

Vol. II



MARINENS BIBLIOTEK
2den Afdeling
SØKORT-ARKIVET

Fag 18 Nr. 374

EXPÉDITION ANTARCTIQUE BELGE

Doublé

RÉSULTATS

DU

VOYAGE DU S. Y. BELGICA

EN 1897-1898-1899

SOUIS 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



ASTRONOMIE

ÉTUDE DES CHRONOMÈTRES

PREMIÈRE PARTIE

Méthodes et Conclusions

PAR

G. LECOINTE

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE DU SERVICE ASTRONOMIQUE A L'OBSERVATOIRE ROYAL DE BELGIQUE

COMMANDANT EN SECOND DE L'EXPÉDITION ANTARCTIQUE BELGE

ANVERS

IMPRIMERIE J.-E. BUSCHMANN

REMPART DE LA PORTE DU RHIN

1901

ÉTUDE DES CHRONOMÈTRES

PREMIÈRE PARTIE

60004

MÉTHODES ET CONCLUSIONS

PAR

G. LECOINTE

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE DU SERVICE ASTRONOMIQUE A L'OBSERVATOIRE ROYAL DE BELGIQUE
COMMANDANT EN SECONDE DE L'EXPÉDITION ANTARCTIQUE BELGE

Sorti des presses de J.-E. BUSCHMANN, Anvers,
le 31 Octobre 1901.

ÉTUDE DES CHRONOMÈTRES

PREMIÈRE PARTIE

MÉTHODES ET CONCLUSIONS

PAR

G. LECOINTE

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE DU SERVICE ASTRONOMIQUE A L'OBSERVATOIRE ROYAL DE BELGIQUE
COMMANDANT EN SECOND DE L'EXPÉDITION ANTARCTIQUE BELGE

INTRODUCTION

La Commission de la BELGICA a estimé qu'il est utile et même nécessaire de publier, avec un complet développement :

1^o Les calculs se rapportant aux chronomètres, au magnétisme terrestre et aux mesures pendulaires;

2^o Ceux qui servent à déterminer la position astronomique des sondages, des mesures de température sous-marine, des pêches et des points servant de repères aux leviers hydrographiques;

3^o Et enfin, les calculs relatifs à l'étude du déplacement du navire, pendant sa dérive avec les glaces.

Il importe, en effet, non seulement d'exposer d'une façon générale les méthodes d'observation, dont nous avons fait usage, dans les circonstances spéciales où nous nous trouvions ; mais encore, de faire connaître tous les éléments nécessaires à la vérification des résultats obtenus.

Parfois, ces éléments se définissent mal en termes généraux ; ils sousentendent des hypothèses dont on apprécie immédiatement la portée, lorsqu'on a le détail des calculs sous les yeux.

Nos calculs font connaître les avantages et les inconvénients des méthodes que nous avons suivies ; ils seront, par cela même utiles aux expéditions à venir. Ils démontrent le degré d'approximation auquel on peut prétendre dans les régions polaires ; enfin, ils mettent en relief certaines observations qui, au premier abord, semblent insignifiantes, mais dont l'importance est réelle lorsqu'elles se rapportent à une région inexplorée, où le voyageur doit, pour ainsi dire, se créer une méthode spéciale de travail.

CHAPITRE I.

PRINCIPES FONDAMENTAUX

A. CHRONOMÈTRES EMBARQUÉS.

Au mois de Juin 1897, les chronomètres suivants furent embarqués, à Copenhague, à bord de la *BELGICA* :

le chronomètre n° 501 de Carl Ranch (Copenhague),
le chronomètre n° 564 de Carl Ranch (Copenhague),
le chronomètre n° 1277 de Charles Shepherd (Londres).

Nous désignerons le chronomètre n° 501 par la lettre *A*, le chronomètre n° 564 par la lettre *B* et le chronomètre n° 1277 par la lettre *C*.

