7

EXPÉDITION ANTARCTIQUE BELGE

RÉSULTATS

DU

VOYAGE DU S. Y. BELGICA

EN 1897-1898-1899

SOUS LE COMMANDEMENT DE

A. DE GERLACHE DE GOMERY

RARE BOOK
G
850
1897
.E93
1901
pt. 1-3

RAPPORTS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉS AUX FRAIS DU GOUVERNEMENT BELGE, SOUS LA DIRECTION

DE LA

COMMISSION DE LA BELGICA

OCÉANOGRAPHIE

RELATIONS THERMIQUES

RAPPORT SUR LES OBSERVATIONS THERMOMÉTRIQUES FAITES AUX STATIONS DE SONDAGES

PAR

HENRYK ARCTOWSKI

ET

HUGH ROBERT MILL

LIBRARY
NOV 1908
ack.

ANVERS

IMPRIMERIE J.-E. BUSCHMANN

REMPART DE LA PORTE DU RHIN

1908

8500
c/o
E96R
vol. 5-
pt. 1-

National Oceanic and Atmospheric Administration

ERRATA NOTICE

One or more conditions of the original document may affect the quality of the image, such as:

Discolored pages
Faded or light ink
Binding intrudes into the text

This has been a co-operative project between the NOAA Central Library and the Climate Database Modernization Program, National Climate Data Center (NCDC). To view the original document, please contact the NOAA Central Library in Silver Spring, MD at (301) 713-2607 x124 or www.reference@nodc.noaa.gov.

LASON
Imaging Contractor
12200 Kiln Court
Beltsville, MD 20704-1387
March 21, 2005

LIBRARY
WEATHER BUREAU
No. 23145

RELATIONS THERMIQUES

RAPPORT SUR LES OBSERVATIONS THERMOMÉTRIQUES FAITES AUX STATIONS DE SONDAGES

PAR

HENRYK ARCTOWSKI

ET

HUGH ROBERT MILL

c/o
E 16-R
vol. 5
pt. 1

LIBRARY
WEATHER BUREAU
No. 23145

LIBRARY.
NOV. 5 1908
ack.
Weather Bureau.

Sorti des presses de J.-E. BUSCHMANN, Anvers
le 5 Mai 1908.

RELATIONS THERMIQUES

RAPPORT SUR LES OBSERVATIONS THERMOMÉTRIQUES FAITES AUX STATIONS DE SONDAGES

PAR

HENRYK ARCTOWSKI

ET

HUGH ROBERT MILL

En 1874, lorsque le CHALLENGER s'avança jusqu'au delà du cercle polaire, au S. de l'île Kerguelen, il n'existait pas encore, au sujet de la distribution de la température dans les eaux profondes, de travaux pouvant guider dans leurs recherches les savants attachés à cette mémorable expédition. Ross avait, il est vrai, fait de nombreuses expériences plus de trente ans auparavant, mais les résultats auxquels il avait abouti étaient fautifs, les thermomètres employés n'ayant pas été protégés contre la pression. Les thermomètres Miller-Casella employés à bord du CHALLENGER étaient, au contraire, parfaitement protégés contre la pression des eaux des grandes profondeurs ; mais étant à index, ces instruments donnaient seulement le maximum et le minimum de température des couches traversées : aussi ne fut-ce qu'après avoir, au préalable, refroidi les thermomètres à la température de la glace de mer fondante que Buchanan put utiliser les données et déceler, en dessous des eaux glacées de la surface, les températures plus élevées des eaux profondes. En 1892, lors du voyage dans la mer de Weddell du baleinier BALAENA, W. S. Bruce disposait de thermomètres à renversement de Negretti et Zambra, à l'aide desquels des indications exactes peuvent être obtenues à toutes les profondeurs. Malheureusement M. Bruce n'a eu que rarement l'occasion de procéder à des sondages thermométriques, et par deux fois seulement des températures ont été mesurées à des profondeurs dépassant 425 m. Ces sondages ont montré (1) que la température, qui était de 0°,7 à la surface, était de 0°,0 à la profondeur de 555 m. Il n'a d'ailleurs été relevé aucune indication de couches d'eau en profondeur ayant une température supérieure à 32°,1 F. = 0°,05 C.

La BELGICA a donc été le premier bateau à bord duquel des sondages thermométriques ont été effectués dans les régions antarctiques, à l'aide d'instruments modernes, et à des

---

(1) Geographical Journal, vol. VII (1896), p. 520.

profondeurs suffisamment grandes pour déterminer la position du maximum de température des couches profondes. Ces sondages présentent en outre le réel avantage de ne pas être trop espacés : bien loin d'être disséminés, au hasard, sur une grande surface du globe, ils sont au contraire groupés de telle sorte qu'ils permettent d'envisager d'une façon approfondie les portions de l'Océan explorées par l'Expédition, portions qui appartiennent d'ailleurs à deux régions océaniques différentes et parfaitement caractéristiques au point de vue des relations thermiques qu'elles présentent.

Le grand canal qui sépare la pointe méridionale de l'Amérique des terres antarctiques appartient à la région de transition dans laquelle s'observe la terminaison septentrionale des eaux glacées, et là où la BELGICA a dérivé dans les glaces, à la limite du plateau continental de l'Antarctide, nous nous trouvions dans le laboratoire même de la congélation des eaux de surface, du refroidissement progressif et lent des couches inférieures sous l'action du climat polaire, dans la région où les eaux sont en contact avec les barrières de glace et où les icebergs se détachant des glaciers séjournent en permanence.

Il était intéressant de connaître les relations thermiques de ces deux régions.

Sans doute, le travail accompli à bord de la BELGICA ne saurait être considéré que comme un premier essai. Si un personnel plus nombreux avait permis de mieux assurer la divison du travail, il est probable que la quantité de données océanographiques recueillies eût été notablement plus grande. Telles qu'elles sont, ces données, dont il est rendu compte dans le présent Rapport, sont cependant très suffisantes pour nous permettre d'affirmer que la portion de la surface du globe où la BELGICA a hiverné peut dorénavant être rangée au nombre de celles dont les relations thermiques des eaux océaniques nous sont le mieux connues.

Il est évidemment nécessaire de réunir pour le pourtour entier de l'Antarctide des données semblables et, si possible, plus détaillées encore que celles rapportées par l'Expédition belge, et c'est pourquoi il convient de ne considérer les observations faites au cours du voyage et de la dérive de la BELGICA que comme un premier essai, une contribution préliminaire à la connaissance des relations thermiques des mers australes. Il est heureux, à ce point de vue, qu'en ces dernières années les résultats des travaux d'autres expéditions soient venus s'ajouter aux nôtres : ainsi les expéditions futures dans les eaux du Pôle Sud pourront s'orienter parfaitement dans l'étude des points qui restent à résoudre avant de pouvoir aborder, d'une façon vraiment positive, la discussion du problème de l'origine des eaux polaires au fond des océans, et des questions relatives à la circulation verticale qui s'y rattachent.

L'approximation des mesures

L'Expédition antarctique belge était fort bien outillée en vue des déterminations de la température des eaux profondes. Il y avait à bord de la BELGICA dix-neuf thermomètres à renversement de la maison Chabaud, de Paris, et cinq thermomètres de la maison Negretti et Zambra, de Londres, dont deux étaient du grand modèle. Les thermomètres Negretti-Zambra étaient munis de montures à hélice. Pour les thermomètres Chabaud, par contre, l'Expédition avait été fournie de montures plus légères, très simplement construites, et dans lesquelles le déclenchement était produit par la percussion de messagers de Rung. Ces instruments étant bien connus et leur description se trouvant dans les catalogues des maisons précitées ainsi que dans les manuels d'océanographie, il est inutile d'insister sur les particularités qu'ils présentent. Les thermomètres Negretti-Zambra avaient été vérifiés à l'Observatoire de Kew et les corrections instrumentales indiquées ont été appliquées aux lectures faites pendant les sondages. Les thermomètres Chabaud ont également été vérifiés, avant le départ de l'Expédition, par M. H. Walravens, de l'Observatoire royal de Belgique. Après le retour, il nous a paru utile de faire étudier au Bureau des poids et mesures le thermomètre Negretti-Zambra n° 87387, qui a principalement servi, et à titre de comparaison le thermomètre Chabaud n° 68679.

La longueur approximative du degré du premier de ces instruments est de $2^{mm},7$ et celle du second est de 2^{mm} à peu près. La graduation de ces thermomètres laisse à désirer sous le rapport du tracé, les traits étant trop larges et à bords mal définis. Ils ont été confiés au Bureau des étalons des poids et mesures en octobre 1901 et y sont restés jusqu'à la fin de l'année 1902. Durant cette période, M. S. De Lannoy a effectué les opérations de vérification demandées, et nous devons à son obligeance les notes ci-après, dont la publication in extenso est justifiée par l'intérêt qu'elles présentent.

Les opérations demandées comportaient la détermination de la position du point 0° et de la constance de cette position ; la vérification de la régularité de rupture de la colonne mercurielle ; la comparaison des thermomètres avec un étalon à diverses températures entre —2° et +2° ; la détermination de la correction à apporter à la lecture de la colonne mercurielle quand celle-ci se trouve à une température différente de celle à laquelle on a effectué le renversement du thermomètre. Enfin, on désirait connaître la constante de sensibilité de chaque instrument.

Position du point zéro. — La détermination de ce point a été effectuée avec les appareils et suivant la méthode classique du Bureau international des poids et mesures de Breteuil. Toutes les lectures ont été faites au moyen d'une lunette à micromètre donnant le $\frac{1}{300}$ de millimètre.

La précision des lectures s'est beaucoup ressentie de l'irrégularité des traits de division.

Le tableau ci-après indique les lectures brutes.

Température antérieure à l'observation	Dates	N° 68679	N° 87387
11°	27 février 1902	— 0°041	+ 0°018
11	28 »	— 0 025	+ 0 018
11	1er mars	— 0 034	+ 0 017
12	3 »	— 0 056	+ 0 010
12	4 »	— 0 043	+ 0 015
15	6 juin	— 0 033	0
14	7 »	— 0 028	0
14	25 » (matin)	— 0 030	+ 0 005
14	25 » (après-midi)	— 0 031	+ 0 019
17°7	4 juillet » »	— 0 034	+ 0 011
16°05	26 septembre	— 0 053	0
17°	15 octobre 1902	— 0 010	0
	Position moyenne :	— 0°035	+ 0°009
	Erreur moyenne d'une observation :	+ 0°012	± 0°008

Ces thermomètres étant contenus dans une enveloppe en verre très résistante, il n'y a pas lieu d'appliquer aux lectures de correction pour la pression extérieure. D'un autre côté, comme ils ne sont jamais employés qu'en position verticale et pour mesurer des températures très voisines de zéro degré, on peut négliger la correction due à la pression intérieure. Il ne reste donc à appliquer que la correction pour la dépression du point zéro, c'est-à-dire déterminer la position qu'occuperait ce point après une exposition prolongée à la température de la glace fondante. Pour appliquer cette correction, on a admis que ces thermomètres sont en verre dur ; la valeur de la correction a été déterminée d'après les tables de Guillaume (1).

Les positions corrigées du point zéro sont dès lors :

Dates	N° 68679	N° 87387
27 février 1902	— 0°031	+ 0°028
28 »	— 0 015	+ 0 028
1er mars	— 0 023	+ 0 028
3 »	— 0 045	+ 0 021
4 »	— 0 032	+ 0 026
6 juin	— 0 020	+ 0 013
7 »	— 0 015	+ 0 013
25 » (matin)	— 0 017	+ 0 018
25 » (après-midi)	— 0 018	+ 0 032
4 juillet	— 0 018	+ 0 027
26 septembre	— 0 038	+ 0 015
15 octobre 1902	0	+ 0 011
Position moyenne	— 0°022	+ 0°022
Erreur moy. d'une observation	± 0°012	± 0°007

(1) Thermométrie de précision. Paris, Gauthier-Villars, 1889, p. 328.

Les différences entre les nombres contenus dans ce tableau et leur moyenne sont absolument irrégulières et paraissent dues simplement aux erreurs de lecture, qui sont assez considérables, comme nous l'avons déjà dit, par suite du manque de netteté des traits. Il faudrait que ces différences crûssent progressivement pour qu'on puisse conclure à une variation sensible en fonction du temps de la position du point zéro, variation appelée « déplacement séculaire ». Le relèvement du zéro paraît donc arrêté et sa position devenue sensiblement stable.

La position moyenne, calculée d'après les résultats obtenus pendant les neuf mois d'observation, peut donc être considérée comme la position vraie actuelle du point zéro.

Cette conclusion est justifiée par le résultat de l'essai suivant.

Dans les déterminations précédentes, on retourne le thermomètre avant d'effectuer la lecture. On pourrait supposer que de légères irrégularités dans la rupture de la colonne mercurielle au moment du renversement ont une part dans les variations de position du point zéro lues après le retournement, et prétendre que la variation séculaire du point zéro est masquée par cette cause d'erreur secondaire. Pour éliminer cette dernière, on a déterminé avant chaque retournement, et même dans quelques autres opérations, la position du zéro degré de la colonne mercurielle pour la position droite du thermomètre. L'erreur de lecture est la seule qui puisse se produire dans ce cas.

Voici les lectures faites (1) :

Dates	N° 68679	N° 87387
14 février 1902	31°892	
15 »	31 907	
17 »	31 910	
18 »	31 880	
19 »	31 850	3°246
20 »	31 876	3 258
21 »	31 857	3 243
22 »	31 905	3 241
25 »	31 859	3 247
26 »	31 857	3 243
27 »	31 870	3 238
28 »	31 852	3 241
1er mars	31 853	3 260
3 »	31 863	3 259
4 »	31 881	3 238
6 juin	31 867	3 255
7 »	31 858	3 242
25 juin (matin)	31 892	3 234
25 » (après-midi)	31 836	3 242
4 juillet (matin)	31 842	3 242
4 » (après-midi)	31 874	3 235
26 septembre	31 853	3 244
15 octobre 1902	31 893	3 237
Position moyenne :	31°871	3°244
Erreur moy. d'une observation :	± 0°021	± 0°008

(1) Ces lectures étant faites sur une graduation renversée, la position du zéro est d'autant plus basse que la lecture est plus forte.

La variation de ces nombres ne présente pas l'allure systématique qui se manifesterait évidemment si le réservoir du thermomètre était encore soumis à l'influence des résidus de dilatation.

On peut donc conclure que dans les limites des erreurs d'observation (qui sont relativement considérables, comme nous l'avons fait remarquer déjà), la position du point zéro s'est maintenue constante pendant l'année 1903 et se trouve :

pour le thermomètre 68679 à — 0°02
» » 87387 à + 0°02

en tenant compte d'une correction de dépression appliquée dans l'hypothèse énoncée ci-dessus.

Régularité de la rupture de la colonne. — En comparant l'erreur moyenne d'une détermination du point zéro faite 1°) en position droite, 2°) en position retournée, on remarque que cette erreur est sensiblement la même dans les deux cas :

± 0,008 et ± 0,008 pour le thermomètre 87387.
± 0,021 et ± 0,012 pour le thermomètre 68679.

Les lectures faites après le retournement du thermomètre sont donc aussi et même plus concordantes que les lectures effectuées avant ce renversement.

La conclusion qui en découle immédiatement, c'est que la rupture de la colonne mercurielle à l'endroit de l'étranglement du tube se produit (à la température de zéro degré tout au moins) avec une régularité parfaite.

Correction que doit subir la lecture du thermomètre quand celle-ci se fait à une température différente de celle à laquelle s'est produit le renversement. — Quand on renverse le thermomètre dans un milieu à température t, il se détache une colonne de mercure l dont la longueur indique cette température t. Cette indication ne sera toutefois exacte que si la colonne l est elle-même à la température t ; si elle se trouve à une température différente t', il faudra lui faire subir une correction proportionnée à la différence de ces températures. Cette correction n'est nullement négligeable. Pour en tenir compte, il faut au préalable déterminer quel est pour une température donnée le nombre de degrés thermométriques auquel correspond la colonne mercurielle détachée ; si N est ce nombre de degrés, t la lecture faite sur le thermomètre et t' la température à laquelle se trouve la colonne mercurielle, on aura très approximativement la température θ que marquait le thermomètre au moment de son renversement par la formule

$$\theta = t - 0{,}000156\, N\, (t' - t),$$

en admettant 0,000156 comme valeur du coefficient de dilatation apparente du mercure dans le verre.

Il est préférable de déterminer la valeur de N qui correspond à la température de zéro degré. Cette détermination se fait très facilement en observant l'accroissement ΔN (exprimé en degrés de la tige) que subit la colonne mercurielle qui se rompt à zéro degré quand on la porte à une température t. On a, en effet :

$$N_0 = \frac{\Delta N}{0{,}000156\, t}.$$

Cette opération a été répétée sept fois pour chacun des thermomètres 68679 et 87387. Les résultats obtenus sont les suivants :

Date			N° 68679	N° 87387
27 février 1902	Position de la colonne de 0 degré à	0°	— 0°041	+ 0°019
	»	15°7	+ 0 186	+ 0 139
28 »	»	0°	— 0 025	+ 0 018
	»	11°4	+ 0 142	+ 0 136
1er mars	»	0°	— 0 034	+ 0 017
	»	9°	+ 0 109	+ 0 114
3 »	»	0°	— 0 056	+ 0 010
	»	18°	+ 0 234	+ 0 215
6 juin	»	0°	— 0 033	0 000
	»	18°	+ 0 192	+ 0 178
25 juin (matin)	»	0°	— 0 030	+ 0 005
	»	15°2	+ 0 156	+ 0 153
25 juin (ap.-midi)	»	0°	— 0 031	+ 0 019
	»	20°7	+ 0 267	+ 0 250

On tire de là :

$N_0 = 91{,}7$ degrés pour le thermomètre 68679
$N_0 = 65{,}5$ » » » 87387

Si donc on fait avec le thermomètre renversé une lecture t à une température t', la vraie valeur θ que marquait le thermomètre au moment de son renversement sera très sensiblement (θ étant peu différent de t) :

$$\theta = t - (N_0 \pm t)\,[0{,}000156\,(t' - t)\,].$$

Comparaison à diverses températures de ces thermomètres avec un thermomètre étalon. — Les comparaisons ont été faites par rapport à l'étalon en verre au borosilicate n° 10201 du Bureau.

Dates	Température dans l'échelle normale	N° 68679	N° 87387
6 décembre 1901	+ 2° 10	+ 2° 09	?
7 »	+ 5 34	+ 5 42	+ 5° 37
4 février 1902	+ 1 24	+ 1 29	+ 1 22
5 »	+ 1 24	+ 1 21	+ 1 23
6 »	+ 1 19	+ 1 21	+ 1 20
8 »	+ 1 76	+ 1 72	+ 1 76
12 »	+ 0 35	+ 0 33	+ 0 37
13 »	— 0 62	— 0 66	?
14 »	— 0 62	— 0 68	?

Dans les limites des erreurs de lecture, les deux thermomètres semblent marcher sensiblement d'accord et exactement.

Constante de sensibilité. — M. Arctowski avait demandé que celle-ci fût déterminée pour chaque thermomètre, afin de pouvoir calculer approximativement la température d'un milieu dans lequel le thermomètre aurait été plongé pendant un temps donné, insuffisant toutefois pour que l'instrument ait pu atteindre sa position d'équilibre.

Ce genre de détermination est fort délicat, et à l'époque où cette vérification a pu être effectuée, les travaux de transformation qui se poursuivaient au Bureau des étalons ne permettaient pas un emploi satisfaisant des appareils nécessaires.

On s'est borné à évaluer combien de temps exigeait le thermomètre pour passer d'une température *t* à la température de 0°. Pour cela, le thermomètre marquant une température *t* était introduit rapidement dans l'appareil pour la détermination du point 0° et on notait de minute en minute la température marquée par l'instrument jusqu'à ce que le mercure eût atteint sa position la plus basse. Ce procédé présente des causes d'erreur très sensibles et ne peut donner que des indications approchées sur la vitesse de refroidissement du thermomètre.

