. LECOINTE. | NOTE RELATIVE A L'USAGE DES EXPLOSIFS SUR LA BANQUISE, par G. LECOINTE. |
|--|---|

VOLUME II.

ASTRONOMIE ET PHYSIQUE DU GLOBE.

- | | |
|---|---|
| *ÉTUDE DES CHRONOMÈTRES (deux parties), par G. LECOINTE Frs 33,50 | NOTE RELATIVE AUX MESURES PENDULAIRES, par G. LECOINTE. |
| RECHERCHES DES POSITIONS DU NAVIRE PENDANT LA DÉRIVE, par G. LECOINTE. | CONCLUSIONS GÉNÉRALES SUR LES OBSERVATIONS ASTRONOMIQUES ET MAGNÉTIQUES, par GUYOU. |
| OBSERVATIONS MAGNÉTIQUES, par C. LAGRANGE et G. LECOINTE. | |

VOLUMES III ET IV.

MÉTÉOROLOGIE.

- | | |
|--|---|
| RAPPORT SUR LES OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES HORAIRES, par H. ARCTOWSKI. | *PHÉNOMÈNES OPTIQUES DE L'ATMOSPHÈRE, par H. ARCTOWSKI Frs 6,00 |
| RAPPORT SUR LES OBSERVATIONS DES NUAGES, par A. DOBROWOLSKI. | *AJRORES AUSTRALES, par H. ARCTOWSKI . Frs 11,00 |
| LA NEIGE ET LE GIVRE, par A. DOBROWOLSKI. | DISCUSSION DES RÉSULTATS MÉTÉOROLOGIQUES, par A. LANCASTER. |

VOLUME IV.

Océanographie et Géologie.

- | | |
|--|--|
| RAPPORT SUR LES SONDAGES ET LES FONDS MARINS RECUEILLIS, par H. ARCTOWSKI et A.-F. RENARD. | LES GLACES ANTARCTIQUES (<i>Journal d'observations relatives aux glaciers, aux icebergs et à la banquise</i>), par H. ARCTOWSKI. |
| RAPPORT SUR LES RELATIONS THERMIQUES DE L'OcéAN, par H. ARCTOWSKI et H. R. MILL. | NOTE RELATIVE A LA GÉOGRAPHIE PHYSIQUE DES TERRES ANTARCTIQUES, par H. ARCTOWSKI. |
| *DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ DE L'EAU DE MER, par J. THOULET Frs 7,50 | LA GÉOLOGIE DES TERRES ANTARCTIQUES, par A.-F. RENARD. |
| *RAPPORT SUR LA DENSITÉ DE L'EAU DE MER, par H. ARCTOWSKI et J. THOULET Frs 3,00 | NOTE SUR QUELQUES PLANTES FOSSILES DES TERRES MAGELLANIQUES, par M. GILRINET. |
| NOTE SUR LA COULEUR DES EAUX OcéANIQUES, par H. ARCTOWSKI. | |

VOLUMES VI, VII, VIII ET IX.

BOTANIQUE ET ZOOLOGIE.

Botanique.

- | | | |
|---|--|-------------|
| DIATOMÉES (moins <i>Chaetocérés</i>), par H. VAN HEURCK. | *HÉPATIQUES, par F. STEPHANI | } Frs 28,00 |
| PÉRIDIINIENS ET CHAETOCÉRÉS, par FR. SCHÜTT. | *MOUSSES, par J. CARDOT | |
| ALGUES, par E. DE WILDEMAN. | CRYPTOGRAMMES VASCULAIRES, par M ^{me} BOMMER. | |
| CHAMPIGNONS, par M ^{mes} BOMMER et ROUSSEAU. | PHANÉROGAMES, par E. DE WILDEMAN. | |
| LICHENS, par E. A. WAINIO. | | |

160
14-2

Zoologie.