Le chronomètre *A* était neuf, le chronomètre *B* avait déjà été utilisé pendant quelques mois à bord d'un navire; enfin, le chronomètre *C* provenait de l'ancien baleinier *PATRIA*. Il était vieux et présentait de nombreuses traces d'usure.

Ces trois montres avaient été déposées, pendant l'armement de la *BELGICA*, chez le constructeur Carl Ranch. Lorsqu'elles furent rapportées à bord, elles étaient accompagnées des trois certificats suivants.

CARL RANCH's EFTF.

Kgl. Hof-Chronometer og Uhr-Fabrikant

Chronometer Maker to the Royal Navy

Ostergade 62. Corner of Kjobmagergade

COPENHAGEN

RATE CERTIFICATE

Two Days Chronometer № 501 by Carl Ranch's Eftf
 Is on this 20th day of June 1897 AT NOON,
 fast of Greenwich Mean Time.....

o Hour one Minutes, fifty four Seconds, five tenths,
 gaining per Diem, or in Twenty-Four Hours,.....
 o Seconds, & nine tenths.....

Captain de Gerlache Ship « Belgica »

H.	M.	S.	tenths
÷	1	54	5
÷	0	0	9

Copenhagen.

CARL RANCH's EFTF.

CARL RANCH's EFTF.

Kgl. Hof-Chronometer og Uhr-Fabrikant

Chronometer Maker to the Royal Navy

Ostergade 62. Corner of Kjobmagergade

COPENHAGEN

RATE CERTIFICATE

Two Days Chronometer № 564 by Carl Ranch's Eftf
 Is on this 20th day of June 1897 AT NOON,
 fast of Greenwich Mean Time.....

o Hour two Minutes, fifty nine Seconds, o tenths,
 gaining per Diem, or in Twenty-Four Hours,.....
 three Seconds, & four tenths.....

Captain de Gerlache Ship « Belgica »

H.	M.	S.	tenths
÷	2	59	0
÷	0	3	4

Copenhagen.

CARL RANCH's EFTF.

CARL RANCH's EFTF.

Kgl. Hof-Chronometer og Uhr-Fabrikant

Chronometer Maker to the Royal Navy

Ostergade 62. Corner of Kjobmagergade

COPENHAGEN

RATE CERTIFICATE

Two Days Chronometer № 1277 by Charles Shepherd
 Is on this 20th day of June 1897 AT NOON,
 slow of Greenwich Mean Time.....

o Hour two Minutes, thirteen Seconds, o tenths,
 losing per Diem, or in Twenty-Four Hours,.....
 one Seconds, & nine tenths.....

Captain de Gerlache Ship « Belgica »

H.	M.	S.	tenths
+	2	13	0
+	0	1	9

Copenhagen.

CARL RANCH's EFTF.

Vers la même époque, le constructeur Le Roy (Paris) nous livrait la montre n° 3263, qui avait été classée 13^{ème} au concours de montres pour torpilleurs, organisé, à Paris, en 1897.

Pendant ce concours, on avait relevé les observations résumées dans le tableau suivant :

SERVICE HYDROGRAPHIQUE DE LA MARINE

CONCOURS DE MONTRES POUR TORPILLEURS

du 1^{er} mars au 30 avril 1897.

MONTRE N° 3263 DE M. LE ROY

DATES	TEMPÉRATURE AMBIANTE	MARCHES			DU NOMBRE DE CLASSEMENT
		A LA TEMPÉRATURE AMBIANTE	AU CHAUD	AU FROID	
1 ^{er} au 6 mars	14°,6	+ 0,42			
6 — 11	15°,9	+ 0,93			
11 — 16	15°,5				+ 1,78
16 — 22	16°,5	+ 1,45			+ 0,42
22 — 27	00			- 1,83	
27 au 2 avril	16°,4	+ 1,17			Marches extrêmes à la température ambiante..... + 0,42
2 — 8	15°,5	+ 0,99			
8 — 14	14°,8	+ 0,92			DIFFÉRENCE A = 1,36
14 — 20	30°,00		- 0,48		
20 — 26	16°,4	+ 1,39			Marche au chaud..... - 0,48
26 — 30	17°,5	+ 1,78			Marche précédente ou suivante..... + 1,39
					DIFFÉRENCE C = - 1,87
					Marche au froid..... - 1,83
					Marche précédente ou suivante..... + 1,45
					DIFFÉRENCE F = - 3,28
					$\frac{1}{2} F = - 1,64$
					Marche au pendu + 1,42
					Marche précédente ou suivante..... + 0,93
					DIFFÉRENCE P = + 0,49
					A = 1,36
					G ou $\frac{1}{2} F = 1,87$
					N = 3,23