Dans chaque observation, les premières lectures sont faites à l'œil nu ; pendant la durée de celles-ci, un aide installe et met au point une lunette à micromètre à fil mobile ; les abaissements de la colonne mercurielle sont alors suivis au moyen du fil réticulaire et mesurés par l'intermédiaire du tambour.

VITESSE DE REFROIDISSEMENT DU THERMOMÈTRE N° 68679.

TEMPS EN MINUTES	TEMPÉRATURES			
	7 juin 1902	25 juin (mat.)	25 juin (ap.-m.)	15 octobre 1902
0	18°30	18°23	18°43	27°
1	9 27	×	10 83	×
2	6 07	6 09	7 13	6 89
3	4 27	3 39	3 43	×
4	2 47	1 74	1 81	4 43
5	1 57	0 89	×	×
6	1 12	0 58	0 66	2 87
7	0 77	0 345	0 43	2 37
8	0 50	0 228	×	1 93
9	0 33	0 153	0 23	1 52
10	0 276	0 116	0 18	1 27
11	0 225	×	0 13	1 02
12	0 153	0 103	×	×
13	0 114	×	0 10	0 76
14	0 086	0 023	×	×
15	0 072	×	0 051	0 37
16	0 054	×	×	0 29
17	0 039	0	0 028	0 20
18	×		0 008	0 14
19	0 020		0	0 12
20	×			0 073
21	×			0 017
22	0 010			0
23	0			

Dans ce tableau et le suivant, la ligne transversale en pointillé indique le moment où l'observateur commence les lectures à la lunette.

Les positions du zéro observées dans ces essais sont données dans le tableau ci-dessus, page 7.

VITESSE DE REFROIDISSEMENT DU THERMOMÈTRE N° 87387

TEMPS EN MINUTES	TEMPÉRATURES					
	7 juin 1902	25 juin (mat.)	25 juin (ap.-m.)	4 juillet (mat.)	4 juillet (ap.-m.)	26 septembre 1902
0	14° 25	15° 60	17° 20	16° 20	16° 00	16° 30
1	2 72	3 23	3 24	3 24	5 01	4 14
2	1 32	1 23	1 21	1 82	2 59	1 24
3	0 82	0 82	0 81	1 22	1 66	×
4	0 42	0 52	0 46	0 62	×	0 648
5	0 36	×	0 31	×	×	0 470
6	0 18	0 23	×	0 32	0 83	0 323
7	0 141	×	0 21	×	×	0 292
8	0 097	0 140	×	0 30	0 181	0 251
9	0 070	×	0 133	0 22	0 091	0 219
10	0 047	0 116	×	0 19	0 063	×
11	×	×	0 117	0 16	0 045	0 128
12	0 023	×	0 105	0 12	0 031	0 037
13	×	0 007	0 036	0 10	0 022	0 020
14	0 009	0	0 020	0 09	×	0 014
15	0		×	0 07	0 007	×
16			0 008	0 061	×	0 007
17			0	0 042	0	0
18				0 022		
19				0 007		
20				0		

Ces résultats sont trop discordants pour qu'on puisse établir une formule donnant la vitesse de refroidissement de l'un ou de l'autre de ces thermomètres en fonction des températures initiale et finale.

Au point de vue de l'approximation des mesures de température des eaux profondes, deux remarques importantes découlent tout naturellement des résultats des opérations de vérification faites par M. De Lannoy.

Aucune correction relative à la température à laquelle les lectures ont été effectuées n'ayant été apportée aux chiffres observés, on doit se demander quelles sont les valeurs des erreurs dues à ce fait et s'il ne faut pas corriger les observations en tenant compte de ces erreurs.

Ensuite, le temps que les thermomètres sous-marins exigent avant d'indiquer exactement la température du milieu dans lequel ils sont plongés étant relativement très considérable, on doit aussi se demander si, sous ce rapport, les précautions voulues ont été prises au cours des opérations, et quelles sont éventuellement les erreurs dues au fait que les thermomètres ne sont pas restés plongés suffisamment longtemps dans le milieu dont on désirait connaître la température.

En ce qui concerne la première remarque, il y a lieu de faire observer que les températures mesurées par d'autres expéditions, au moyen de thermomètres à renversement de Negretti-Zambra et de thermomètres de Chabaud, n'ont pas été corrigées quant à l'erreur due à la tempé-

rature de la lecture ; — que ces corrections, qui peuvent être très sensibles lorsqu'il s'agit d'observations faites dans les régions équatoriales, où il peut y avoir des différences de plus de 25° entre la température mesurée et la température à laquelle s'opère la lecture, sont relativement minimes dans le cas des observations effectuées au cours de l'expédition de la BELGICA ; — qu'enfin, si même, pour plus de rigueur, on voulait apporter ces corrections aux lectures faites dans les régions antarctiques, on se buterait à des difficultés très grandes et que, bien loin de corriger, on introduirait au contraire de nouvelles erreurs dans les chiffres, de sorte que les chiffres observés et corrigés simplement des erreurs instrumentales sont de beaucoup préférables.

C'est au cours de l'un des premiers sondages exécutés par un temps relativement froid que nous nous sommes aperçus du fait que la température à laquelle s'opère la lecture influence légèrement l'indication fournie par le thermomètre. Lors des premiers sondages, nous avions l'habitude de procéder à la lecture rapidement aussitôt que le thermomètre était amené à la surface, d'inscrire le chiffre noté, puis de faire une deuxième lecture, pour vérification. Ayant délaissé le thermomètre à l'air, sans le renverser, nous avons cru remarquer une faible diminution de la température indiquée au bout de peu de temps. D'autres expériences, faites à des températures basses, nous ont montré que pour de grandes différences de température l'erreur constatée est loin d'être négligeable. On aurait évidemment pu attendre chaque fois que le thermomètre prît la température de l'air (en le plongeant dans un bain d'alcool, par exemple, exposé à l'air sur le pont du bateau ou près du puits de sondage, bain dont la température aurait pu être mesurée exactement) et utiliser une table de corrections, table que l'on aurait pu avoir dressé après coup. Cependant, il nous a paru préférable de profiter du fait que la température des eaux se trouvant immédiatement sous la glace de mer est toujours voisine de —2°, pour replonger le thermomètre à une profondeur de 4 à 5 m., dans les cas où la température notée au moment où le thermomètre venait d'être ramené à la surface différait de la seconde lecture, faite quelques instants après, lorsque le thermomètre avait déjà pu être influencé par la température de l'air et que, par cela même, la première lecture paraissait douteuse.

Les lectures de température faites, dans les glaces, au delà du cercle polaire, devraient donc toutes subir une correction qui, dans le cas extrême (sondage n° 54), se rapporte à une différence de 3°,5 entre la température observée et la température à laquelle la lecture a été faite. Or, en traçant le diagramme des corrections, d'après les observations de M. De Lannoy, on constate aisément que cette correction maximale n'atteint qu'une valeur inférieure à 0°,04 pour le thermomètre n° 87387. Ce thermomètre sous-marin étant gradué en degrés, et le 1/10 de degré ayant été simplement apprécié, il serait absolument illusoire d'appliquer aux lectures des corrections dont la valeur est inférieure à 0°,1, l'approximation de la lecture faite à l'œil nu ou même à la loupe pouvant facilement comporter des erreurs atteignant 1/10 de degré.

Ce n'est qu'à partir de différences de températures de 6° ou même davantage que les corrections deviennent suffisamment importantes pour devoir être prises en considération [1].

(1) La maison Richter, de Berlin, construit actuellement des thermomètres sous-marins dans lesquels les corrections dont il s'agit peuvent être aisément appliquées. Un petit thermomètre auxiliaire, placé dans le tube protecteur, permet en effet de connaître immédiatement la température du thermomètre au moment de la lecture. Les corrections à appliquer aux thermomètres de Richter doivent du reste être beaucoup plus grandes que celles à appliquer aux thermomètres Negretti-Zambra, la masse du mercure se détachant au moment du renversement étant plus grande.

C'est le cas pour quelques-unes des déterminations de température faites au cours des sondages au nord du cercle polaire, et en particulier au cours des sondages nos 3, 4 et 60. Si cependant dans ces quelques rares cas on n'a pas non plus tenu compte de la correction, c'est que — dans la série de nos observations — la valeur de cette correction n'atteint jamais 0°,1, comme il est aisé de s'en convaincre.

En ce qui concerne la remarque relative au temps qu'il faut pour que les thermomètres sous-marins indiquent exactement la température du milieu dans lequel ils se trouvent plongés, il y a lieu de faire observer qu'avant le départ de l'Expédition nous n'avions aucune indication précise à ce sujet (1).

A la suite d'essais faits dans l'Atlantique Nord, le 1er et le 2 octobre 1897, nous avons pu constater que les indications des thermomètres sous-marins délaissés pendant deux à trois minutes seulement dans la couche dont on désirait connaître la température, étaient absolument fautives. Ces expériences ont montré que pour les thermomètres Chabaud examinés, un temps de dix minutes était nécessaire afin d'obtenir des résultats tout à fait satisfaisants à la profondeur de 100 m., la différence de la température d'avec celle de la surface étant de 10°,5 (2).

Il résulte des expériences de M. De Lannoy que cette appréciation était fondée et que pour avoir la certitude de ne pas commettre d'erreur, il faudrait abandonner les thermomètres, dans la couche dont on veut connaître la température, pendant une quinzaine de minutes avant de les renverser pour enregistrer leurs indications. Cependant, il est plus que probable que c'est là une exagération. Les conditions dans lesquelles se font les mesures sont en effet très différentes de celles qu'on réalise dans le laboratoire.

Et d'abord, les différences des températures, dans les régions antarctiques du moins, sont inférieures à 10°. Dans le cas des mesures faites au S. du cercle polaire il s'agit de différences de 3° seulement. Ensuite, pendant la descente, qui dure un temps plus ou moins long suivant la profondeur, le thermomètre passe par des couches d'eau dont les températures se rapprochent progressivement de celle que l'on désire mesurer, et, par cela même, le thermomètre, en arrivant à la profondeur voulue, n'indique plus qu'une température très peu différente de celle du milieu dont on veut connaître la température. Pendant cette descente, l'eau est constamment renouvelée tout autour du thermomètre ; les choses se passent tout comme si l'instrument était placé dans un courant d'eau extrêmement rapide. Le seul fait que dans les différentes expériences de laboratoire, réalisées avec le même thermomètre et dans des conditions qui en apparence sont identiquement les mêmes, le temps nécessaire pour que le mercure arrive à la stabilité complète diffère, au hasard, d'une expérience à l'autre, ce fait prouve qu'en plongeant le thermomètre simplement dans de la glace fondante, sans l'agiter, on ne le place pas dans les conditions les plus favorables pour qu'il acquière le plus rapidement possible la température fixe de 0°.

Enfin, il y a également lieu de faire remarquer que la rapidité avec laquelle un thermo-

(1) Dans l'ouvrage des expéditions de la Pola, il est dit : «... wurden auch Versuche über die Trägheit der Instrumente angestellt, welche das Resultat ergaben (dass die Umkehr-Tiefsee-Thermometer, System Negretti und Zambra, mit Schraube und kurzem Rahmen) einer Accommodationszeit von... höchstens 5 Minuten bedürfen ». (Berichte d. Com. f. Erforschung d. östl. Mittelm., I, S. 20.)

(2) Samedi 2 octobre 1897, à midi, par 5° de latitude N., 25° de longitude W. Température à la surface : 28°,0 ; à 22 m. de profondeur : 27°,8 ; à 100 m. de profondeur : 17°,5.

mètre atteint la température — 0° par exemple — du milieu dans lequel il se trouve plongé, dépend des propriétés physiques de ce milieu, et, sous ce rapport, il semble probable à priori qu'une augmentation de la pression — comme c'est le cas pour les enveloppes en verre des thermomètres qu'on laisse descendre à de grandes profondeurs — ne peut que rendre les conditions plus favorables et que, pour cette raison également, le thermomètre doit atteindre son état d'équilibre beaucoup plus rapidement que dans les expériences de laboratoire (1).

A différentes reprises, lors des sondages faits à bord de la BELGICA au N. du cercle polaire et à la lisière de la banquise, il nous a été impossible de maintenir les thermomètres à la profondeur voulue aussi longtemps qu'il eût été désirable. Parfois c'était pour des raisons de manœuvres, d'autres fois pour des raisons sur lesquelles il serait puéril d'insister. Ceux qui connaissent les difficultés qu'il y a à maintenir un petit bateau immobile, par une mer houleuse et dans le vent, comprendront aisément que fréquemment il aurait fallu abuser de la patience du commandant, des officiers et aussi de celle des hommes de l'équipage, si chacun n'avait eu un égal désir de concourir dans la mesure de ses forces à la réussite des recherches scientifiques de l'Expédition. Et s'il y a lieu d'insister sur le fait que lors de ces sondages le temps consacré aux mesures des températures a été dans certains cas insuffisant, c'est uniquement pour faire remarquer que c'est là très probablement la seule raison pour laquelle quelques-uns des chiffres obtenus ne comportent pas toute la précision qu'il aurait été désirable d'obtenir. Par contre, lors des sondages faits pendant l'hivernage et surtout lors de ceux effectués à travers le puits creusé dans la glace à proximité du bateau (sondages n° 31 et suivants), on a pu consacrer à ces opérations tout le temps voulu pour obtenir des données qui soient tout à fait à l'abri des restrictions qui viennent d'être formulées.

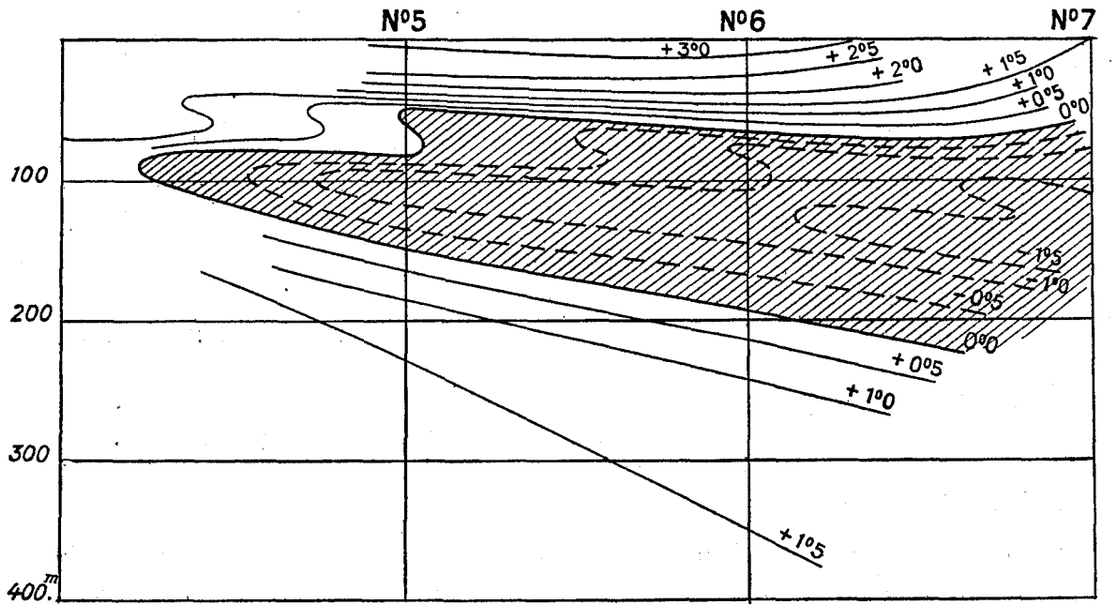
Températures mesurées au N. du cercle polaire.

Au cours des huit premiers sondages de la BELGICA, effectués entre l'île des États et les Shetland méridionales, nous avons réalisé quatre stations thermométriques. Ces stations sont intéressantes en ce qu'elles nous permettent d'aborder l'étude des relations thermiques du grand canal antarctique qui sépare l'Amérique du Sud des terres australes. La planche I reproduit le tracé des courbes qui résultent des chiffres d'observation. Afin de faciliter les comparaisons, les courbes des sondages n°s 3 et 4 ont été superposées, car il convient de bien faire remarquer l'énorme différence qu'il y a entre les courbes de ces deux sondages, distants en latitude d'un degré seulement. Le sondage n° 60, effectué approximativement par la même latitude que le sondage n° 4, mais à 20° plus à l'ouest, a également donné des températures très élevées, notamment entre 300 et 500 m. de profondeur. Le contraste entre les courbes des sondages n° 3 et n° 4 est donc d'autant plus intéressant à noter. Si l'on examine la carte bathymétrique, on constate, en effet, que dans l'hypothèse où le courant du cap Horn entraînerait après lui les masses profondes,

(1) Dans une notice intitulée « Chemical and physical notes », J. Y. Buchanan a écrit ce qui suit : « In actual sounding practice the thermometer arrives at the depth at which it is to register the temperature, having already very nearly the temperature of the water at that depth. It is, therefore, generally speaking, quite safe to dispatch the messenger, which is to overturn the thermometer, so that it may arrive at the required depth not later than one or two minutes after the thermometer. This refers only to oceanic work. » (The Antarctic Manual for the use of the Expedition of 1901, p. 143.)

cette circulation lente des couches inférieures de l'W. vers l'E. doit se buter contre les hauts fonds qui relient sans aucun doute les îles Diego Ramirez à la côte. Ces eaux doivent donc forcément passer à environ 1° au S. du cap Horn et ne peuvent remonter vers le N. à cause du banc de Burdwood, qui s'étend fort loin à l'E. de l'île des Etats. Mais dans cette hypothèse, les eaux plus froides, au N. (sondage n° 3), doivent y être amenées de l'E. et ne pas être séparées par ce courant des eaux antarctiques, à moins que toute la masse des eaux ne remonte en bloc les pentes du socle continental, vers le N., ce qui semble bien peu probable. La comparaison des températures des sondages n°s 3 et 4 parle donc en faveur de l'hypothèse d'une séparation naturelle entre l'océan Pacifique et l'océan Atlantique, car sans cela il n'y aurait aucune raison pour que les eaux froides du sondage n° 3 soient coincées entre les eaux plus chaudes du sondage n° 4 et le banc de Burdwood.

Il nous semble presque superflu de faire remarquer que les différences entre les températures mesurées aux sondages n°s 3, 4 et 60 sont tellement supérieures aux erreurs d'observation admissibles que la recherche d'une explication du contraste constaté est entièrement justifiée.



Les sondages effectués le 18 et le 19 janvier 1898, vers 63° de longitude W. et par 59°58′ et 61°05′ de latitude, nous montrent déjà une répartition de températures parfaitement caractéristique pour les régions antarctiques. Les courbes de ces sondages n°s 5 et 6 démontrent l'existence d'eaux relativement chaudes près de la surface, recouvrant une couche d'eaux froides, à température inférieure à 0°, et dont le minimum est proche de la profondeur de 100 m.; et, en dessous de cette couche d'eaux glacées, on rencontre de nouveau des eaux à température supérieure à 0°, avec un maximum de température voisin de 500 m., profondeur à partir de laquelle le refroidissement est lent et uniforme jusqu'au fond de la mer, qui s'y trouve par 3800 et 3690 m.

Ces deux courbes concordent si bien qu'elles peuvent être considérées sans crainte comme représentant la distribution verticale de la température par 60 et 61° de latitude S., au nord des Shetland méridionales, durant la saison d'été.

Afin de faciliter la comparaison entre les données de ces sondages, nous avons utilisé les chiffres pour établir le tracé de la coupe N.-S. représentée ci-dessus [1]. Cette coupe montre fort bien la forme de la pointe terminale des eaux à température inférieure à 0°.