FORAMINIFÈRES, par A. KEMNA et VAN DEN BROECK.
 RADIOLAIRES, par FR. DREYER.
 TINTINOÏDES, par K. BRANDT.
 *SPONGIAIRES, par E. TOPSENT. Frs 16,00
 HYDRAIRES, par C. HARTLAUB.
 HYDROCORAILLAIRES, par E. v. MARENZELLER.
 SIPHONOPHORES, par C. CHUN.
 MÉDUSES, par L. SCHULTZE.
 ALCYONAIRES, par TH. STUDER.
 PÉNNATULIDES, par H. F. E. JUNGENSEN.
 ACTINIAIRES, par O. CARLGREN.
 MADRÉPORAIRES, par E. v. MARENZELLER.
 CTÉNOPHORES, par C. CHUN.
 HOLOTHURIDES, par E. HÉROUARD.
 ASTÉRIDES, par H. LUDWIG.
 *ÉCHINIDES ET OPHIURES, par R. KÖHLER. Frs 17,50
 CRINOÏDES, par J. A. BATHER.
 PLANAIRES, par L. BÖHMIG.
 CÉSTODES, TRÉMATODES ET ACANTHOCÉPHALES,
 par P. CERFONTAINE.
 NÉMERTES, par BÜRGER.
 NÉMATODES LIBRES, par J. D. DE MAN.
 NÉMATODES PARASITES, par J. GUIART.
 CHAETOGNATHES, par O. STEINHAUS.
 GÉPHYRIENS, par J. W. SPENGLER.
 OLIGOCHÈTES, par P. CERFONTAINE.
 POLYCHÈTES, par G. PRUVOT et E. G. RACOVITZA.
 BRYOZOAIRES, par A. W. WATERS.
 *BRACHIOPODES, par L. JOUBIN. Frs 5,00
 ROTIFÈRES ET TARDIGRADES, par C. ZELINKA.
 PHYLLOPODES, par HÉROUARD.
 OSTRACODES, par G. W. MÜLLER.
 COPÉPODES, par W. GIESBRECHT.
 CIRRIPODES, par P. P. C. HOEK.
 CRUSTACÉS ÉDRYOPHTHALMES, par J. BONNIER.
 SCHIZOPODES ET CUMACÉS, par H. J. HANSEN.

CRUSTACÉS DÉCAPODES, par H. COUTIÈRE.
 PYCNOGONIDES, par G. PFEFFER.
 ACARIENS LIBRES, par A. D. MICHAEL et D^r TROUËSSART.
 ACARIENS PARASITES, par G. NEUMANN.
 ARANÉIDES, par E. SIMON.
 MYRIAPODES, par C. v. ATTEMS.
 COLLEMBOLLES, par V. WILLEM.
 ORTHOPTÈRES, par BRUNNER-VON WATTENWYL.
 HÉMIPTÈRES, par E. BERGROTH.
 PÉDICULIDES, par V. WILLEM.
 DIPTÈRES, par J. C. JACOBS.
 COLÉOPTÈRES, par SCHOUTEDEN, E. ROUSSEAU, A. GROU-
 VELLE, E. OLIVIER, A. LAMEERE, BOILEAU, E. BRENSKE,
 BOURGEOIS et FAIRMAIRE.
 HYMÉNOPTÈRES, par C. EMERY, TOSQUINET, E. ANDRÉ et
 J. VACHAL.
 SOLÉNOCONQUES, par L. PLATE.
 GASTÉROPODES ET LAMELLIBRANCHES, par P.
 PELSENER.
 CÉPHALOPODES, par L. JOUBIN.
 TUNICIENS, par E. VAN BENEDEN.
 POISSONS ET REPTILES, par L. DOLLO.
 BILE DES OISEAUX ANTARCTIQUES, par P. PORTIER.
 OISEAUX (*Biologie*), par E. G. RACOVITZA.
 OISEAUX (*Systématique*), par HOWARD SAUNDERS.
 CÉTACÉS, par E. G. RACOVITZA.
 EMBRYOCÉNIE DES PINNIPÈDES, par E. VAN BENEDEN.
 ORGANOGÉNIE DES PINNIPÈDES, par BRACHET et
 LÉBOUCQ.
 ENCÉPHALE DES PINNIPÈDES, par BRACHET.
 PINNIPÈDES (*Biologie*), par E. G. RACOVITZA.
 *PINNIPÈDES (*Systématique*), par
 E. BARRETT-HAMILTON Frs 4,00
 BACTÉRIES DE L'INTESTIN DES ANIMAUX ANT-
 ARCTIQUES, par J. CANTACUZÈNE.

VOLUME X.

ANTHROPOLOGIE.

MEDICAL REPORT, par F.-A. COOK.
 REPORT UPON THE ONAS, par F.-A. COOK.
 A YAHGAN GRAMMAR AND DICTIONARY, par F.-A. COOK.

REMARQUES. — Par la suite plusieurs autres mémoires s'ajouteront à cette liste.
 Il ne sera éventuellement mis en vente que cinquante collections complètes des mémoires. Ceux-ci
 pourront être acquis, séparément, aux prix indiqués sur la présente couverture :

- à ANVERS, chez J.-E. BUSCHMANN, éditeur, Rempart de la Porte du Rhin,
- à PARIS, chez LE SOUDIER, 174-176, Boulevard St-Germain,
- à BERLIN, chez FRIEDLÄNDER, 11, Carlstrasse, N. W. 6.
- à LONDRES, chez DULAU & C^o, 37, Soho Square, W.

Ces prix seront réduits de 20 % pour les personnes qui souscriront à la série complète des mémoires
 chez l'un des libraires désignés ci-dessus. Toutefois, lorsque la publication sera terminée, les prix indiqués
 sur cette liste seront majorés de 40 %, pour les mémoires vendus séparément, et de 20 %, pour les
 mémoires vendus par série complète.