Nous désignerons la montre n° 3263 par la lettre *D*. Les chronomètres *A*, *B*, *C*, *D* étaient réglés sur le temps moyen. Les huiles en avaient été renouvelées au mois de Juin 1897.

Le 30 octobre 1897, à notre passage à Rio de Janeiro, nous embarquâmes le chronomètre n° 7844, d'Ulysse Nardin (Locle), qui nous fut gracieusement prêté, pour la durée de l'expédition, par le Gouvernement de la République Brésilienne (¹).

(1) Ce prêt est dû principalement à l'aimable intervention de notre compatriote M. Cruls, Directeur de l'Observatoire de Rio de Janeiro.

Le chronomètre n° 7844, que nous désignerons par la lettre *S*, était réglé sur le temps sidéral et portait un contact électrique. Malheureusement, nous ne reçumes aucun renseignement sur sa marche. Il devait, en principe, n'être utilisé que pour les mesures pendulaires.

B. INSTALLATION DES CHRONOMÈTRES A BORD.

Les montres furent déposées dans une boîte en chêne s'ouvrant, au-dessus, par un couvercle à charnières. La moitié supérieure du côté antérieur de cette boîte pouvait se rabattre sur sa moitié inférieure; de sorte qu'on pouvait voir l'heure, prendre les comparaisons et remonter les chronomètres sans devoir les déplacer.

Les montres reposaient sur des coussins et étaient calées, indépendamment l'une de l'autre, par des planchettes fixes recouvertes d'un épais rembourrage.

Il nous fut difficile de trouver à bord de notre petit navire un emplacement convenable pour les chronomètres. Ils furent d'abord installés dans la chambre du Commandant, située un peu en arrière du milieu du navire. Mais, si à cet endroit le roulis et le tangage se faisaient le moins vivement sentir, il y régnait une température rendue excessivement variable par le voisinage de la chaudière. Lorsque les feux étaient poussés, la chaleur y atteignait jusqu'à 40 degrés centigrades, et lorsque les feux étaient ensuite couverts, la température y baissait brusquement de 20 et même de 25 degrés.

Ces variations de la température ambiante amenèrent, comme on devait s'y attendre, des sauts considérables.

Le 23 août 1897, la boîte des montres fut déplacée et transportée au carré, où elle demeura pendant toute la durée du voyage.

A ce nouvel emplacement, elle se trouvait en abord, non loin de l'hélice, dont les trépidations étaient parfois très violentes. Les chronomètres y étaient disposés de telle sorte que la droite, passant par midi et 6 heures, formait un angle droit avec la quille du navire. Comme la boîte ne pouvait contenir que trois montres, le chronomètre *S*, embarqué en supplément à Rio de Janeiro, fut placé dans une caisse spéciale bien capitonnée et fixée à côté d'elle.

Enfin, nous portions généralement sur nous la montre de torpilleur, et, le soir, nous la maintenions « au pendu » dans notre chambre.

C. ÉTUDE PRÉLIMINAIRE.

Le 2 juillet 1897, lorsque la *BELGICA* entra dans le port d'Anvers, les renseignements, qui nous furent remis, sur la marche des chronomètres, se bornèrent à ceux que nous avons indiqués au paragraphe A. Ces données étaient évidemment insuffisantes. Malheureusement, la précipitation avec laquelle nous devions hâter le départ et les préoccupations nombreuses, qui nous assaillirent pendant l'armement, nous empêchèrent de commencer immédiatement l'étude des chronomètres ainsi que nous l'aurions souhaité.