Les données thermométriques fournies par le sondage isolé effectué dans le détroit de Gerlache, doivent être considérées tout à fait à part. Bien que situé par 64° 23′ de latitude S., ce sondage nous démontre en effet l'existence de couches d'eau à température basse et presque uniforme jusqu'au fond, et les températures mesurées là, par 400 et 600 m. de profondeur, sont inférieures à celles de tous les autres sondages faits pendant toute la durée du voyage, notamment en hiver, dans le pack, par 71° de latitude S. Il est fâcheux que nous n'ayons aucune autre donnée sur la distribution des températures dans les eaux du détroit de Gerlache, car il est vraiment imprudent de généraliser d'après les renseignements fournis par un seul sondage. Cependant, en jugeant par analogie, les faits observés suggèrent l'idée que le détroit de Gerlache forme un bassin fermé, séparé de l'Océan par un seuil qui s'élève jusque environ 200 m. en dessous de la surface de la mer.

Les renseignements ci-après, extraits du journal des sondages, permettent d'étudier les observations d'une façon plus détaillée qu'il n'est possible de le faire sur les diagrammes qui les résument.

SONDAGE N° 3. Date : 15 janvier 1898.

Latitude : 55°51′ S.
Longitude : 63°20′ W. Profondeur : 4040 m.

Température de l'eau puisée à la surface de la mer : 6°,7 à 12^h ; 6°,3 à 16^h.
Température de l'air : 9°,6 à 12^h ; 8°,2 à 16^h.

Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	50 m.,	100 m.,	200 m.,	300 m.,	500 m.,	1000 m.,	3000 m.,	4025 m.
Temp. :	4°,8	3°,3	4°,2	2°,9	2°,2	2°,2	1°,2	(2°1 ?)

REMARQUES. — Le sondage a été commencé à 11^h 30^m et les déterminations des températures ont été terminées vers 15^h 15^m ; un thermomètre attaché à 10 m. de la sonde n'a pas fonctionné ; la température fournie par le thermomètre descendu à 4025 m. doit être fautive.

(1) Pour cette coupe, il a été impossible de garder les proportions adoptées dans les figures de la planche III.

SONDAGE N° 4. Date : 16 janvier 1898.

Latitude : 56° 49′ S.
Longitude : 64° 30′ W. Profondeur : 3855 m.

Température de l'eau puisée à la surface de la mer : 7°,8 à 8h ; 7°,8 à 19h.
Température de l'air : 8°,4 à 16h.

Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	25 m.,	50 m.,	75 m.,	100 m.,	150 m.,	200 m.,	250 m.,	300 m.,	500 m.,
Temp. :	6°,9	6°,2	6°,0	5°,4	6°,5	6°,3	5°,4	4°,4	3°,8

1850 m.,	2850 m.,	3850 m.
2°,2	1°,9	1°,2

REMARQUES. — Les opérations du sondage et les déterminations des températures ont duré de 13h 30m à 18h. Le temps a été presque calme, mais la mer était houleuse. Les données sur les températures proviennent de trois séries de déterminations : en sondant, un thermomètre a été attaché près de la bouteille de Sigsbee, à 5 m. de la sonde, un second après avoir laissé descendre 1000 m. de fil et un troisième à 2000 m.; pendant une deuxième opération, des thermomètres Negretti-Zambra ont été attachés au fil et six thermomètres Chabaud, à curseur, au-dessus; mais les deux premiers seuls ayant fonctionné (la chaînette du troisième curseur de Rung étant restée enlacée dans la monture du deuxième thermomètre), il a fallu recommencer une troisième fois, pour les profondeurs de 75, 100, 150 et 200 m., en se servant de trois thermomètres Negretti et d'un thermomètre à curseur. Une indication recueillie à 900 m. était fautive, car le fil à sonder étant sauté hors de la poulie pendant la descente, les manipulations nécessaires pour le remettre en place et les mouvements de va-et-vient produits par la houle ont fait fonctionner l'hélice de la monture du thermomètre.

SONDAGE N° 5. Date : 18 janvier 1898.

Latitude : 59° 58′ S.
Longitude : 63° 12′ W. Profondeur : 3800 m.

Température de l'eau puisée à la surface de la mer : 3°,1.
Température de l'air : 4°,0 à 12h.

Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	25 m.,	50 m.,	75 m.,	100 m.,	125 m.,	150 m.,	200 m.,	250 m.,	300 m.,	500 m.,	3785 m.
Temp. :	2°,3	0°,0	+0°,2	—1°,2	—0°,9	0°,0	1°,3	1°,7	1°,8	1°,8	+0°,6

REMARQUES. — Le sondage a été commencé à 11h 45m et la sonde a touché fond à 12h 20m ; la remonte a été terminée à 13h 30m. Un seul thermomètre, dans une monture à hélice, était attaché à 15 m. de la sonde, ainsi qu'une bouteille de Sigsbee. Pendant une deuxième opération, on a pris les températures à 50, 100, 250 et 500 m. à l'aide des thermomètres Negretti-Zambra. En une troisième descente, de quatre thermomètres Negretti-Zambra et de deux thermomètres Chabaud, on a effectué les déterminations à 25, 75, 125, 150, 200 et 300 m. de profondeur. Ces deux opérations ont été effectuées de 14h 30m à 15h 30m et, le bateau ayant marché après le sondage, la courbe des températures obtenue ne coïncide pas exactement avec le point sondé.

Grosse houle et, par suite, assez fort roulis ; le sondage et les déterminations des températures n'en ont pas moins été effectués sans le moindre accroc.

SONDAGE N° 6. Date : 19 janvier 1898.

Latitude : 61° 05′ S.
Longitude : 63° 04′ W. Profondeur : 3690 m.

Température de l'eau puisée à la surface de la mer : 3°,2.
Température de l'air : 3°,0 à 12h.

Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	25 m.,	50 m.,	75 m.,	100 m.,	125 m.,	150 m.,	200 m.,	250 m.,	300 m.,
Temp. :	2°,6	1°,3	—1°,0	—0°,9	—1°,4	—0°,9	(+2°,7 ?)	1°,1	1°,3

400 m.,	500 m.,	1200 m.,	1700 m.,	2700 m.,	3660 m.
1°,8	1°,9	1°,9	1°,4	0°,8	0°,6

REMARQUES. — La descente a duré 43 minutes, avec les arrêts nécessités pour attacher les thermomètres et un arrêt qu'il a fallu faire pour replacer le fil dans la grande poulie de la machine à sonder, hors de laquelle il avait sauté. On a mis une heure pour remonter la sonde ; une autre heure a été consacrée aux mesures des températures. Les opérations ont été terminées à 12h 45m.

Lors du sondage, un thermomètre et une bouteille de Sigsbee ont été attachés à 30 m. de la sonde, puis d'autres thermomètres à 1000, 2000 et 2500 m.; un thermomètre Chabaud a également été attaché à 3000 m. de la sonde et un autre devait suivre 500 m. plus haut, mais ce dernier ayant glissé des mains pendant l'attache est descendu le long du fil jusqu'au précédent. Après avoir remplacé la sonde par un poids, on a laissé descendre le fil à nouveau pour les mesures thermométriques à 25, 50, ... jusque 500 m., donc quatre thermomètres à hélice en dessous et sept thermomètres à curseur au-dessus, c'est-à-dire onze thermomètres en même temps. Les indications fournies par les deux thermomètres Chabaud utilisés lors du sondage (sans aucun doute dérangés par le choc reçu) étant fautives, on a refait la mesure à 100 m. de profondeur à l'aide d'un thermomètre Negretti et trouvé —0°,9 au lieu de +2°,9. La donnée fautive recueillie à 200 m. démontrant une forte erreur instrumentale de l'autre thermomètre, ces deux thermomètres ont été supprimés.

SONDAGE N° 7. Date : 20 janvier 1898.

Latitude : 62° 02′ S. Profondeur : 2900 m.
Longitude : 61° 58′ W.

Température de l'eau puisée à la surface de la mer : 1°,5.
Température de l'air : 1°,9 à 12h.

Température à 1300 m. de profondeur : 1°,0.

REMARQUES. — Ayant cru avoir touché fond par 1320 m., on a remonté la sonde ainsi que le thermomètre attaché 20 m. plus haut. La mer étant agitée, il a fallu filer de l'huile et le sondage a été effectué alors dans d'excellentes conditions. Descente : 11h 32m à 11h 56m. Remonté de 11h 57m à 12h 35m.

SONDAGE N° 9. Date : 28 janvier 1898.

Latitude : 64° 22′ S. Profondeur : 625 m.
Longitude : 62° 02′ W.

Température de l'eau puisée à la surface de la mer : 1°,2.
Température de l'air : 1°,0 à 12h.

Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	25 m.,	150 m.,	250 m.,	300 m.,	600 m.
Temp. :	0°,0	0°,1	0°,2	0°,3	—0°,2

REMARQUES. — C'est le seul sondage effectué dans le détroit de Gerlache. Une très légère houle se faisait sentir, le temps était brumeux, il neigeait un peu et le vent était faible du NE.

Des thermomètres Chabaud, qui devaient fournir les températures aux profondeurs de 50, 75, 100 et 125 m., n'ont pas fonctionné, la chaînette du curseur de Rung du premier thermomètre, qui se trouvait à 25 m. de profondeur, étant restée accrochée dans la monture de ce thermomètre. Les thermomètres ayant été descendus à nouveau, le même accident s'est reproduit, de sorte que seule la température de 0°,0, à 25 m. de profondeur, a été notée pour une seconde fois. Un troisième essai, refait avec les mêmes thermomètres à curseur, n'a donné aucun résultat.

foto p. 25

SONDAGE N° 60. Date : 23 mars 1899.

Latitude : 56° 28′ S. Profondeur : 4800 m.
Longitude : 85° 02′ W.

Température de l'air : 4°,2 à 12h.

Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	10 m.,	50 m.,	100 m.,	150 m.,	200 m.,	300 m.,	400 m.,	500 m.,	1000 m.
Temp. :	7°,4	7°,3	5°,9	5°,7	5°,6	5°,0	4°,8	4°,7	3°,4

REMARQUE. — Chaque mesure a été effectuée séparément à l'aide d'un même thermomètre Negretti-Zambra (n° 87387) placé dans une monture Chabaud, à curseur.

Températures mesurées au delà du cercle polaire

Si l'on envisage les résultats généraux des observations faites à bord de la BELGICA, observations au sujet desquelles on trouvera ci-après tous les détails voulus, on constate que dans l'extrême sud la température des eaux est la plus basse à la surface, où elle est de —2° environ ; qu'elle s'élève presque uniformément avec la profondeur jusque environ 600 m., où la température peut atteindre +1°,5 ; et que là où la mer a plus de 600 m. de profondeur la courbe s'infléchit de nouveau, la température des eaux allant en diminuant à partir de 600 m. de profondeur jusqu'au fond de la mer, où elle descend jusque +0°,5, aux endroits où le fond se trouve par 2700 m. ou au delà.

Vers le nord, là où l'Océan est dépourvu de glace de mer, la température des eaux de surface est un peu plus élevée et, en s'éloignant davantage de la banquise, une couche de plus en plus épaisse d'eau de surface, plus chaude, recouvre la couche d'eaux glacées si caractéristique pour la région de l'hivernage de la BELGICA. Comme nous l'avons déjà constaté, par 60° de latitude, au N. des Shetland méridionales, la température des eaux de surface est d'environ 3° et la température minimum, qui est de —1°,5, s'y trouve près de la profondeur de 100 m.; à partir de cette profondeur, la température s'élève jusqu'à un maximum d'environ +2°,0, situé vers 400 m. de profondeur, et puis, plus bas, on constate l'abaissement graduel de la température jusqu'au fond de la mer, tout comme ailleurs dans les océans.

Le fait qu'une température dépassant +1° peut être mesurée dans les eaux de la mer, par 70° de latitude S., en toute saison de l'année, ce fait prouve qu'il y a là une circulation continuelle amenant du N. les eaux profondes, plus chaudes, tandis que les couches supérieures d'eaux antarctiques, refroidies par la dissolution lente de la glace des icebergs et par l'action du climat polaire, s'épanchent vers le N., jusqu'au delà du 60e parallèle, où elles sont recouvertes à la surface par des eaux plus chaudes. La congélation de l'eau de mer et l'augmentation de la salinité des eaux dans lesquelles la glace s'est formée ne peuvent produire d'importants courants de convection descendants d'eaux mères froides — il suffit de penser à la lenteur avec laquelle la glace s'épaissit pour s'en convaincre ; mais, dans tous les cas, si même de tels mouvements sont admissibles, le déplacement des eaux profondes, venant du N., est d'une importance tellement supérieure qu'il empêche la congélation de se poursuivre jusqu'à la formation de plaques de glace d'une très grande épaisseur.

Considérant les sondages thermométriques effectués au S. du cercle polaire suivant leur latitude, par groupes, abstraction faite des dates et des profondeurs, nous pouvons arriver à certaines conclusions bien définies concernant les conditions générales de la température des eaux profondes de la portion des mers antarctiques explorée. Cette étude nous permet du reste, en concentrant notre attention sur les observations anomales, d'éliminer quelques chiffres inexacts.

Le premier groupe se compose de six sondages faits entre les latitudes de 69° 06′ et 70° 01′ S., et quoique deux de ces sondages seulement comprennent des températures mesurées en dessous de la profondeur de 600 m., les parties supérieures des courbes obtenues pour ces sondages correspondent si bien avec trois des autres courbes que l'ensemble de ces données

nous fournit vraiment une fort bonne idée des conditions thermiques de la mer dans l'espace compris entre 69° 30′ et 70° de latitude S. et entre 81° et 86° de longitude W.

Le sondage discordant est celui opéré par 69° 06′ de latitude S. (n° 11), la lecture de —1°,7 à 300 m. de profondeur notamment étant en complet désaccord avec les résultats des autres sondages. Les cinq autres sondages ont été faits à des saisons différentes. Deux d'entre eux (n°s 12 et 13) ont été effectués le 23 et le 24 février 1898, c'est-à-dire l'un au lendemain de l'autre et par des positions rapprochées, mais l'un au N. de l'autre, nous permettant par cela même de connaître exactement la pente des surfaces isothermes par 81° de longitude (voyez coupe D de la planche III). Deux autres sondages (n°s 49 et 50), pratiqués par 4° à l'W. des précédents le 31 décembre 1898 et le 2 janvier 1899, sont encore plus rapprochés et également l'un à peu près au N. de l'autre. La comparaison des chiffres (ainsi que la coupe B de la planche III) montre que les résultats de ces sondages correspondent parfaitement à ceux obtenus plus de dix mois auparavant, et que les pentes des surfaces isothermes sont, dans les deux cas, à peu de chose près les mêmes. Or, entre ces sondages du mois de février et ceux de décembre et janvier, se place celui du 9 septembre (n° 32), opéré par 69° 51′ de latitude S. et 82° 37′ de longitude W., précisément pendant la saison des plus grands froids. La comparaison des chiffres fournis par ce sondage avec ceux des autres sondages (de même que la coupe C qui rend cette comparaison plus aisée) nous montre qu'à partir de la profondeur de 150 m. la distribution des températures n'a pas varié. La conclusion qu'il faut en tirer est que les variations dues aux changements des saisons n'intéressent que les couches superficielles, jusqu'à la profondeur de 150 m. tout au plus, et que l'on peut par conséquent grouper les résultats des sondages effectués et en déduire des conclusions, par la comparaison des données, sans tenir compte de l'époque de l'année à laquelle ils ont été obtenus.

Les courbes thermiques des cinq sondages pris en considération nous montrent que près de la surface la température des eaux est voisine de —2°, qu'elle s'élève alors doucement jusqu'à la profondeur de 600 m., où le maximum d'environ +1°,3 est atteint, tandis que la profondeur à laquelle se rencontre la température de 0° varie, suivant la position des sondages, entre 320 et 360 m. En dessous de 600 m. la température des eaux diminue très doucement avec la profondeur, le point le plus bas mesuré étant 0°,6 par 1340 m.

La région considérée, comparée dans ses relations thermiques à celle située au N. des Shetland méridionales, s'en distingue essentiellement par ce fait que la couche de température minimum s'y trouve à la surface ; il y a également lieu de noter que le point maximum de la courbe thermique semble être situé plus bas et que, dans le cas des sondages au cours desquels seules des températures de fond ont été mesurées, ces températures sont toujours plus basses, par 70° de latitude S., qu'aux mêmes profondeurs par 60° de latitude, fait qui était d'ailleurs à prévoir.

Le second groupe de sondages à considérer à part comprend ceux qui se trouvent entre 70° et 70° 21′ de latitude S. et entre 82° 50′ et 86° de longitude. Ce groupe comporte six sondages (n°s 35, 43, 45, 46, 47 et 48) dont les données sont suffisamment nombreuses pour permettre le tracé des courbes thermiques (Pl. II) et d'une coupe dirigée de l'E. à l'W. (coupe A, Pl. III).

Les courbes, qui s'accordent parfaitement entre elles, nous montrent, de même que celles du premier groupe, les températures les plus basses à la surface, ou près de la surface, où l'eau a jusqu'à une profondeur d'environ 100 m. —1°,9 à —2°,0 ; mais l'accroissement de la tempé-

rature est plus rapide, dans le cas de ces sondages, 0° se trouvant à des profondeurs variant entre 260 et 330 m.; au contraire, plus bas, les températures s'élèvent moins rapidement, le maximum de +1°, au fond, étant à 600 m. Ces sondages ont été faits pendant les trois mois écoulés entre le 26 septembre et le 29 décembre et ils n'indiquent, dans la distribution des températures, aucun changement qui pourrait être attribué à l'influence de la marche des saisons.

Le troisième groupe de sondages comporte ceux pratiqués entre 70° 30′ et 70° 53′ de latitude S. Ils sont au nombre de quatre, mais l'un d'entre eux doit être éliminé à cause de ce fait que les observations, qui n'ont été effectuées qu'aux profondeurs de 3, 50, 100 et 700 m., sont absolument insuffisantes pour établir la position du maximum et celle du 0° de température. Les sondages restants sont remarquablement discordants, la différence étant la plus notable entre le sondage n° 27, fait le 5 mai 1898 par 70° 53′ S., 89° 19′ W., et le sondage n° 54, fait le 19 et le 20 février 1899, par 70° 30′ S. et 94° 12′ W.; tandis que le sondage n° 55, du 2 mars 1899, par 70° 33′ S. et 97° 16′ W., a donné des chiffres qui sont pour la plupart des valeurs moyennes entre ceux exprimant les températures aux mêmes profondeurs des deux autres sondages.

Par 89°, de même que par 94° de longitude, l'eau avait à partir de la surface jusque 100 m. de profondeur pratiquement une température uniforme de —2°,0 à —1°,8, et en dessous de 500 m., profondeur à partir de laquelle, dans les deux cas, la température allait en diminuant très doucement jusqu'au fond, les courbes ne diffèrent entre elles que d'un demi-degré au plus. La différence remarquable consiste en ce que, au sondage n° 27, du 5 mai 1898, la température alla en s'élevant plus doucement que dans aucun autre cas observé plus au N., n'atteignant 0° qu'à 380 m. et le maximum de +1° à la profondeur de 500 m. Le sondage n° 54, des 19 et 20 février 1899, par contre, nous montre une élévation de température très rapide entre 100 et 200 m., 0° se trouvant à 170 m. et le maximum de +1°,6 étant à 400 m., profondeur à partir de laquelle la diminution de la température était graduelle et lente. Ce sondage est vraiment anormal à cause de la position qu'il occupe, puisque sa courbe thermique ressemble exactement à celle obtenue par 60° de latitude, en ce qui concerne les températures mesurées en dessous de la profondeur de 100 m. Rien ne semble indiquer une différence dans les conditions physiques de la localité, de sorte que si nous prenons en considération le fait de l'existence de l'île Pierre-le-Grand, par 91° de longitude, ainsi que le caractère intermédiaire des données du sondage n° 55, situé plus à l'W., nous sommes forcés d'admettre l'existence vers le 94e méridien d'un courant profond, relativement chaud, amenant les eaux du N. vers le S.

Sous ce rapport, il est intéressant de noter le fait que le « farthest south » du capitaine Cook se trouve situé par environ 10° plus loin à l'W. de ce méridien et que là la limite du pack ne s'étendait pas aussi loin vers le N. qu'ailleurs, suivant le 70e parallèle.

Le quatrième groupe de sondages thermométriques embrasse ceux dont la latitude est comprise entre 70° 59′ et 71° 31′ S. Si nous en exceptons le sondage n° 20, qui a donné des résultats très douteux, nous pouvons dire qu'ils sont tous analogues au type du sondage n° 27, c'est-à-dire qu'ils nous montrent une élévation de température extrêmement lente jusqu'à 200 m., profondeur à laquelle la température est de —1°,8 dans le cas des sondages nos 29 et 30, et certainement plus basse encore au sondage n° 28, qui se trouve au S. du n° 27.

A la profondeur de 300 m., ce sondage n° 28, qui ne comprend malheureusement que trois lectures de température, a fourni le chiffre —1°,8; plus loin vers l'E., aux sondages nos 29 et 30,

la température était de —1°,3 à cette même profondeur, tandis qu'aux sondages nos 17 et 19 elle s'est élevée à —0°,7 et —0°,4.

A 400 m., les températures étaient encore négatives aux sondages nos 29 et 30, mais voisines de 0°, et aux sondages nos 17 et 19, au contraire, la température mesurée à cette profondeur est de +0°,2.

Il ressort de ces remarques que c'est environ par 89° de longitude que les eaux sont les plus froides au S. du 71e parallèle. Au fond de la mer, les sondages nos 29 et 30 ont fourni les températures de —0°,3 à 415 m. et de —0°,2 à 420 m., et la comparaison des données de ces sondages avec celles obtenues plus à l'E. démontre que des températures plus basses encore doivent pouvoir être mesurées à l'W. ou au SW., c'est-à-dire par 88 à 89° de longitude au S. de 70° 20′ de latitude.

Quant aux données du sondage douteux n° 20, la coupe F de la planche III montre que les chiffres obtenus au cours de ce sondage nous autorisent à présumer l'existence d'un courant profond qui, entre 84 et 85° de longitude W., amènerait les eaux relativement chaudes du N. jusqu'au delà du 71e parallèle.

Les sondages thermométriques dont il vient d'être question sont résumés graphiquement, sur les planches annexées à ce mémoire, d'une façon suffisamment complète pour que, après ce qui vient d'être dit, peu de commentaires soient encore nécessaires. Les courbes dessinées sur la planche II permettent en effet de se rendre aisément compte des conditions thermiques de la mer à proximité de la lisière du pack, ainsi que sous les glaces de la banquise dans la région de la dérive de la Belgica. Pour plus de facilité, le premier diagramme de la planche IV, qui donne l'allure générale des isobathes, fournit également les positions des sondages, et ceux au cours desquels des séries de mesures thermométriques ont été effectuées sont marqués d'un petit cercle avec l'indication du numéro du sondage ; le deuxième diagramme donne les températures mesurées à proximité du fond de la mer. Les lignes droites, marquées des lettres A, B, C, D, F et H, indiquent les coupes qui figurent sur la planche III et dont il a déjà été question. Au sujet de ces coupes, il y a lieu de faire remarquer l'exagération vraiment démesurée des pentes qu'elles indiquent.

C'est ainsi que les plus fortes pentes du fond de la mer, à la terminaison du plateau continental, ne dépassent pas 2°. Par comparaison, il est aisé de voir que les pentes des surfaces isothermes sont en réalité extrêmement faibles.

Le point essentiel des coupes de la planche III est la délimitation de la couche d'eau glacée de surface. Il nous a paru intéressant de résumer à ce point de vue particulier toutes les données. A cette fin (à l'aide des courbes des sondages nos 11, 12, 13, 17, 19, 20, 27, 28, 29, 30, 32, 35, 43, 45, 46, 47, 49, 50, 54 et 55), nous avons recherché les profondeurs jusqu'auxquelles la température des eaux est inférieure à 0°, puis, marquant ces profondeurs sur la carte, nous avons dessiné les courbes de la deuxième figure de la planche IV. Ces courbes, qui peuvent être dénommées les isothermobathes de 0°, résument la répartition géographique des particularités des courbes thermiques et nous permettent d'en comprendre aisément la raison d'être. Par 91° de longitude, le socle de l'île Pierre-le-Grand (découverte en 1821 par Bellingshausen et dont l'existence ne saurait être mise en doute) doit forcément diviser suivant les directions des flèches *M* et *N* le courant profond des eaux relativement chaudes venant du large. Une côte située, peut-être bien peu au S. de notre dérive, par environ 88° de longitude, dévie vers l'E. la branche

N de ce courant, qui se courbe vers le NE. et se replie sur lui-même de telle sorte que les eaux plus chaudes que 0° montent en s'avançant de l'W. vers l'E. Car sans cela on ne saurait comprendre pourquoi on note 0° par 305 m. au sondage n° 46, 275 m. au sondage n° 45 et environ 260 m. au sondage n° 43, sondages qui sont situés au S. des sondages n°s 49 et 32, où les températures supérieures à 0° ne commencent qu'à partir des profondeurs de 360 et de 350 m.

Plus haut, il a déjà été question du courant figuré par la flèche *M*, et des remarques antérieures il ressort aussi que, si les données du sondage n° 20 ne sont pas absolument illusoires, le courant figuré par la flèche *N* doit en réalité se recourber vers le S. jusqu'au delà du 71e parallèle. D'après ce que nous avons vu, la comparaison de la courbe du sondage n° 54 avec celle du n° 6 montre encore combien il serait intéressant de poursuivre le tracé des isothermobathes de 0° jusqu'au N. des Shetland méridionales, puisque ces deux sondages, qui sont distants en latitude de plus de 9°, nous montrent des courbes thermiques ne différant pas entre elles davantage que celles des sondages n°s 3 et 4.

Nous donnons ci-après les renseignements détaillés au sujet des sondages au cours desquels des températures ont été mesurées.

SONDAGE N° 10. Date : 16 février 1898.

Latitude : 67° 58′ S. Profondeur : 135 m.
Longitude : 70° 39′ W.

Température de l'eau puisée à la surface de la mer : —1°,4.
Température de l'air : 0°,8 à 16^h^.

Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	10 m.,	40 m.,	80 m.,	100 m.,	120 m.
Temp. :	—1°,7	—1°,5	—1°,5	—1°,5	—1°,2

REMARQUES. — Temps couvert et presque calme. Légère houle. Pas de glace de mer dans les environs immédiats ; plusieurs icebergs en vue, dont le plus proche est à environ 1 mille du bateau. Le sondage et les mesures thermométriques ont été faits de 16^h^ à 16^h^ 35^m^, en vue de la Terre Alexandre Ier.

SONDAGE N° 11. Date : 19 février 1898.

Latitude : 69° 06′ S. Profondeur : 480 m.
Longitude : 78° 22′ W.

Température de l'eau puisée à la surface de la mer : —1°,6.
Température de l'air : —1°,0 à 12^h^.

Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	25 m.,	50 m.,	75 m.,	100 m.,	200 m.,	300 m.,	465 m.
Temp. :	—1°,2	—1°,8	—1°,3	—1°,7	—1°,4	—1°,7	+1°,2

REMARQUES. — La BELGICA se trouvait à proximité de nombreux icebergs et près de la lisière de la banquise. A minuit on avait compté 147 icebergs sur tout le pourtour de l'horizon. Le sondage et les mesures ont duré une heure, de 11 à 12^h^. Toutes les mesures, sauf celles à 15 m. du fond et à la surface, ont été faites en même temps.

SONDAGE N° 12. Date : 23 février 1898.

Latitude : 69° 46′ S. Profondeur : 565 m.
Longitude : 81° 06′ W.

Température de l'eau puisée à la surface de la mer : —1°,8.
Température de l'air : —6°,1 à 12h.

Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	25 m.,	50 m.,	65 m.,	75 m.,	100 m.,	125 m.,	200 m.,	300 m.,
Temp. :	—2°,0	—1°,9	—1°,8	—1°,7	—1°,7	—1°,7	—1°,4	—0°,7

400 m.,	500 m.,	550 m.
+0°,3	+0°,9	+1°,0

REMARQUES. — Les mesures, qui ont duré de 10h 30m à 12h 15m, ont été faites en quatre opérations : d'abord, en sondant, un thermomètre a été attaché à 15 m. et un autre thermomètre Negretti-Zambra à 500 m. de la sonde ; puis, quatre thermomètres Negretti-Zambra et deux thermomètres Chabaud ont été descendus ensemble aux profondeurs de 50, 100, 200, 300, 400 et 500 m.; le second Chabaud (à 100 m.) n'ayant pas fonctionné, on a pris des mesures à 25, 50, 75, 100 et 125 m. à l'aide de thermomètres à hélice et d'un thermomètre à curseur ; enfin, à titre de vérification, on a laissé descendre le fil une quatrième fois pour des mesures à 50 et à 100 m. de profondeur. Les deux mesures à 100 m. ont donné —1°,7 à —1°,8 et —1°,7. Les trois mesures à 50 m. ont donné —1°,9, —2°,0 et 1°,8.

Le sondage a été effectué dans le pack, non loin de la lisière des glaces, et en vue de 320 icebergs.

SONDAGE N° 13. Date : 24 février 1898.

Latitude : 69° 30′ S. Profondeur : 510 m.
Longitude : 81° 30′ W.

Température de l'eau puisée à la surface de la mer : —1°,7.
Température de l'air : —5°,0 à 12h.

Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	46 m.,	50 m.,	100 m.,	150 m.,	200 m.,	300 m.,	400 m.,	488 m.
Temp. :	—2°,0	—1°,9	—1°,7	—1°,5	—1°,2	—0°,2	+0°,9	+1°,0

REMARQUES. — Sondage et mesures effectués, à proximité de la banquise, de 13h 20m à 14h 30m. Après la détermination de la profondeur, quatre thermomètres Negretti-Zambra et deux thermomètres Chabaud ont été attachés au fil à sonder et descendus aux profondeurs de 50, 100, 150, 200, 300 et 400 m. Le curseur de Rung ne s'étant pas détaché du premier thermomètre, on a fait fonctionner le second Chabaud à la profondeur de 46 m. Finalement on a encore laissé descendre un thermomètre Negretti-Zambra à 100 mètres.

SONDAGE N° 14. Date : 25 février 1898.

Latitude : 69° 16′ S. Profondeur : 2700 m.
Longitude : 82° 24′ W.

Température de l'eau puisée à la surface de la mer : —1°,5.
Température de l'air : —4°,3 à 20h.

Température à 2680 m. de profondeur : +0°,3.

REMARQUES. — Au cours d'un premier essai, qui a été manqué, 2560 m. de fil, une bouteille de Sigsbee et deux thermomètres Negretti et Zambra ont été perdus. Le second sondage a été effectué de 20 à 22h, dans les glaces.

SONDAGE N° 15. Date : 27 février 1898.

Latitude : 69° 24′ S.
Longitude : 84° 41′ W. Profondeur : 2600 m.

Température de l'eau puisée à la surface de la mer : —1°,4 à 16h.
Température de l'air : —2°,2 à 12h.

Température à 2580 m. de profondeur : +0°,2.

REMARQUES. — En mer libre, pas de glace de mer en vue, quelques icebergs seulement. La descente a duré de 10h 23m à 10h 55m ; remonté la sonde de 11h à 11h 55m.

SONDAGE N° 16. Date : 27 février 1898.

Latitude : 69° 42′ S.
Longitude : 84° 43′ W. Profondeur : 1730 m.

Température de l'eau puisée à la surface de la mer : —1°,4 à 18h.
Température de l'air : —1°,5 à 18h.

Température à 1710 m. de profondeur : +0°,4.

REMARQUE. — Sondage effectué entre 17h et 18h, en mer libre, en vue de glace de mer et de 25 icebergs.

SONDAGE N° 17. Date : 1er mars 1898.

Latitude : 71° 06′ S.
Longitude : 85° 23′ W. Profondeur : 570 m.

Température de l'eau puisée à la surface de la mer : —1°,7.
Température de l'air : —1°,8 à 8h.

Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	25 m.,	50 m.,	75 m.,	100 m.,	150 m.,	200 m.,	300 m.,	500 m.,	555 m.
Temp. :	—2°,0	(—1°,6)	(—1°,7)	—1°,8	—1°,7	—1°,4	—0°,7	+0°,9	+0°,9

REMARQUES.— Mesures faites entre 8h 20m et 9h 35m, dans une clairière, au milieu des glaces. Après le sondage, une première série de trois thermomètres Negretti-Zambra et de deux thermomètres Chabaud a fourni les chiffres relatifs aux profondeurs de 100, 150, 200, 300 et 500 m.; les données pour les profondeurs de 25, 50 et 75 m. ont été obtenues après coup, à l'aide d'un thermomètre Chabaud et de deux thermomètres Negretti-Zambra de grand modèle. Ces deux dernières déterminations, aux profondeurs de 50 et de 75 m., sont très probablement fautives.

SONDAGE N° 18. Date : 1er mars 1898.

Latitude : 71° 17′ S.
Longitude : 85° 26′ W. Profondeur : 520 m.

Température de l'eau puisée à la surface de la mer : —1°,7.
Température de l'air : —1°,3 à 16h.

Température à 500 m. de profondeur : +0°,9.

REMARQUES. — Sondage effectué dans le pack. Descente de la sonde : 16h 30m à 16h 33m. Remonté la sonde et le thermomètre de 16h 35m à 16h 45m.

SONDAGE N° 19. Date : 2 mars 1898.

Latitude : 71° 31′ S.
Longitude : 85° 19′ W. Profondeur : 460 m.

Température de l'eau puisée à la surface de la mer : —1°,7.
Température de l'air : —4°,3 à 12h.

Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	25 m.,	50 m.,	60 m.,	100 m.,	150 m.,	200 m.,	250 m.,	300 m.,	400 m.,	445 m.
Temp. :	—2°,0	—1°,9	—2°,0	—1°,9	—1°,8	—1°,6	—1°,0	—0°,4	+0°,2	+0°,5

REMARQUES.— Sondage et déterminations effectués dans le pack, de 11h 15m à 12h 30m. En sondant, on a obtenu la température à 445 m. de profondeur ; puis on a fait les mesures à 100, 150, 200, 300 et 400 m. à l'aide de deux thermomètres Negretti-Zambra et de trois thermomètres Chabaud, et l'on a recommencé deux autres séries pour les profondeurs de 25, 50, 75 et 150 m., et pour 60, 200 et 250 m. Les valeurs obtenues à l'aide des grands thermomètres Negretti, au cours de ces deux dernières opérations, pour les profondeurs de 75 (—1°,5), 150 (—1°,5) et 200 m.(—1°,2), étant probablement fautives, on a préféré ne pas les prendre en considération.

SONDAGE N° 20. Date : 4 mars 1898.

Latitude : 71° 22′ S.
Longitude : 84° 55′ W. Profondeur : 530 m.

Température de l'eau puisée à la surface de la mer : —1°,5.
Température de l'air : —3°,6 à 12h.

Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	50 m.,	100 m.,	150 m.,	200 m.,	300 m.,	400 m.,	450 m.,	515 m.
Temp. :	—1°,8	—1°,3, —1°,4	—1°,2,—1°,4	(—0°,4, —2°,0)	(+0°,4)	+0°,1	+0°,7	+0°,9

REMARQUES.— Sondage et déterminations effectués dans le pack, de 11h 30m à 11h 50m et de 12h 45m à 13h 45m. En sondant, on a mesuré la température à 15 m. du fond ; les autres chiffres ont été obtenus en trois opérations, dont la première a fourni les chiffres pour les profondeurs de 150 (—1°,2 Ch.), 200 (—2°,0 Ch.), 400 (+0°,1 NZ.) et 450 m. (+0°,7 NZ.), la seconde ceux de 100 (—1°,4 NZ.), 200 (—0°,4 NZ.) et 300 m. (+0°,4 NZ.), et la dernière enfin la température à 50 m. et les autres chiffres pour 100 et 150 m. Les difficultés des opérations dans le pack, non encore consolidé, étaient très grandes, de sorte que les chiffres pour 200 et 300 m. de profondeur, qui sont évidemment erronés, n'ont pu être remplacés par des mesures convenables.

SONDAGE N° 21. Date : 5 mars 1898.

Latitude : 71° 19′ S.
Longitude : 85° 28′ W. Profondeur : 520 m.

Température de l'eau puisée à la surface de la mer : —1°,7.
Température de l'air : —4°,3 à 12h.

Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	200 m.,	300 m.,	505 m.
Temp. :	—1°,6	—1°,1	+0°,9

REMARQUES. — Sondage et déterminations effectués dans le pack, de 11h à 12h. Les mesures des températures ont été faites à l'aide de thermomètres Negretti et Zambra. Il a été impossible de poursuivre le travail, la glace venant s'accumuler contre le bateau.

SONDAGE N° 24. Date : 22 avril 1898.

Latitude : 71° 03′ S.
Longitude : 92° 03′ W. Profondeur : 480 m.

Température à 460 m. de profondeur : +1°,0.

REMARQUE. — Les feux dans la machine étaient éteints, de sorte qu'il a fallu travailler avec la machine à sonder de Le Blanc sans l'aide de la vapeur.

SONDAGE N° 25. Date : 26 avril 1898.

Latitude : 70° 49′ S.
Longitude : 92° 00′ W. Profondeur : 410 m.

Température de l'eau à la surface, immédiatement en dessous de la glace : —2°,0.

Température de l'air : —17°,5 à 10h.

Température à 390 m. de profondeur : +0°,6.

SONDAGE N° 26. Date : 4 mai 1898.

Latitude : 70° 33′ S.
Longitude : 89° 22′ W. Profondeur : 1150 m.

Température de l'air : —7°,0 à 12h.

Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	3 m.,	50 m.,	100 m.,	700 m.
Temp. :	—1°,9	—2°,0	—1°,7	+1°,0

REMARQUES. — La température à 3 m. est celle de l'eau puisée au moyen d'un seau sous la glace ; les autres déterminations ont été faites la veille, à l'aide de la petite machine de Belloc et d'un thermomètre Negretti-Zambra (n° 87387) placé dans une monture Chabaud à curseur.

Toutes les mesures de température qui suivent ont été faites avec ce seul et même thermomètre.

SONDAGE N° 27. Date : 5 mai 1898.

Latitude : 70° 53′ S.
Longitude : 89° 19′ W. Profondeur : 730 m.

Température de l'air : —1°,1 à 10h.

Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	5 m.,	25 m.,	100 m.,	200 m.,	300 m.,	400 m.,	500 m.,	600 m.,	680 m.
Temp. :	—2°,0	—2°,0	—1°,8	—1°,7	—1°,0	+0°,2	+1°,0	+1°,0	+0°,9

REMARQUES. — Toutes les déterminations ont été effectuées séparément à l'aide du thermomètre n° 87387 de Negretti et Zambra enchâssé dans une monture de Chabaud.

La position de ce sondage est indiquée d'après la carte de la dérive de la BELGICA de M. Lecointe : elle n'est donc qu'approximative.

SONDAGE N° 28. Date : 10 mai 1898.

Latitude : 70° 59′ S.
Longitude : 89° 06′ W. Profondeur : 460 m.

Température de l'eau à la surface entre les glaçons : —1°,8.
Température de l'air : —0°,7 à 14h.

Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	250 m.,	300 m.,	440 m.
Temp. :	—1°,9	—1°,8	+0°,3

REMARQUES. — Le temps étant resté couvert, il a été impossible d'obtenir la position, de sorte que les coordonnées du lieu ont été interpolées d'après la carte de la dérive de M. Lecointe. Le sondage a été fait de 10 à 11h et les déterminations de température de 13h à 15h.

Le fil à sonder est descendu parfaitement selon la verticale ; la dérive n'était donc pas sensible.

SONDAGE N° 29. Date : 20 mai 1898.

Latitude : 71° 16′ S.
Longitude : 87° 38′ W. Profondeur : 435 m.

Température de l'eau immédiatement sous la glace (2 à 3 m. sous le niveau de l'eau) : —1°,9.
Température de l'air : —5°,0 à 12h.

Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	50 m.,	100 m.,	200 m.,	350 m.,	415 m.
Temp. :	—1°,9	—1°,9	—1°,8	—1°,0	—0°,3

REMARQUES. — Le sondage et les déterminations des températures ont été faits de 12h à 16h 30m. Les températures ont toutes été prises à l'aide du même thermomètre, comme précédemment. Le temps étant calme, la dérive de la glace n'était pas sensible et le fil était tout à fait vertical.

SONDAGE N° 30. Date : 26 mai 1898.

Latitude : 71° 14′ S.
Longitude : 87° 42′ W. Profondeur : 436 m.

Température de l'air : —14°,7 à 12h.

Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	5 m.,	25 m.,	50 m.,	100 m.,	150 m.,	200 m.,	250 m.,	300 m.,	350 m.,	380 m.,	420 m.
Temp. :	—2°,0	—2°,0	—1°,9	—1°,9	—1°,8	—1°,8	—1°,7	—1°,3	—0°,9	—0°,5	—0°,2

REMARQUES. — Les températures ont été déterminées en sept opérations (à 420 m. en sondant, puis à 5, 25 et 50, 100 et 150, 200 et 250, 300 et 350, 380 m.), à l'aide de thermomètres Negretti-Zambra à hélice. Le temps était calme ; le fil est resté parfaitement vertical.

SONDAGE N° 31. Date : 2 septembre 1898.

Latitude : 70° 00′ S.
Longitude : 82° 45′ W. Profondeur : 502 m.

Température de l'air : —23°,1 à 14h.

Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	5 m.,	443 m.,	475 m.
Temp. :	—2°,0	+0°,7	+0°,8

REMARQUES. — Le sondage a été effectué à environ 50 m. à bâbord de la BELGICA, par un trou percé dans la glace. Le dispositif employé est décrit dans le Rapport sur les relations bathymétriques. Les déterminations ont été faites séparément à l'aide du thermomètre n° 87387 enchâssé dans une monture Chabaud.

SONDAGE N° 32. Date : 9 septembre 1898.

Latitude : 69° 51′ S.
Longitude : 82° 37′ W. Profondeur : 510 m.

Température de l'air : —34°,5 à 14h.
Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	50 m.,	75 m.,	100 m.,	125 m.,	150 m.,	175 m.,	200 m.,	250 m.,
Temp. :	—2°,0	—2°,0	—2°,0	—2°,0	—1°,7	—1°,3	—1°,2	—1°,0

300 m.,	350 m.,	400 m.,	450 m.,	500 m.
—0°,8	0°,0	+0°,6	+0°,8	+0°,8

REMARQUES. — Toutes les opérations ont été faites, comme pour le sondage précédent, dans le trou pratiqué à environ 50 m. du bateau. Chaque détermination a été effectuée séparément à l'aide du même thermomètre. Les chiffres pour 150 et 450 m. ont été vérifiés et les résultats obtenus étaient identiques.

SONDAGE N° 33. Date : 14 septembre 1898.

Latitude : 69° 54′ S.
Longitude : 83° 04′ W. Profondeur : 480 m.

Température de l'air : —18°,9 à 13h.
Température à 470 m. de profondeur : +0°,8.

SONDAGE N° 34. Date : 22 septembre 1898.

Latitude : 70° 22′ S.
Longitude : 82° 31′ W. Profondeur : 485 m.

Température de l'air : —6°,3 à 12h.
Température à 475 m. de profondeur : +0°,8.

SONDAGE N° 35. Date : 26 septembre 1898.

Latitude : 70° 21′ S.
Longitude : 82° 51′ W. Profondeur : 485 m.

Température de l'air : —19°,3 à 12h.
Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	10 m.,	50 m.,	100 m.,	125 m.,	150 m.,	175 m.,	200 m.,	225 m.,	250 m.,
Temp. :	—2°,0	—2°,0	—2°,0	—1°,7	—1°,3	—1°,2	—1°,1	—1°,0	—1°,0

300 m.,	325 m.,	350 m.,	400 m.,	450 m.,	475 m.
—0°,3	0°,0	+0°,3	+0°,7	+0°,8	+0°,8

REMARQUE. — Travaillé comme précédemment avec le même thermomètre, de sorte que chaque détermination a été faite séparément.

SONDAGE N° 36. Date : 29 septembre 1898.

Latitude : 70° 21′ S.
Longitude : 82° 39′ W. Profondeur : 480 m.

Température de l'air : —21°,5 à 11h.
Température à 470 m. de profondeur : +0°,8.

SONDAGE N° 37. Date : 7 octobre 1898.

Latitude : 70° 30′ S.
Longitude : 82° 48′ W. Profondeur : 480 m.

Température de l'air : —12°,8 à 11h.
Température à 470 m. de profondeur : +0°,8.

REMARQUE. — Le fil à sonder était légèrement incliné, à cause de la dérive de la glace vers le N.

SONDAGE N° 38. Date : 16 octobre 1898.

Latitude : 69° 59′ S.
Longitude : 80° 54′ W. Profondeur : 532 m.

Température de l'air : —5°,0 à 10h.
Température à 522 m. de profondeur : +0°,9.

SONDAGE N° 39. Date : 19 octobre 1898.

Latitude : 70° 02′ S.
Longitude : 80° 46′ W. Profondeur : 580 m.

Température de l'air : —4°,6 à 16h.
Température à 570 m. de profondeur : +0°,9.

SONDAGE N° 40. Date : 24 octobre 1898.

Latitude : 69° 43′ S.
Longitude : 80° 51′ W. Profondeur : 537 m.

Température de l'air : —18°,5 à 11h.
Température à 527 m. de profondeur : +0°,9.

SONDAGE N° 42. Date : 10 novembre 1898.

Latitude : 70° 09′ S.
Longitude : 82° 34′ W. Profondeur : 490 m.

Température de l'air : —7°,8 à 16h.
Température à 480 m. de profondeur : +0°,8.

SONDAGE N° 43. Date : 28 novembre 1898.

Latitude : 70° 20′ S.
Longitude : 83° 23′ W. Profondeur : 459 m.

Température de l'air : —5°,7 à 14h.
Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	20 m.,	100 m.,	200 m.,	300 m.,	450 m.
Temp. :	—2°,0	—1°,8	—0°,7	+0°,3	+0°,8

REMARQUE. — Les déterminations ont été faites, comme précédemment, à l'aide du même thermomètre.

SONDAGE N° 45. Date : 20 décembre 1898.

Latitude : 70° 15′ S.
Longitude : 84° 04′ W. Profondeur : 569 m.

Température de l'air : —1°,2 à 15h.
Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	30 m.,	60 m.,	100 m.,	150 m.,	200 m.,	250 m.,	300 m.,	400 m.,	500 m.,	550 m.
Temp. :	—1°,9	—1°,8	—1°,5	—1°,1	—0°,7	—0°,2	+0°,2	+0°,6	+0°,7	+0°,8

SONDAGE N° 46. Date : 22 décembre 1898.

Latitude : 70° 19′ S.
Longitude : 84° 51′ W. Profondeur : 640 m.

Température de l'air : —0°,8 à 16h.
Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	50 m.,	100 m.,	150 m.,	200 m.,	300 m.,	350 m.,	400 m.,	500 m.,	600 m.
Temp. :	—2°,0	—1°,9	—1°,8	—1°,2	—0°,1	+0°,3	+0°,6	+0°,9	+1°,0

REMARQUE. — Pendant le sondage, on a observé une légère inclinaison du fil due soit à un courant sous-marin, soit à la dérive du champ de glace.

SONDAGE N° 47. Date : 27 décembre 1898.

Latitude : 70° 20′ S.
Longitude : 85° 52′ W. Profondeur : 630 m.

Température de l'air : +1°,8 à 16h.
Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	10 m.,	100 m.,	200 m.,	300 m.,	400 m.,	500 m.,	620 m.
Temp. :	—2°,0	—1°,9	—1°,2	—0°,4	+0°,8	+0°,9	+1°,0

REMARQUE. — Le fil était parfaitement vertical.

SONDAGE N° 48. Date : 29 décembre 1898.

Latitude : 70° 15′ S.
Longitude : 85° 51′ W. Profondeur : 660 m.

Température de l'eau à la surface (0m,20) dans le puits des sondages : +0°,7.
Température de l'air : +1°,7 à 14h.
Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	50 m.,	300 m.,	600 m.
Temp. :	—1°,9	—0°,6	+0°,9

REMARQUES. — Au cours d'un premier sondage (659 m.), la sonde est restée au fond de la mer. Un second sondage (662 m.) a été fait tout de suite après, à l'aide d'une autre sonde. Les mesures de température ont été faites séparément à l'aide du même thermomètre Negretti-Zambra enchâssé dans une monture de Chabaud.

SONDAGE N° 49. Date : 31 décembre 1898.

Latitude : 70° 01′ S.
Longitude : 85° 20′ W. Profondeur : 950 m.

Température de l'air : —2°,1 à 14h.
Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	100 m.,	200 m.,	300 m.,	350 m.,	400 m.,	500 m.,	600 m.,	700 m.,	800 m.,	930 m.
Temp. :	—2°,0	—1°,3	—0°,5	—0°,1	+0°,8	+1°,0	+1°,1	+1°,0	+1°,0	+0°,8

REMARQUES. — La profondeur sondée était de 962 m., mais il a fallu la réduire à 950 m. à cause de l'inclinaison du fil à sonder, inclinaison due à la dérive des glaces vers le NE. Pour cette raison, les profondeurs indiquées pour les mesures des températures sont probablement un peu trop élevées. Pour chaque prise de température, on a laissé descendre le fil à nouveau, afin d'opérer toujours à l'aide du même thermomètre.

SONDAGE N° 50. Date : 2 janvier 1899.

Latitude : 69° 52′ S.
Longitude : 85° 13′ W. Profondeur : 1360 m.

Température de l'air : —2°,0 à 15h.
Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	200 m.,	300 m.,	400 m.,	600 m.,	650 m.,	675 m.,	725 m.,	750 m.,
Temp. :	—1°,4	—0°,3	+0°,9	+1°,2,	+1°,3	+1°,1	+1°,1	+1°,0	+1°,0

800 m.,	900 m.,	1000 m.,	1100 m.,	1200 m.,	1340 m.
+1°,0	+1°,0	+0°,9	+0°,8	+0°,8	+0°,6

REMARQUES. — Au cours des opérations, on a essayé de travailler avec deux thermomètres simultanément. Les thermomètres employés étaient le Negretti et Zambra n° 87387 et un autre thermomètre de cette maison, portant le n° 87388, tout deux dans des montures Chabaud. Pour éviter l'enlacement de la chaînette, une disposition spéciale a été employée avec des résultats tout à fait mauvais. C'est pourquoi les indications fournies pour 500 m. (—1°,9) et deux fois pour 700 m. (—1°,7, —1°,7) ont été éliminées de la série des chiffres obtenus. Dans les trois cas, le chiffre fautif provenait du thermomètre attaché à 100 m. en dessous du thermomètre dont un curseur devait se détacher au moment de son fonctionnement. Les thermomètres employés avaient été comparés entre eux, à bord de la BELGICA, avant et après les opérations.

SONDAGE N° 51. Date : 4 janvier 1899.

Latitude : 69° 50′ S.
Longitude : 85° 14′ W. Profondeur : 1470 m.

Température de l'air : —2°,0 à 15h.
Température à 1450 m. de profondeur : +0°,7.

SONDAGE N° 52. Date : 7 janvier 1899.

Latitude : 69° 52′ S.
Longitude : 85° 32′ W. Profondeur : 1490 m.

Température de l'air : —0°,7 à 15h.
Température à 1470 m. de profondeur : +0°,7.

SONDAGE N° 53. Date : 10 février 1899.

Latitude : 70° 34′ S.
Longitude : 93° 17′ W. Profondeur : 1166 m.

Température de l'air : —4°,1 à 15h.
Température à 1146 m. de profondeur : +0°,9.

REMARQUE. — La sonde a été perdue en remontant le fil.

SONDAGE N° 54. Date : 19 et 20 février 1899.

Latitude : 70° 30′ S.
Longitude : 94° 12′ W. Profondeur : 1740 m.

Température de l'air : —0°,4 le 19 à 12h, 0°,0 le 20 à 14h.
Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	20 m.,	500 m.,	1000 m.,	1500 m.,	1710 m.
Temp. :	—1°,9	+1°,5	+1°,2	+0°,9	+0°,9

Mesures effectuées le 20 après-midi :

Prof. :	50 m.,	100 m.,	125 m.,	150 m.,	200 m.,	250 m.,	300 m.,	350 m.,	400 m.,	450 m.,	600 m.,	750 m.
Temp. :	—1°,6	—1°,8	—1°,2	—0°,6	+0°,9	+1°,2	+1°,4	+1°,5	+1°,6	+1°,5	+1°,4	+1°,3

REMARQUES. — Le sondage ainsi que les déterminations des températures ont été effectués à bord de la BELGICA à l'aide de la machine de Le Blanc travaillant sous vapeur. Chaque mesure a été faite séparément en se servant toujours du même thermomètre Negretti-Zambra n° 87387 enchâssé dans une monture de Chabaud. La dérive ayant été insignifiante, les deux séries de mesures peuvent être considérées ensemble.

SONDAGE N° 55. Date : 2 mars 1899.

Latitude : 70° 53′ S.
Longitude : 97° 16′ W. Profondeur : 430 m.

Température de l'air : +0°,7 à 14h.
Température de l'eau à différentes profondeurs :

Prof. :	10 m.,	25 m.,	40 m.,	50 m.,	60 m.,	75 m.,	100 m.,	150 m.,	200 m.,	250 m.,
Temp. :	—1°,8	—1°,7	—1°,6	—1°,1	—1°,3	—1°,9	—1°,8	—1°,5	—0°,9	0°,0

300 m.,	350 m.,	405 m.
+0°,4	+1°,0	+1°,1

REMARQUE. — Travaillé à bord à l'aide de la machine Le Blanc. Chaque détermination a été faite à part, comme précédemment.

SONDAGE N° 57. Date : 12 mars 1899.

Latitude : 70° 56′ S.
Longitude : 100° 21′ W. Profondeur : 564 m.

Température de l'air : —11°,2 à 12h.
Température à 530 m. de profondeur : +1°,1.

REMARQUE. — Le fil à sonder était légèrement incliné, à cause d'une assez forte dérive des glaces vers l'WNW.

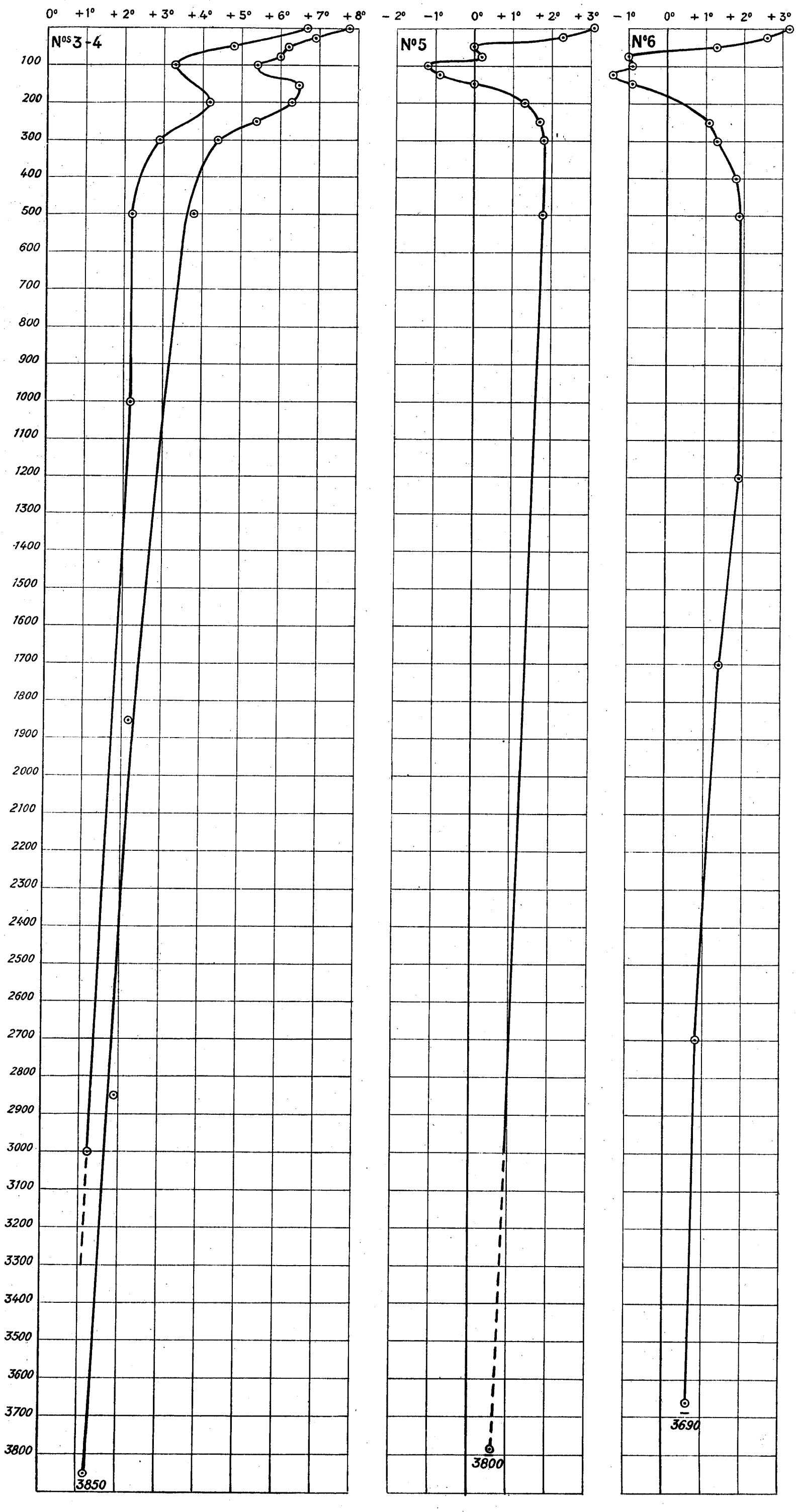
SONDAGE N° 59. Date : 14 mars 1899.

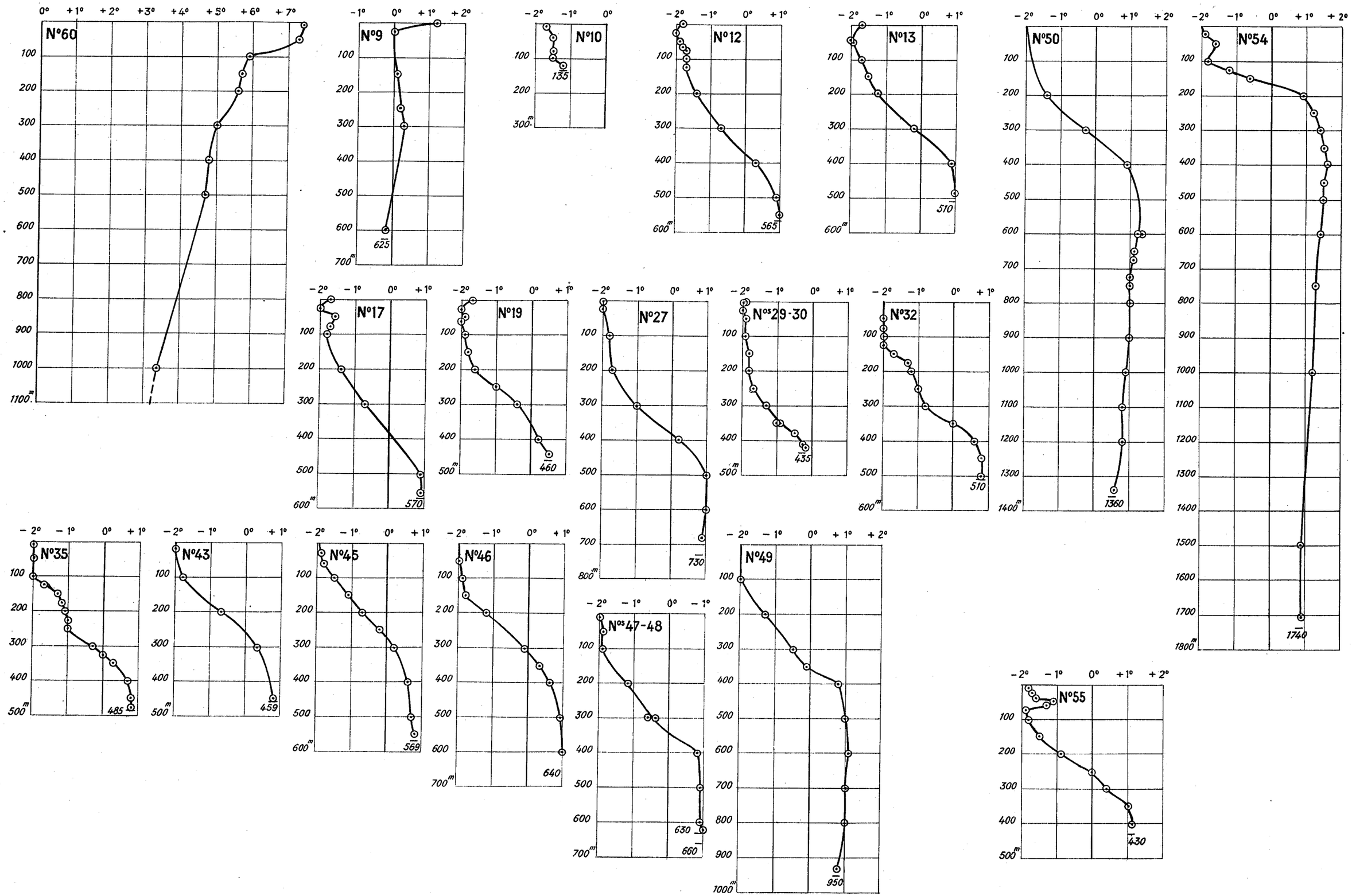
Latitude : 70° 40′ S.
Longitude : 102° 15′ W. Profondeur : 2800 m.