Le 5 août 1897, les chronomètres *A*, *B* et *C* furent envoyés à l'Observatoire royal de Belgique, à Uccle, où leur étude fut confiée à M. Bijl, astronome-adjoint.

Le 13 août 1897, nous allâmes reprendre les montres, à Uccle, et M. Bijl nous remit les renseignements suivants :

Tableau de marche par 24 heures des chronomètres de la Mission Antarctique.

DATES	CHR. N° 501	CHR. N° 564	CHR. N° 1277	TEMPÉRATURE
	A	B	C	MOYENNE
Août 1897				
Marche du 6 au 7	+ 0 ⁰ ,05	- 1 ⁰ ,74	+ 4 ⁰ ,13	+ 22 ⁰ ,7 centigrades
6 au 8	+ 0,04	- 1,63	+ 3,96	+ 22,5
6 au 9	+ 0,09	- 1,75	+ 3,56	+ 22,1
6 au 10	+ 0,13	- 1,72	+ 4,02	+ 21,8
6 au 11	+ 0,13	- 1,68	+ 3,97	+ 22,0
6 au 12	+ 0,10	- 1,68	+ 3,79	+ 21,6
6 au 13				
7 au 8	+ 0,14	- 1,51	+ 3,79	+ 22,3
7 au 9	+ 0,11	- 1,75	+ 3,20	+ 21,9
7 au 10	+ 0,15	- 1,72	+ 3,97	+ 21,6
7 au 11	+ 0,14	- 1,77	+ 3,92	+ 21,6
7 au 12	+ 0,10	- 1,77	+ 3,70	+ 21,5
7 au 13				
8 au 9	+ 0,18	- 1,98	+ 2,68	+ 21,6
8 au 10	+ 0,15	- 1,93	+ 4,04	+ 21,2
8 au 11	+ 0,17	- 1,72	+ 3,95	+ 21,2
8 au 12	+ 0,12	- 1,71	+ 3,67	+ 21,2
8 au 13				
9 au 10	+ 0,20	- 1,69	+ 5,31	+ 20,8
9 au 11	+ 0,15	- 1,60	+ 4,57	+ 20,9
9 au 12	+ 0,09	- 1,64	+ 3,99	+ 21,0
9 au 13				
10 au 11	+ 0,10	- 1,52	+ 3,72	+ 20,8
10 au 12	+ 0,03	- 1,62	+ 2,82	+ 21,0
10 au 13				
11 au 12	- 0,03	- 1,71	+ 2,94	+ 21,3
11 au 13				
12 au 13				

Le signe plus (+) placé devant la correction indique un retard.

Le signe moins (-) placé devant la correction indique une avance.

13 août 1897.Chronomètre 501 (A), avance (-) 2^m 11^s,24.Chronomètre 564 (B), avance (-) 5^m 14^s,70.Chronomètre 1277 (C), retard (+) 2^m 49^s,99.

Uccle, le 13 Août 1897.

L'ASTRONOME-ADJOINT,
E. BIJL.

Ces données sur la marche des chronomètres étaient certes insuffisantes pour une expédition scientifique ; mais il ne faut pas perdre de vue que le temps avait fait défaut à M. Bijl, dont les observations avaient duré huit jours à peine, alors qu'elles auraient dû être continuées pendant six mois.

Le transport des chronomètres à Anvers vint encore compliquer le problème. Malgré les minutieuses précautions prises pendant ce voyage, les montres subirent des sauts. Le fait fut constaté, le lendemain, 14 août, lorsque nous reçumes par télégraphe l'heure de l'Observatoire d'Uccle. Les montres *A* et *C*, dont les marches étaient respectivement, le 12 août, $+0^s,10$ et $+3^s,79$, avaient, le 14 août, des marches diurnes de $+5^s,24$ et $+9^s,81$ (voir étude des chronomètres, deuxième partie, page 40).