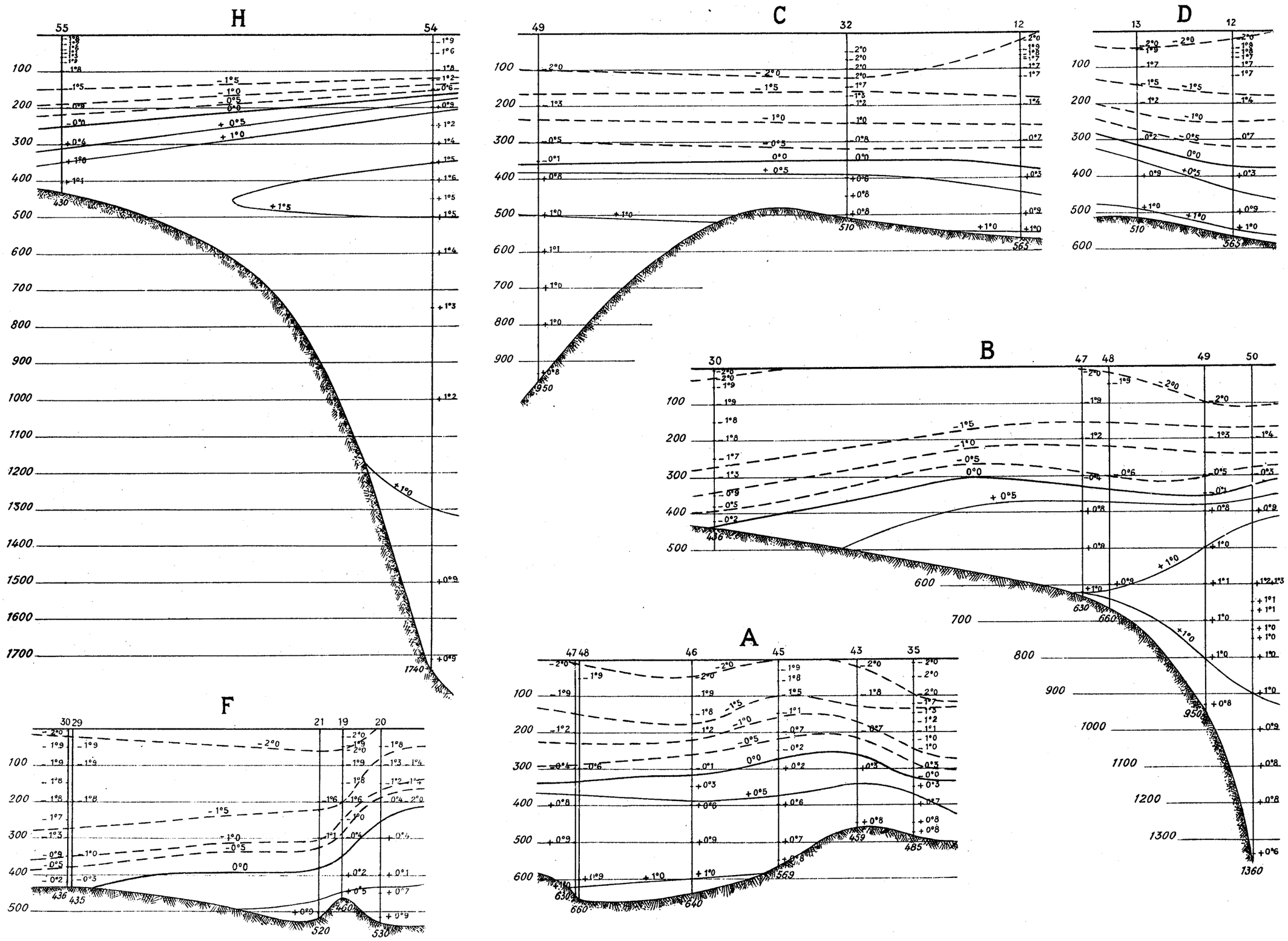
Température de l'air : —7°,8 à 14h.
Température à 2780 m. de profondeur : +0°,5.

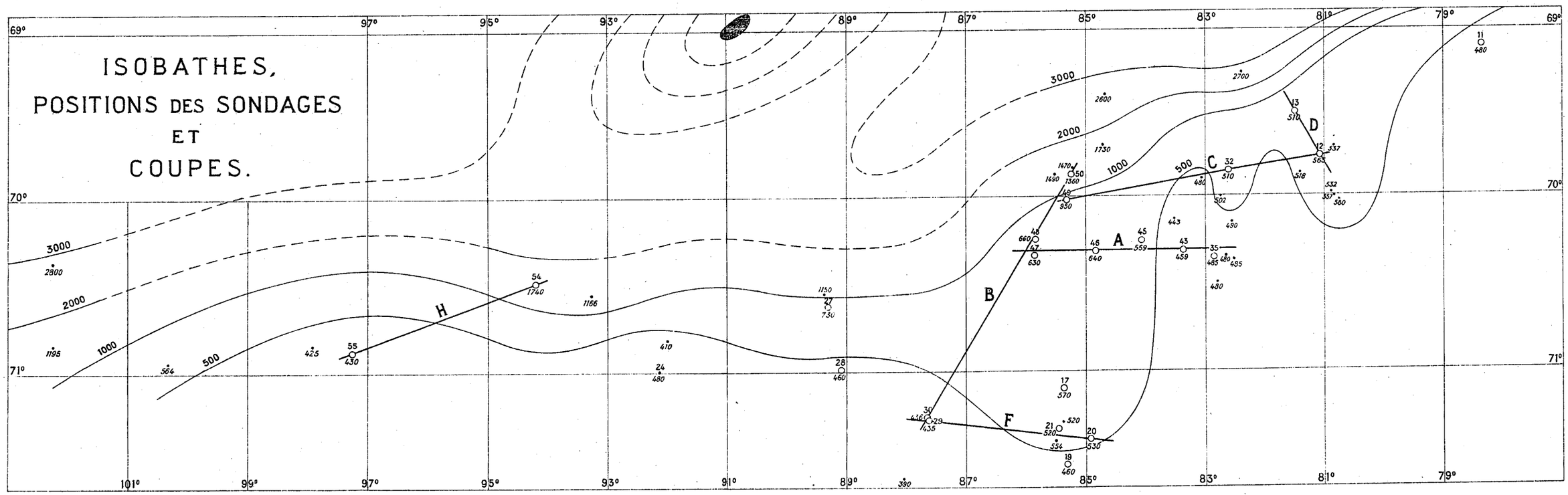
REMARQUE. — Le sondage a été effectué en mer libre et en vue de la lisière de la banquise.

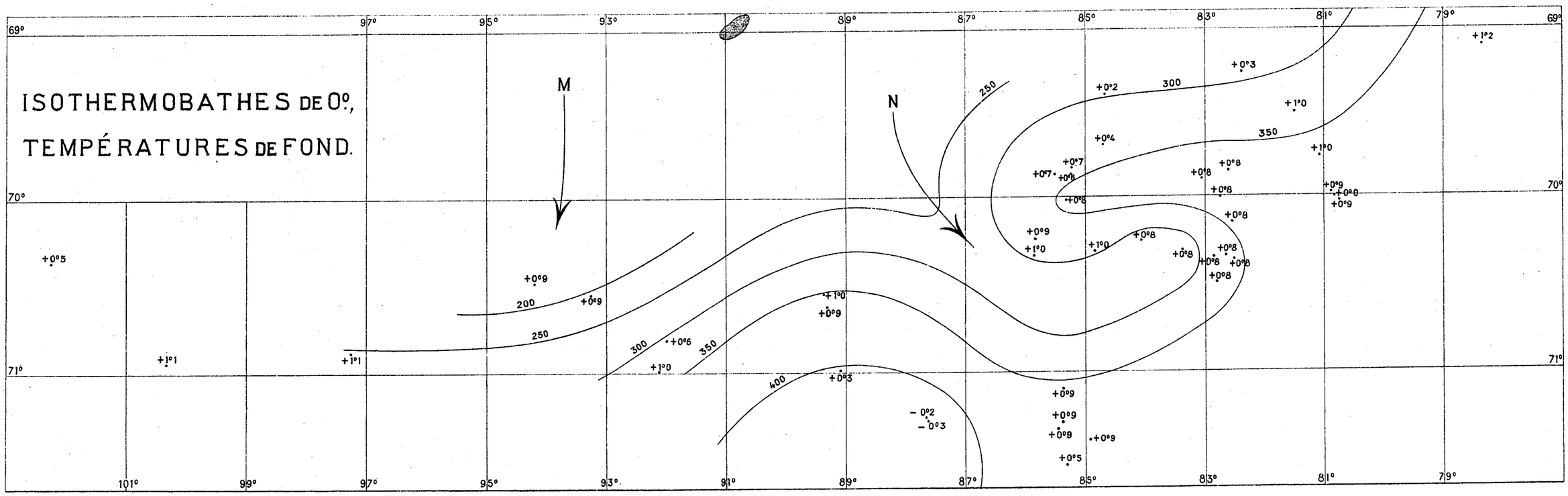
+) 60 on P 19


0° +1° +2° +3° +4° +5° +6° +7° +8°
Nos 3-4
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
1800
1900
2000
2100
2200
2300
2400
2500
2600
2700
2800
2900
3000
3100
3200
3300
3400
3500
3600
3700
3800
3850
−2° −1° 0° +1° +2° +3°
No 5
3800
−1° 0° +1° +2° +3°
No 6
3690


N°60
N°9
N°10
N°12
N°13
N°50
N°54
N°17
N°19
N°27
N°s 29-30
N°32
N°35
N°43
N°45
N°46
N°s 47-48
N°49
N°55


H
55
54
C
49
32
12
D
13
12
B
30
47
48
49
50
A
47 48
46
45
43
35
F
30 29
21
19
20


ISOBATHES,
POSITIONS DES SONDAGES
ET
COUPES.
3000
2000
1000
500
A
B
C
D
F
H


ISOTHERMOBATHES DE 0°,
TEMPÉRATURES DE FOND.
M
N
250
300
350
200
400

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 (Premier fascicule), pr G. LECOINTE. Frs 67.50

USAGE DES EXPLOSIFS DANS LA BANQUISE, par G. LECOINTE.

VOLUME II.

ASTRONOMIE ET PHYSIQUE DU GLOBE.

*ETUDE DES CHRONOMÈTRES (deux parties), par G. LECOINTE . . . . . Frs 33,50

OBSERVATIONS MAGNÉTIQUES, par C. LAGRANGE et G. LECOINTE.

*MESURES PENDULAIRES, par G. LECOINTE. Fr. 5.—

CONCLUSIONS GÉNÉRALES SUR LES OBSERVATIONS ASTRONOMIQUES ET MAGNÉTIQUES, par GUYOU.

VOLUMES III ET IV.

MÉTÉOROLOGIE.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES EN MER LIBRE, par H. ARCTOWSKI.

*RAPPORT SUR LES OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES HORAIRES, par H. ARCTOWSKI . . Frs 60,00

*OBSERVATIONS DES NUAGES, par A. DOBROWOLSKI. . . . . » 20,00

*LA NEIGE ET LE GIVRE, pr A. DOBROWOLSKI. Frs 10,00

*PHÉNOMÈNES OPTIQUES DE L'ATMOSPHÈRE, par H. ARCTOWSKI . . . . . Frs 6,00

*AURORES AUSTRALES, par H. ARCTOWSKI . » 11,00

VOLUME V.

OCÉANOGRAPHIE ET GÉOLOGIE.

SONDAGES, par H. ARCTOWSKI.

SÉDIMENTS MARINS, par H. VAN HOVE.

*RELATIONS THERMIQUES DE L'OCÉAN, par H. ARCTOWSKI et H. R. MILL . . . . . Frs 10.50

*DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ DE L'EAU DE MER, par J. THOULET. . . . . Frs 7,50

*RAPPORT SUR LA DENSITÉ DE L'EAU DE MER, par H. ARCTOWSKI et J. THOULET. . . . . Frs 3,00

COULEUR DES EAUX OCÉANIQUES, par H. ARCTOWSKI.

LES GLACES, par H. ARCTOWSKI.

*LES GLACIERS, par H. ARCTOWSKI . . . . Frs 35.50

ÉTUDE DES ROCHES, par A. PELIKAN.

QUELQUES PLANTES FOSSILES DES TERRES MAGELLANIQUES, par M. GILKINET.

VOLUMES VI, VII, VIII ET IX.

BOTANIQUE ET ZOOLOGIE.

Botanique.

DIATOMÉES (moins *Chaetocérés*), par H. VAN HEURCK.

PERIDINIENS ET CHAETOCÉRÉS, par FR. SCHÜTT.

ALGUES, par E. DE WILDEMAN.

*CHAMPIGNONS, par Mmes BOMMER et ROUSSEAU Frs 9.50

*LICHENS, par E. A. WAINIO . . . . . » 12,00

*HÉPATIQUES, par F. STEPHANI . . . . .
*MOUSSES, par J. CARDOT . . . . . } Frs 28,00

CRYPTOGAMES VASCULAIRES, par Mme BOMMER.

*PHANÉROGAMES, par E. DE WILDEMAN . . Frs 62.50

Zoologie.

FORAMINIFÈRES, par Van den Broeck.
RADIOLAIRES, par Fr. Dreyer.
TINTINOIDES, par K. Brandt.
*SPONGIAIRES, par E. Topsent . . . . . Frs 16,00
*HYDRAIRES, par C. Hartlaub . . . . . » 8,50
SIPHONOPHORES, par C. Chun.
*MÉDUSES, par O. Maas . . . . . Frs 8,50
ALCYONAIRES, par Th. Studer.
*PENNATULIDES, par H. F. E. Jungersen . . » 3,00
*MADRÉPORAIRES et HYDROCORALLIAIRES, par E. v. Marenzeller . . . . . } Frs 5,00
*ACTINIAIRES, par O. Carlgren . . . . . }
CTÉNOPHORES, par C. Chun.
*HOLOTHURIDES, par E. Hérouard . . . . Frs 5,00
*ASTÉRIDES, par H. Ludwig . . . . . » 19.50
*ÉCHINIDES ET OPHIURES, par R. Kœhler. » 17,50
CRINOIDES, par J. A. Bather.
PLANAIRES, par L. Böhmig.
CESTODES, TRÉMATODES et ACANTHOCÉPHALES, par P. Cerfontaine.
*NÉMERTES, par Bürger . . . . . Frs 4,50
*NÉMATODES LIBRES, par J. G. de Man . . » 23,00
NÉMATODES PARASITES, par J. Guiart.
CHAETOGNATHES, par O. Steinhaus.
GÉPHYRIENS, par J. W. Spengel.
OLIGOCHÈTES, par P. Cerfontaine.
POLYCHÈTES, par G. Pruvot et E. G. Racovitza.
*BRYOZOAIRES, par A. W. Waters . . . . Frs 27,50
*BRACHIOPODES, par L. Joubin. . . . . » 5,00
ROTIFÈRES ET TARDIGRADES, par C. Zelinka.
PHYLLOPODES, par Hérouard.
*OSTRACODES, par G. W. Müller . . . . . Frs 2,50
*COPÉPODES, par W. Giesbrecht . . . . . Frs 25,00
*CIRRIPÈDES, par P. P. C. Hoek. . . . . » 2,00
CRUSTACÉS ÉDRYOPHTHALMES, par Ch. Pérez.
SCHIZOPODES ET CUMACÉS, par H. J. Hansen.
CRUSTACÉS DÉCAPODES, par H. Coutière.
PYCNOGONIDES, par G. Pfeffer.
PÉDICULIDES, par V. Willem.

*ACARIENS LIBRES, par Dr Trouessart, et A. D. Michael . . . . . } Frs 7,50
*ACARIENS PARASITES, par G. Neumann . . }
*ARAIGNÉES ET FAUCHEURS, pr E. Simon. }
*MYRIAPODES, par C. v. Attems . . . . . } Frs 11,00
*COLLEMBOLES, par V. Willem . . . . . }
*ORTHOPTÈRES, par Brunner von Wattenwyl. }
*HÉMIPTÈRES, par E. Bergroth. . . . . }
*COLÉOPTÈRES, pr E. Rousseau, A. Grouvelle, H. Schouteden, E. Brenske, Boileau, Bourgeois, E. Olivier, L. Fairmaire, G. Stierlin, A. Bovie et A. Lameere . . . . . } Frs 19,50
*HYMÉNOPTÈRES, par C. Emery, J. Tosquinet, E. André et J. Vachal . . . . . }
*DIPTÈRES, par J. C. Jacobs, Th. Becker et E. H. Rübsaamen . . . . . }
*SCAPHOPODEN, par L. Plate. . . . . Fr. 1.00
*GASTROPODES ET LAMELLIBRANCHES, par P. Pelseneer . . . . . } Frs 25,00
*CÉPHALOPODES, par L. Joubin . . . . . }
TUNICIERS, par E. Van Beneden.
*POISSONS, par L. Dollo . . . . . Frs 48,00
BILE DES OISEAUX ANTARCTIQUES, par P. Portier.
OISEAUX (*Biologie*), par E. G. Racovitza.
OISEAUX (*Systématique*), par Howard Saunders.
*CÉTACÉS, par E. G. Racovitza . . . . . Frs 24.00
EMBRYOGÉNIE DES PINNIPÈDES, par E. Van Beneden.
*ORGANOGÉNIE DES PINNIPÈDES. I. Les extrémités, par H. Leboucq. . . . . Frs 5.50
ORGANOGÉNIE DES PINNIPÈDES. II. par Brachet.
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 ANTARCTIQUES, par J. Cantacuzène.
LA BIOGÉOGRAPHIE DE L'ANTARCTIDE, par E. G. Racovitza.

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 **BRUXELLES,** à l'Office de publicité, **LEBÈGUE & Cie**, 46, rue de la Madeleine,
à **PARIS,** chez **LE SOUDIER,** 174-176, Boulevard Saint-Germain,
à **BERLIN,** chez **FRIEDLÄNDER,** 11, Karlstrasse, N. W. 6,
à **LONDRES,** chez **DULAU & Co,** 37, Soho Square, W.
à **NEW-YORK,** chez **PUTNAM's Sons,** 27 W, 23d street.