D'un autre côté, comme le navire appareilla le 16 août, au matin, et que nous n'avions pu apercevoir le time-ball d'Anvers, le 15 août, nous prîmes la mer, sans être complètement fixés sur la marche de nos montres. Notre perplexité était naturelle, car les perturbations, produites par le transport, pouvaient n'avoir eu qu'une influence passagère, comme elles pouvaient aussi avoir modifié sensiblement la valeur des marches. Heureusement que le 17 août, un accident survint à la machine de la *BELGICA* et nous astreignit à relâcher à Ostende pendant plusieurs jours. —

Là, débarrassés des préoccupations matérielles et du soucis des réceptions à bord, nous pûmes nous consacrer entièrement à nos travaux.

Nous fîmes, le 22 et le 23 août, deux séries d'observations à l'horizon artificiel et nous déterminâmes la marche diurne probable des chronomètres, à l'aide des états absolus, déduits de ces observations. Nous obtîmes ainsi des valeurs différant sensiblement de celles que nous avions admises au départ d'Anvers. Toutefois la marche diurne trouvée pour le chronomètre *A* était la même que celle donnée antérieurement, pour cette montre, par le constructeur Carl Ranch.

Faute de mieux, nous adoptâmes ces valeurs, qui furent d'ailleurs trouvées exactes, à peu de chose près, lors de notre escale à l'île Madère.

D. COMPARAISONS JOURNALIÈRES.

I. Définitions et conventions.

- a) Nous adopterons pour *premier méridien* celui qui passe par l'*Observatoire de Greenwich*.
- b) Nous désignerons par *Tmg* l'heure temps moyen de Greenwich.
- c) Nous représenterons l'heure marquée par un chronomètre par la lettre qui désigne ce chronomètre.

d) *L'état absolu* ou la *correction* d'un chronomètre est le nombre d'heures, minutes et secondes qu'il faut *ajouter* à l'heure de cette montre pour en déduire l'heure correspondante de Greenwich.

e) Par convention, l'état absolu sera toujours pris *positivement et moindre que 12 heures*.

Ainsi, lorsque la montre n° 501 marquera l'heure *A*, il sera à Greenwich l'heure *Tmg* et l'état absolu de ce chronomètre sera :

$$E = Tmg - A, \text{ à l'heure } Tmg \text{ de Greenwich.}$$

A cet instant, l'état absolu du chronomètre *B* sera :

$$E' = Tmg - B$$

et ainsi de suite.

f) La marche diurne d'un chronomètre est la variation de l'état absolu de cette montre en 24 heures moyennes. En d'autres termes, c'est le temps qu'il faut *ajouter algébriquement* à l'état absolu d'une montre pour obtenir la valeur de son état absolu après un jour moyen.

g) Nous représenterons par

- a la marche diurne du chronomètre *A*,
- b la marche diurne du chronomètre *B*,
- c la marche diurne du chronomètre *C*,
- d la marche diurne du chronomètre *D*.

h) Comme le chronomètre *S* est réglé sur le temps sidéral, sa marche diurne devrait être exprimée en intervalle de temps sidéral. Nous désignerons par *s* la valeur de cette marche, *convertie en intervalle de temps moyen*.

i) Il résulte des conventions précédentes que la marche diurne d'une montre qui *avance* sera affectée du *signe négatif* (—), et que la marche diurne d'une montre qui *retarde* sera affectée du *signe positif* (+).

II. Comparaisons des chronomètres réglés sur le temps moyen.

Tous les matins, à 9 heures, les montres étaient remontées et nous les comparions au chronomètre *A*. Au moment où nous ouvrions la boîte, nous notions la température marquée par le thermomètre qui s'y trouvait déposé.

Nous obtenions les comparaisons en retranchant successivement de l'heure marquée par *A*, les heures correspondantes des autres montres ; nous trouvions ainsi les valeurs $(A-B)$, $(A-C)$, $(A-D)$, que nous inscrivions dans le journal des comparaisons journalières (Étude des chronomètres, deuxième partie, page 52 et suivantes).