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

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

LIBRARY
JUN 24 1902
Weather Bureau.

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

8506

c/o
E96-R
Vol-5
pt. 2-

LIBRARY
WEATHER BUREAU
No.
23145

LIBRARY
WEATHER BUREAU
No.
23145

LIBRARY
JUN 24 1902
Weather Bureau.

DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ DE L'EAU DE MER

PAR

J. THOULET

PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ DE NANCY

C/O
E96-R
Vol. 5.
pt. 2

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_{4}^{t} 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 climatériques 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. Cettte relation est représentée par la formule de Tornöe

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

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 Tornöe 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'embarras 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. Tornöe 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 1.0000—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 considèrerons 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 densita 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 specifischen Gewiehts 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 $S^{T}_{17.5}$ 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° C= 63.5° F= 14° 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 $S^{T}_{17.5}$ 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 $S^{21.3}_{17.5}$ c'est-à-dire 1.0263 à 21°.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, parait 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^{θ}_{4}. 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 (1)

$$S_4^\theta = S_4^t \times \frac{v_t}{v_0} \times \frac{v_0}{v_\theta}$$

dans laquelle v^0, 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. Tornöe (2) a dressé un tableau des valeurs de $\frac{v_t}{v_0}$ et par conséquent de $\frac{v_0}{v_t}$, 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^0, 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.

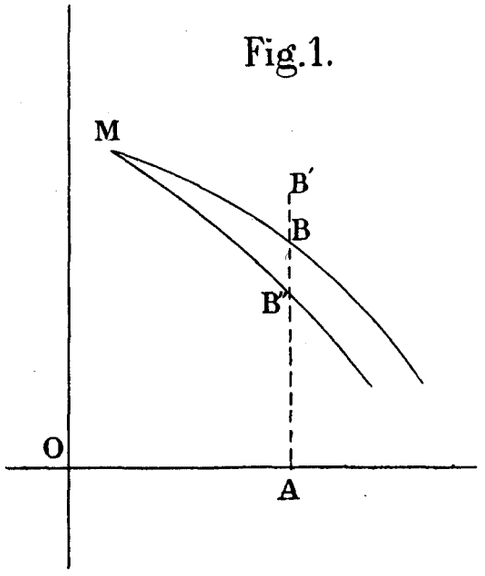
(2) H. Tornöe, *Chemistry*. The Norvegian North-Atlantic Expedition 1876-1878 et Thoulet *l. c.* p. 303.

(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 corrigeait 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.

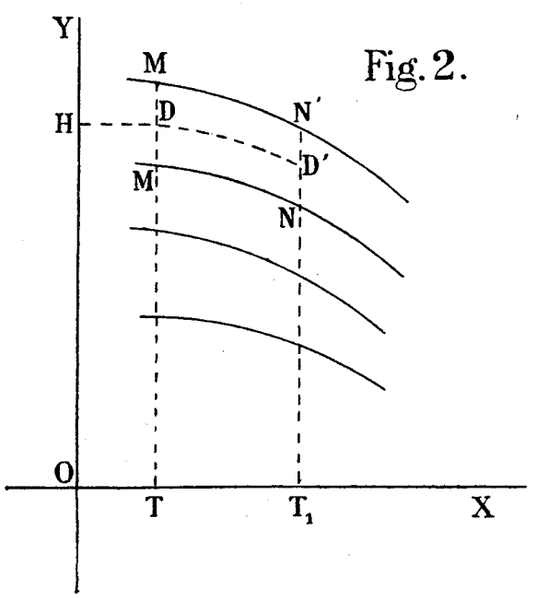


Fig. 2.

En considérant une horizontale quelconqne 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_1 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 ordonnée représente la densité S_4^θ cherchée. En réalité, on se borne, sur l'ordonnée OT corres-

pondant à C, 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. Tornöe [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. Tornöe, pour $S_4^{17.5}=1.02700$, on a

$$S_4^{0}=1.02968$$
$$S_4^{10}=1.02855$$
$$S_4^{20}=1.02637$$

La méthode actuelle par graphique donne

$$S_4^{0}=1.02968$$
$$S_4^{10}=1.02856$$
$$S_4^{20}=1.02636$$

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, Tornöe trouve alors

$$S_4^{0}=1.01264$$
$$S_4^{10}=1.01151$$
$$S_4^{20}=1.00939$$

tandis que la méthode graphique donne

$$S_4^{0}=1.01168$$
$$S_4^{10}=1.01108$$
$$S_4^{20}=1.00945$$

Ainsi, dans ce cas, ma courbe plus aplatie que celle de M. Tornöe 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. Tornöe, *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-Ditmar [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, 5e 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 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 déstinées à récolter des échantillons d'eaux profondes.

Le graphique peut servir à résoudre le problême 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 $S^{\theta'}$. 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}, $S_4^{\theta'}$, $S^{\theta''}$.... 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'ÉVAPORATION DIV. DE L'ARÉOM.
I	au large de Fécamp, naturelle . . .	18 juillet	29°	8h	3.0 p. 24h	0.75 p. 6h
II	» concentrée . .	19 »	30	7	4.5 — 24h	1.1 — 6h
III	» étendue . . .	20 »	29	7	2.0 — 24h	0.5 — 6h
IV	Islande, naturelle.	21 »	30	7	5.0 — 48h	0.6 — 6h
V	» étendue	23 »	30	7	2.0 — 24h	0.5 — 6h
VI	» étendue	24 »	30	7	2.5 — 24h	0.6 — 6h
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		π + V 88.0	1.02624	25.4	π + V 22.0		
12.0		» 83.5	1.02595	26.0	» 17.0	π + V 17.0	1.02234
12.8	π + 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		π + IV 99.0	π + IV 97.5	1.02174
16.6	» 66.0			28.8	π + V 2.0		
18.0	» 59.0	» 59.0	1.02460		π + IV 94.0		
19.1	» 54.0			29.8	» 87.0		
20.0		» 49.0	1.02408	30.0		» 85.0	1.02109
20.2	» 48.5			30.7	» 81.5		
21.4	» 42.5			31.4	» 77.0		
22.0		» 39.0	1.02351	32.0		» 72.5	1.02040
22.5	» 37.5			32.1	» 73.0		
23.6	» 31.5			32.8	» 68.5		
24.0.		» 28.5	1.02295	33.5	» 63.5		
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		π + VI + I 51.0	1.03311	20.6	π + VI 91.0		
6.3	π + VI + I 50.0			22.0		π + 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
	π + VI 100.0			32.5	» 17.5		
20.0		π + 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	π + III 91.0			22.0		π + III 40.5	1.01461
8.0		π + III 90.0	1.01738	23.1	π + 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		π + II 98.0		
16.7	» 66.0			30.0		π + 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

t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t	t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL	AFFLEUREMENT CORRIGÉ	DENSITÉ S_4^t
8.0		π + VI 30.5	1.02739	21.0	π + V 66.0		
8.4	π + VI 29.0			22.0		π + 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
	π + V 98.0			27.6	» 27.5		
14.0		» 12.0	1.02631	28.0		» 24.5	1.02264
15.1	π + VI 8.0			29.5	» 17.0		
	π + V 90.0			30.0		» 11.5	1.02197
16.0		» 4.5	1.02587	31.5	» 1.0		
17.2	» 81.5				π + IV 94.0		
18.0		π + V 77.5	1.02549	32.0		π + 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		π + IV 71.0	1.02105	24.0		π + IV 11.5	1.01773
9.8	π + IV 67.5			24.3	π + IV 9.5		
10.0		» 67.0	1.02080	25.1	» 5.0		
11.3	» 63.0				π + 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			π + 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	$\pi + \mathrm{II}$	45.0	$\pi + \mathrm{II}$	45.0	1.01066	21.9	$\pi + \mathrm{I}$	90.0			
9.3	»	43.5				22.0			$\pi + \mathrm{II}$	5..0	1.00835
10.0			»	42.5	1.01047				$\pi + \mathrm{I}$	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			
	$\pi + \mathrm{I}$	99.0									
20.6	$\pi + \mathrm{II}$	9.0									
	$\pi + \mathrm{I}$	97.0									

TABLEAU VII

t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL		AFFLEUREMENT CORRIGÉ		DENSITÉ S_4^t	t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL		AFFLEUREMENT CORRIGÉ		DENSITÉ S_4^t
− 4.3	$\pi + \mathrm{V}$	74.0				4.0			$\pi + \mathrm{V}$	72.0	1.02563
− 4.0			$\pi + \mathrm{V}$	74.5	1.02599	4.3	$\pi + \mathrm{V}$	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

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				8.4	»	4.0			
− 1.5	»	11.5					$\pi + III$	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			π + III	26.5	1.01465	4.0			π + III	29.0	1.01458
− 2.3	π + III	26.5				5.0			»	28.0	1.01450
− 2.1	»	27.0				5.4	π + III	28.0			
− 2.0			»	27.5	1.01468	6.0			»	26.5	1.01440
− 1.6	»	27.5				6.7	»	26.5			
	»	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		π + II	100.0			
2.1	»	30.0				16.0			»	2.0	1.01295
3.0			»	29.5	1.01463				π + 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			π + I	89.5	1.00886	6.7	π + I	92.5			
− 1.8	π + I	89.5				7.0			π + 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

t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL		AFFLEUREMENT CORRIGÉ		DENSITÉ S_4^t	t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL		AFFLEUREMENT CORRIGÉ		DENSITÉ S_4^t
− 1.1	π + cap.	85.0				11.3	π + cap.	84.0			
− 1.0			π + cap.	85.5	1.00396	12.0			π + 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

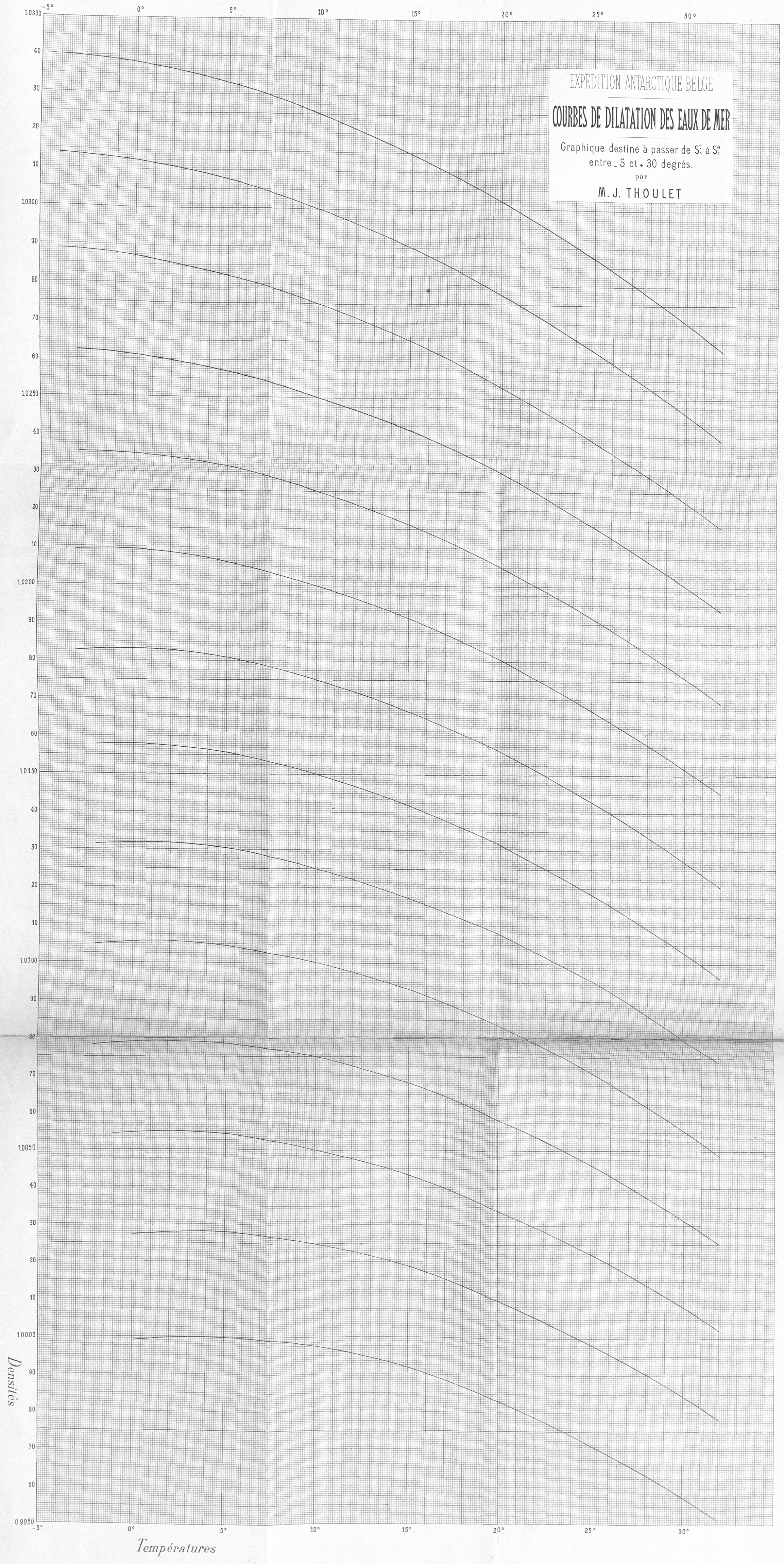
t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL		AFFLEUREMENT CORRIGÉ		DENSITÉ S_4^t	t	AFFLEUREMENT EXPÉRIMENTAL		AFFLEUREMENT CORRIGE		DENSITÉ S_4^t
− 4.0			π + VI	54.5	1.02890	5.6	π + VI	46.0			
− 3.0	π + VI	55.0	»	55.0	1.02889	6.0			π + VI	45.0	1.02814
− 2.3	»	55.5				7.3	»	42.5			
− 2.0			»	55.5	1.02888	8.0			»	40.5	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	π + VI + I 84.5			4.0		π + VI + I 76.5	1.03442
− 4.1	» 84.5			4.8	π + VI + I 76.5		
− 4.0		π + 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		π + VI + I 10.5	1.03144	6.0		π + VI + I 0.0	1.03064
− 3.2	π + VI + I 11.0					π + VI 97.0	1.03066
− 3.0		» 11.0	1.03144	7.0	π + VI 95.0		
− 2.2	» 11.0			8.0		» 92.5	1.03038
− 2.0		» 11.0	1.03141	9.5	» 88.0		
− 1.1	» 10.5			10.0		» 86.5	1.03004
− 1.0		» 10.5	1.03136	11.6	» 81.5		
0.0		» 10.0	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 π + VI 100.0						


EXPÉDITION ANTARCTIQUE BELGE
COURBES DE DILATATION DES EAUX DE MER
Graphique destiné à passer de S_4^t à S_4^e
entre - 5 et + 30 degrés.
par
M. J. THOULET
Densités
Températures
1.0350
1.0300
1.0250
1.0200
1.0150
1.0100
1.0050
1.0000
0.9950
-5°
0°
5°
10°
15°
20°
25°
30°

(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
RECHERCHES DES POSITIONS DU NAVIRE PENDANT LA DÉRIVE, par G. LECOINTE.
OBSERVATIONS MAGNÉTIQUES, par C. LAGRANGE et G. LECOINTE.
NOTE RELATIVE AUX MESURES PENDULAIRES, par G. LECOINTE.
CONCLUSIONS GÉNÉRALES SUR LES OBSERVATIONS ASTRONOMIQUES ET MAGNÉTIQUES, par GUYOU.

VOLUMES III ET IV.

MÉTÉOROLOGIE.

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

VOLUME V.

OCÉANOGRAPHIE ET GÉOLOGIE.

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

VOLUMES VI, VII, VIII ET IX.

BOTANIQUES ET ZOOLOGIE.

Botanique.

DIATOMÉES (moins *Chaetocérés*), par H. VAN HEURCK.
PÉRIDINIENS ET CHAETOCÉRÉS, par FR. SCHÜTT.
ALGUES, par E. DE WILDEMAN.
CHAMPIGNONS, par Mdames BOMMER et ROUSSEAU.
LICHENS, par E. A. WAINIO.
*HÉPATIQUES, par F. STEPHANI . . . . .
*MOUSSES, par J. CARDOT . . . . . } Frs 28,00
CRYPTOGRAMES VASCULAIRES, par Mme BOMMER.
PHANÉROGAMES, par E. DE WILDEMAN.

Zoologie.

FORAMINIFÈRES, par A. Kemna et Van den Broeck.
RADIOLAIRES, par Fr. Dreyer.
TINTINOIDES, 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. Jungersen.
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. Kœhler. Frs 17,50
CRINOIDES, 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. Spengel.
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.
CIRRIPÈDES, 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 Dr Trouessart.
ACARIENS PARASITES, par G. Neumann.
ARANÉIDES, par E. Simon.
MYRIAPODES, par C. v. Attems.
COLLEMBOLES, 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. Grouvelle, 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. Pelseneer.
CÉPHALOPODES, par L. Joubin.
TUNICIERS, 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 Leboucq.
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 ANTARCTIQUES, 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 & Co,** 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.

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

LIBRARY
JUN 24 1902
Weather Bureau.

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

1902

8506

c/o
E96-R
vol-5
pt-3

LIBRARY
WEATHER BUREAU
No.
23145

LIBRARY
WEATHER BUREAU
No.
23145

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.

C/O
E96-R
Vol. 5
pt. 3

LIBRARY
JUN 24 1902
Weather Bureau.

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'île 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 traîner le seau quelques instants dans l'eau, puis on rejetait l'eau recueillie et on

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

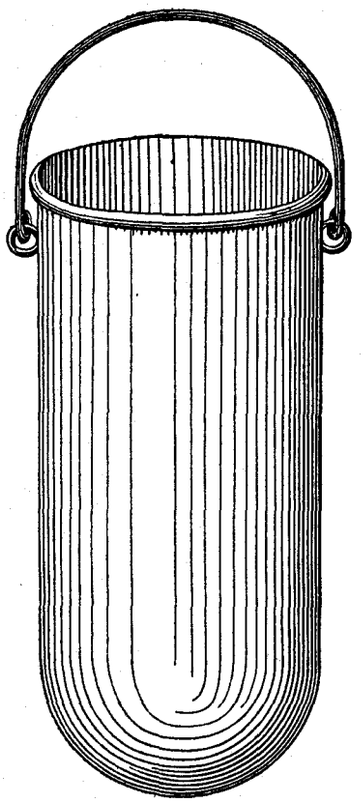


FIG. 1.