En soustrayant de chacune de ces valeurs, celles que nous avions obtenues la veille pour les montres correspondantes, nous en déduisions les différences des marches diurnes $(b-a)$, $(c-a)$, $(d-a)$.

En effet, considérons deux comparaisons successives ; le premier jour, la montre *A* marque l'heure A_1 au moment où la montre *B* marque l'heure B_1 . Le lendemain, après 24 heures moyennes, la montre *A* marque l'heure A_2 au moment où la montre *B* marque l'heure B_2 .

Si nous supposons que *a* et *b* contiennent implicitement le signe qui leur a été affecté au paragraphe *i*, il se sera écoulé entre les deux comparaisons un temps $[(A_2 + a) - A_1]$ donné par la montre *A* et un temps $[(B_2 + b) - B_1]$ donné par la montre *B*.

Comme ces deux intervalles de temps doivent être égaux, nous avons

$$[(A_2 + a) - A_1] = [(B_2 + b) - B_1]$$

$$\text{d'où : } (A_2 - B_2) - (A_1 - B_1) = (b - a).$$

REMARQUE. — La démonstration que nous venons de donner suppose que les comparaisons sont prises après un intervalle de temps rigoureusement égal à 24 heures moyennes. En pratique, il n'en n'est pas ainsi.

D'abord, parce que les comparaisons sont prises à 9 heures du matin (temps local) sur un navire qui se déplace et par suite à des intervalles de temps qui diffèrent, certes peu, de 24 heures

moyennes, mais qui s'en écartent néanmoins d'une durée variable avec les déplacements en longitude. Ensuite, parce qu'il est à peu près impossible et inutile, comme nous allons l'établir, de s'assujétir, à une semblable obligation.

En effet, le journal des comparaisons journalières ⁽¹⁾ indique dans la colonne *A*, l'heure marquée par le chronomètre n° 501 à la fin des comparaisons, et montre que celles-ci ont été prises à des intervalles de temps, dont l'écart maximum, d'un jour au suivant, n'atteignait pas 30 minutes.

Appliquons au cas de cette limite le raisonnement que nous avons établi plus haut : Entre deux comparaisons consécutives il s'est écoulé une durée indiquée par $[(A_2 + a \pm \frac{0,5}{24} a) - A_1]$ par la montre *A* et par $[(B_2 + b \pm \frac{0,5}{24} b) - B_1]$ par la montre *B*.

Nous avons donc successivement :

$$[(A_2 + a \pm \frac{0,5}{24} a) - A_1] = [(B_2 + b \pm \frac{0,5}{24} b) - B_1]$$

$$\text{d'où : } (A_2 - B_2) - (A_1 - B_1) = (b - a) \pm \frac{0,5}{24} (b - a)$$

Or, il est certain que le terme $\frac{0,5}{24} (b - a)$ ou d'une façon générale $\frac{0,5}{24} (m - n)$ sera maximum en valeur absolue, lorsque *m* et *n* seront maximum et de signes contraires.

L'examen du journal des marches ⁽²⁾ établit que le terme $(m - n)$ a toujours été inférieur à 10 secondes en valeur absolue. Il en résulte que le terme $\frac{0,5}{24} (m - n)$ n'a jamais atteint $0^s,21$, c'est-à-dire un quart de seconde.

Enfin, comme les comparaisons étaient prises avec une approximation d'une demi-seconde, la méthode que nous avons appliquée convenait au genre d'observations que nous avons choisi.

III. Comparaisons du chronomètre réglé sur le temps sidéral.

Soit à comparer le chronomètre *S*, réglé sur le temps sidéral, au chronomètre *A* réglé sur le temps moyen.

Désignons par *s_s* la marche diurne, évaluée en temps sidéral, du chronomètre *S* (en 24 h^{res} moyennes), et considérons deux comparaisons successives.

Le premier jour, la montre *A* marque l'heure *A*, au moment où la montre *S* marque l'heure *S₁*. Le lendemain, après 24 heures moyennes, la montre *A* marque l'heure *A₂* au moment où la montre *S* marque l'heure *S₂*.

Si nous supposons que *a* et *s_s* contiennent implicitement les signes qui leur ont été affectés au paragraphe *i*, il se sera écoulé entre les deux observations un intervalle de temps moyen $[(A_2 + a) - A_1]$ donné par la montre *A*, et un intervalle de temps sidéral $[(S_2 + s_s) - S_1]$ donné par la montre *S*.

Si nous convertissons la durée $[(S_2 + s_s) - S_1]$ en intervalle de temps moyen *s_s* devient égal à *s* (voir paragraphe *h*) et nous aurons :

$$[(A_2 + a) - A_1] = (S_2 - S_1) \text{ converti} + s$$

$$\text{d'où : } (A_2 - A_1) - (S_2 - S_1) \text{ converti} = (s - a).$$

(1) Étude des chronomètres, deuxième partie, page 59 et suivantes.

(2) Étude des chronomètres, deuxième partie, page 40 et suivantes.

REMARQUE I. — Par un raisonnement analogue à celui que nous avons développé dans l'étude des comparaisons des chronomètres réglés sur le temps moyen, nous démontrerions que, nos observations ayant été prises à des intervalles de temps, dont l'écart maximum, d'un jour au suivant, n'atteignait pas 30 minutes, nous avons commis des erreurs moindres qu'une demi seconde, c'est-à-dire inférieure à l'approximation des comparaisons.

REMARQUE II. — En pratique nous agissons de la manière suivante : Tous les matins, vers 9 heures, nous notons les heures $S_1, S_2, S_3\dots$ du chronomètre sidéral correspondant aux heures $A_1, A_2, A_3\dots$ du chronomètre A .

Nous formions les différences $(A_2 - A_1)$ et $(S_2 - S_1)$; puis, à l'aide de la table donnée ci-dessous, nous convertissions la durée $(S_2 - S_1)$ en intervalle de temps moyen. Enfin, en formant la différence $[(A_2 - A_1) - (S_2 - S_1) \text{ converti}]$ nous obtenions, *avec son signe*, la valeur de la différence $(s - a)$.

Conversion d'un intervalle de temps sidéral en intervalle de temps moyen.

INTERVALLE SIDÉRAL	INTERVALLE MOYEN	INTERVALLE SIDÉRAL	INTERVALLE MOYEN	INTERVALLE SIDÉRAL	INTERVALLE MOYEN	INTERVALLE SIDÉRAL	INTERVALLE MOYEN
23 ^h 30 ^m	23 ^h 26 ^m 09 ^s ,0	23 ^h 45 ^m	23 ^h 41 ^m 06 ^s ,5	24 ^h 00 ^m	23 ^h 56 ^m 04 ^s ,0	24 ^h 15 ^m	24 ^h 11 ^m 01 ^s ,5
31	27 09,0	46	42 06,5	01	57 04,0	16	12 01,5
32	28 08,5	47	43 06,0	02	58 04,0	17	13 01,5
33	29 08,5	48	44 06,0	03	59 03,5	18	14 01,0
34	30 08,5	49	45 06,0	04	24 00 03,5	19	15 01,0
35	31 08,0	50	46 05,5	05	01 03,5	20	16 01,0
36	32 08,0	51	47 05,5	06	02 03,0	21	17 00,5
37	33 08,0	52	48 05,5	07	03 03,0	22	18 00,5
38	34 07,5	53	49 05,0	08	04 03,0	23	19 00,5
39	35 07,5	54	50 05,0	09	05 02,5	24	20 00,0
40	36 07,5	55	51 05,0	10	06 02,5	25	21 00,0
41	37 07,0	56	52 04,5	11	07 02,5	26	22 00,0
42	38 07,0	57	53 04,5	12	08 02,0	27	22 59,5
43	39 07,0	58	54 04,5	13	09 02,0	28	23 59,5
44	40 06,5	59	55 04,5	14	10 02,0	29	24 59,5

EXEMPLE. — (Voir : Étude des chronomètres, deuxième partie, page 72).