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 nos 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 no 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

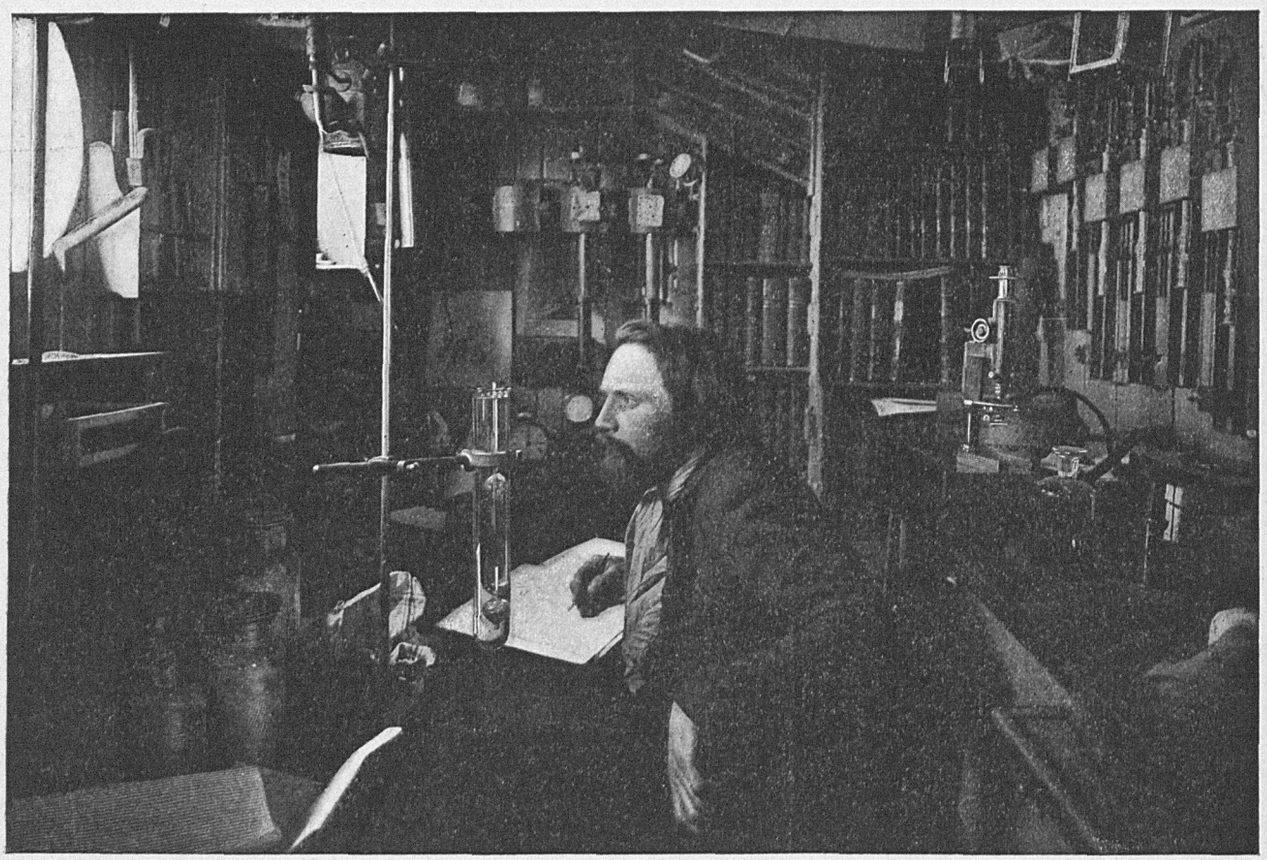


Fig. 2.

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^θ 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)

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

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

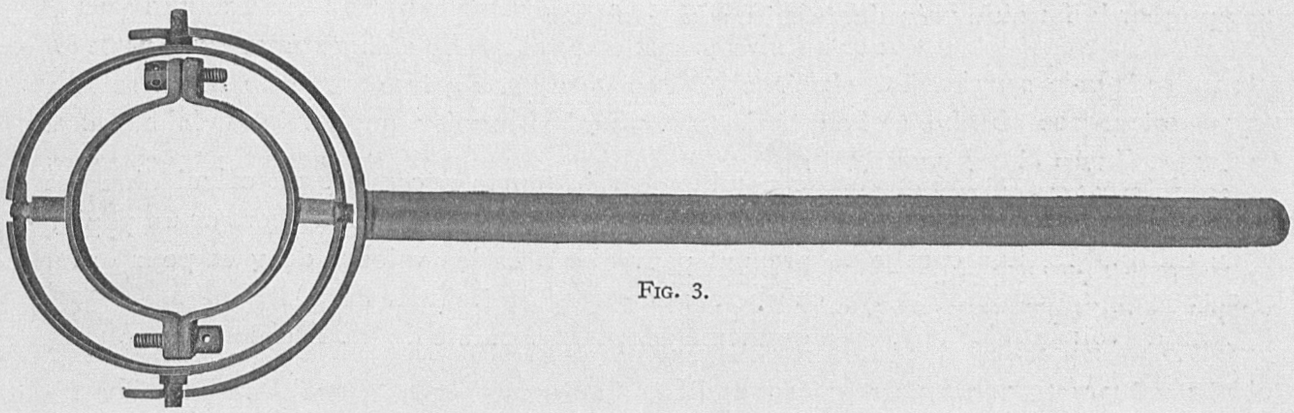


Fig. 3.

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^θ 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. 73 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.

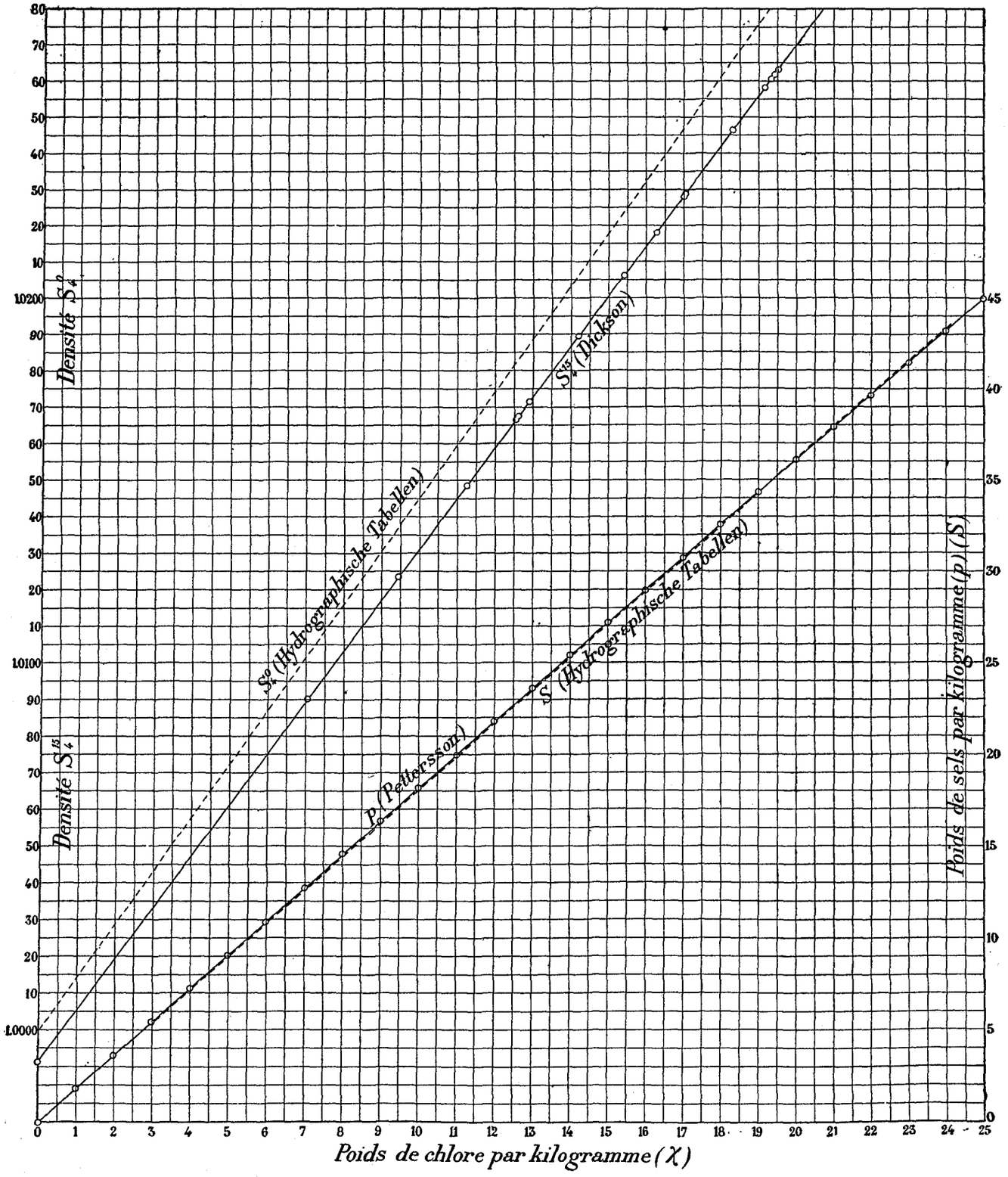
Les dosages de chlore ont été effectués sur sept échantillons : deux provenaient des parages de l'île Jan Mayen, quatre des environs du phare de Hourtins dans le Golfe de Gascogne, le dernier a été recueilli à 1800 mètres au large de Luc-sur-Mer (Calvados). Un des deux échantillons récoltés à Jan Mayen 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 $S_4^{0,0}$
Densité S_4^{15}
$S_4^{0,0}$ (Dickson)
$S_4^{0,0}$ (Hydrographische Tabellen)
S (Hydrographische Tabellen)
p (Pettersson)
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_4^0 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_4^0 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_4^0 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_4^{15}, 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_4^0 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 °/o inférieure au chiffre observé en septembre. La courbe nous montre que les

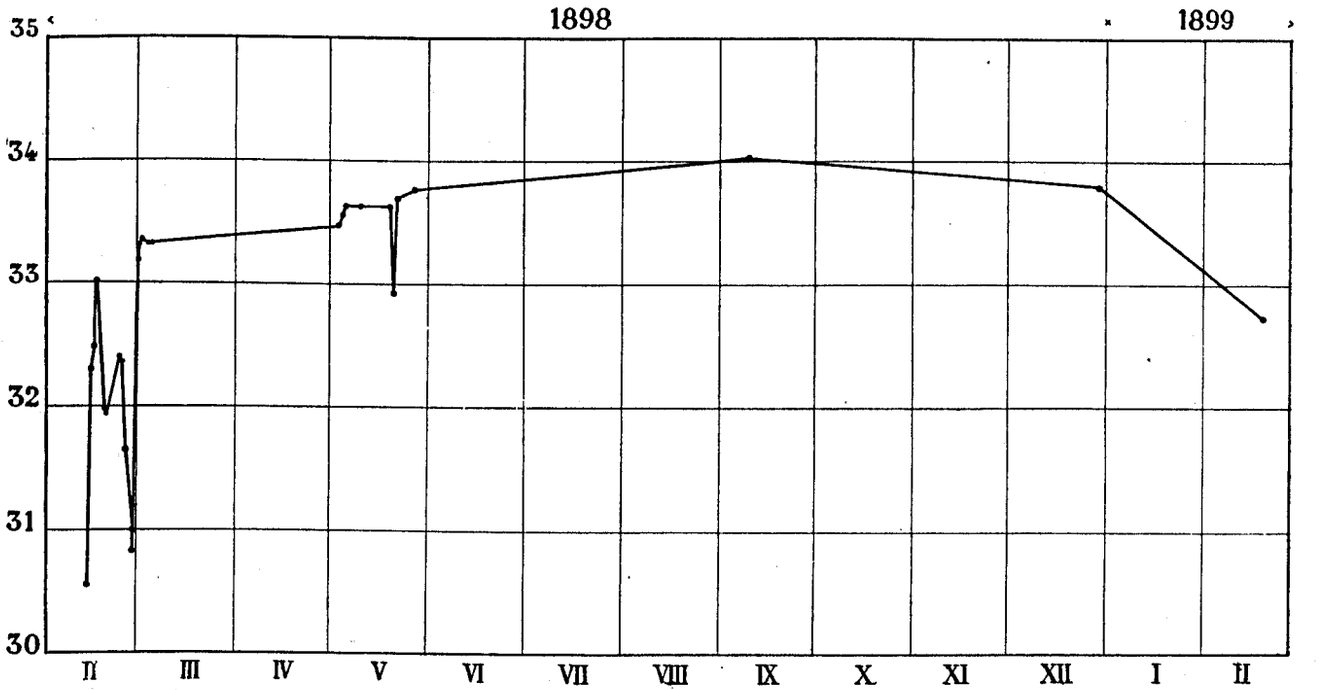


Fig. 5.

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 :

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

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 :

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

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 :

$$S_4^{15} = 1.00128 \quad (p = 2.80\ \%);$$

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

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

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) :

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

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

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

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

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

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

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

De la jeune glace formée le 6 mars :

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

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 :

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

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°s 32 et 36 et les stations n°s 29 et 30 montrent qu'aux mêmes profondeurs la salinité diminue vers le pôle Sud. Les stations n°s 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.		W.	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^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	p
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	33.31
»	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^θ	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

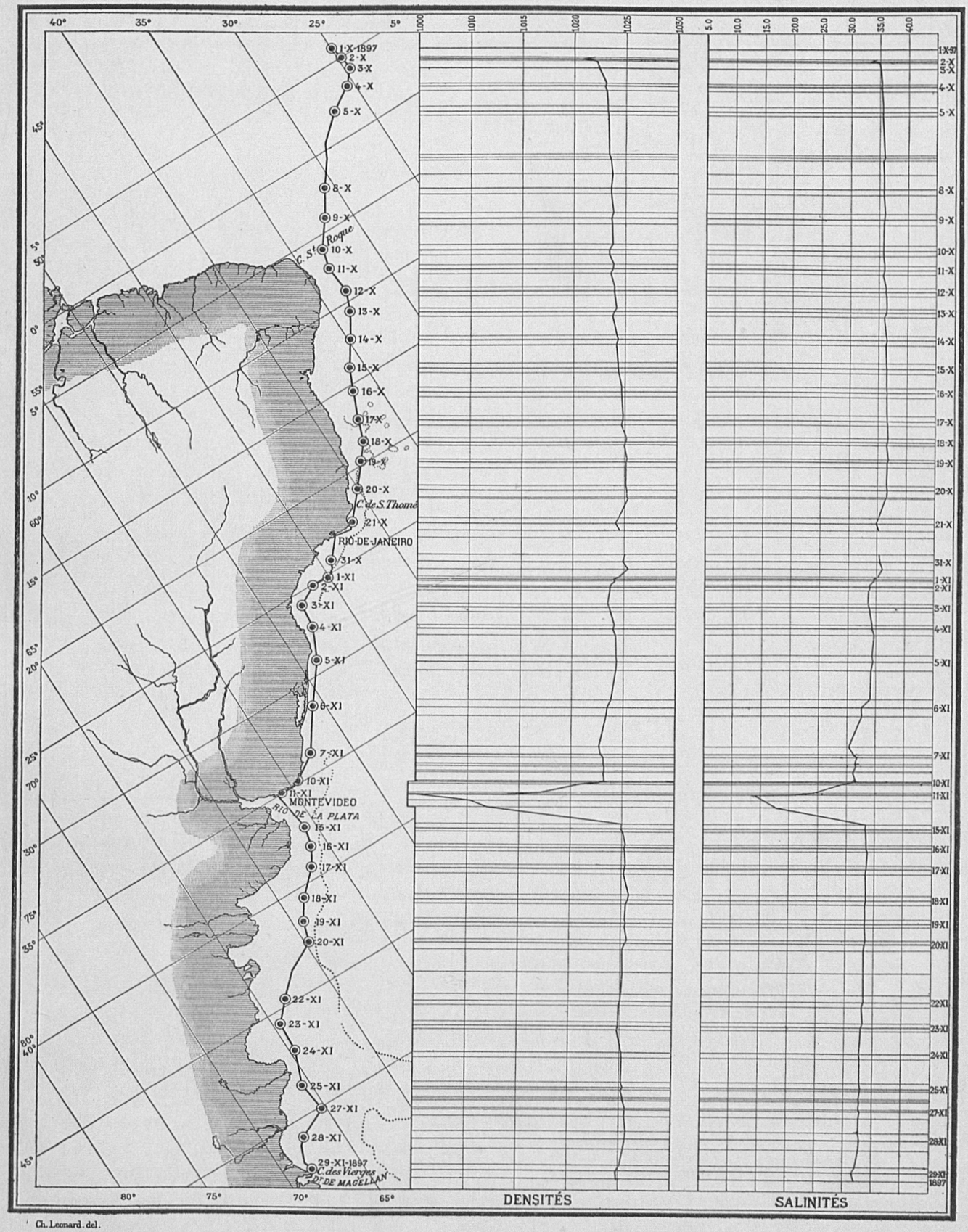
DATE	HEURE	LATITUDE SUD	LONGITUDE OUEST	TEMPÉRATURE θ	TEMP. DE LA MESURE t	S_4^t	S_4^θ	S_4^{15}	χ	p
22 janvier	12	63° 05′	61° 48′	1.18	7.22	1.02647	1.02713	1.02513	18.68	33.77
23 janvier	12	63° 40′	61° 47′	0.7	7.20	1.02647	1.02716	1.02513	18.68	33.77
»	4 s.	63° 47′	61° 45′	1.1	7.09	1.02629	1.02692	1.02495	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^θ	S_4^{15}	χ	p	Nos DES SONDAGES
13 fév. 1898	3 1/2 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		1.02374	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_4^6	$^nS_4^\theta$	S_4^{15}	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~~ 48
»	»	»	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~~ 54
»	»	»	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. Leonard. del.

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

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
RECHERCHES DES POSITIONS DU NAVIRE PENDANT LA DÉRIVE, par G. LECOINTE.
OBSERVATIONS MAGNÉTIQUES, par C. LAGRANGE et G. LECOINTE.
NOTE RELATIVE AUX MESURES PENDULAIRES, par G. LECOINTE.
CONCLUSIONS GÉNÉRALES SUR LES OBSERVATIONS ASTRONOMIQUES ET MAGNÉTIQUES, par GUYOU.

VOLUMES III ET IV.

MÉTÉOROLOGIE.

RAPPORT SUR LES OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES HORAIRES, par H. ARCTOWSKI.
RAPPORT SUR LES OBSERVATIONS DES NUAGES, par A. DOBROWOLSKI.
LA NEIGE ET LE GIVRE, par A. DOBROWOLSKI.
*PHÉNOMÈNES OPTIQUES DE L'ATMOSPHÈRE, par H. ARCTOWSKI . . . . . Frs 6,00
*AURORES AUSTRALES, par H. ARCTOWSKI . Frs 11,00
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.
RAPPORT SUR LES RELATIONS THERMIQUES DE L'OCÉAN, par H. ARCTOWSKI et H. R. MILL.
*DÉTERMINATION DE LA DENSITE DE L'EAU DE MER, par J. THOULET. . . . . Frs 7,50
*RAPPORT SUR LA DENSITÉ DE L'EAU DE MER, par H. ARCTOWSKI et J. THOULET. . . . . Frs 3,00
NOTE SUR LA COULEUR DES EAUX OCÉANIQUES, par H. ARCTOWSKI.
LES GLACES ANTARCTIQUES (*Journal d'observations relatives aux glaciers, aux icebergs et à la banquise*), par H. ARCTOWSKI.
NOTE RELATIVE A LA GÉOGRAPHIE PHYSIQUE DES TERRES ANTARCTIQUES, par H. ARCTOWSKI.
LA GÉOLOGIE DES TERRES ANTARCTIQUES, par A.-F. RENARD.
NOTE SUR QUELQUES PLANTES FOSSILES DES TERRES MAGELLANIQUES, par M. GILRINET.

VOLUMES VI, VII, VIII ET IX.

BOTANIQUES ET ZOOLOGIE.

Botanique.

DIATOMÉES (moins *Chaetocérés*), par H. VAN HEURCK.
PÉRIDINIENS ET CHAETOCÉRÉS, par FR. SCHÜTT.
ALGUES, par E. DE WILDEMAN.
CHAMPIGNONS, par Mdames BOMMER et ROUSSEAU
LICHENS, par E. A. WAINIO.
*HÉPATIQUES, par F. STEPHANI . . . . . } Frs 28,00
*MOUSSES, par J. CARDOT . . . . . }
CRYPTOGRAMES VASCULAIRES, par Mme BOMMER.
PHANÉROGAMES, par E. DE WILDEMAN.

Zoologie.

FORAMINIFÉRES, par A. Kemna et Van den Broeck.
RADIOLAIRES, par Fr. Dreyer.
TINTINOIDES, 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. Jungersen.
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. Kœhler. Frs 17,50
CRINOIDES, 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. Spengel.
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.
CIRRIPÈDES, 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 Dr Trouessart.
ACARIENS PARASITES, par G. Neumann.
ARANÉIDES, par E. Simon.
MYRIAPODES, par C. v. Attems.
COLLEMBOLES, 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. Grouvelle, 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. Pelseneer.
CÉPHALOPODES, par L. Joubin.
TUNICIERS, 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.
EMBRYOGÉNIE DES PINNIPÈDES, par E. van Beneden.
ORGANOGÉNIE DES PINNIPÈDES, par Brachet et Leboucq.
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 ANTARCTIQUES, 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 & Co,** 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.