Le 24 juin 1898 $A_1 = 2^h 56^m 45^s,0$ et $S_1 = 10^h 06^m 00^s,0$.

Le 25 juin 1898 $A_2 = 2^h 59^m 52^s,0$ et $S_2 = 10^h 13^m 00^s,0$.

Nous aurons : $(A_2 - A_1) = 24^h 03^m 07^s,0$

et $(S_2 - S_1) = 24^h 07^m 00^s,0$ (durée sidérale) = (voir tableau) = $24^h 03^m 03^s,0$ (intervalle de temps moyen).

D'où $(s - a) = 24^h 03^m 07^s,0 - 24^h 03^m 03^s,0 = + 4^s,0$.

E. MODE D'UTILISATION DES COMPARAISONS.

Tous les matins donc, les comparaisons donnaient les valeurs de $(b-a)$, $(c-a)$, $(d-a)$ et $(s-a)$, dont nous pouvions éventuellement déduire $(b-c)$, $(b-d)$, $(b-s)$, $(c-d)$ et $(c-s)$ par de simples différences algébriques.

L'examen de ces nombres nous donnait une idée de la marche relative des chronomètres ; ainsi, il était probable que la montre S avait subi un saut si, à la date n , la valeur de $(s-a)$ différait sensiblement de celle que nous avions obtenue la veille, alors que les différences $(b-a)$ et $(c-a)$ restaient les mêmes que les jours précédents.

Voyons maintenant de quelle manière nous pouvions utiliser ces données.

Supposons que, par un procédé quelconque, nous ayons déterminé les marches diurnes a_1 , b_1 , c_1 , d_1 , s_1 , des montres, à la date n .

Le lendemain, les comparaisons faisaient connaître les valeurs de $(b-a)$, $(c-a)$, $(d-a)$ et $(s-a)$.

En formant la différence algébrique $[b_1 - (b-a)]$ nous obtenions la marche du chronomètre A à l'aide du chronomètre B . Désignons par a_b cette marche. De même, la différence algébrique $[c_1 - (c-a)]$ nous donnait a_c , c'est-à-dire la marche du chronomètre A à l'aide du chronomètre C ; et ainsi de suite. Enfin, par analogie, nous devions poser : $a_a = a_1$, puisque la marche du chronomètre A , donnée par cette montre elle-même, avait été trouvée la veille égale à a_1 .

Nous avions donc ainsi :

$$\begin{aligned} a_a &= a_1 \\ a_b &= b_1 - (b-a) \\ a_c &= c_1 - (c-a) \\ a_d &= d_1 - (d-a) \\ a_s &= s_1 - (s-a) \end{aligned}$$

Si toutes les montres avaient marché correctement, nous aurions dû avoir :

$$a_a = a_b = a_c = a_d = a_s.$$

et nous aurions pu poser :

$$a_2 = \frac{a_a + a_b + a_c + a_d + a_s}{5}$$

Enfin, en introduisant a_2 dans $(b-a)$, $(c-a)$... etc., nous aurions obtenu b_2 , c_2 ... c'est-à-dire de nouvelles valeurs pour les marches.

Le jour suivant, à l'aide de a_2 , b_2 , c_2 , d_2 , etc., nous aurions agi sur les valeurs de $(b-a)$, $(c-a)$... données par les comparaisons, comme nous l'avions fait la veille avec a_1^1 , b_1 , c_1 ..., et nous en aurions déduit a_3 , b_3 , c_3 ... etc. ; et ainsi de suite.

En pratique, les opérations eussent été trop longues si nous avions dû les effectuer chaque jour : nous avons donc agi par période. A cet effet, nous notions dans le journal des marches diurnes (1), les moyennes de $(b-a)$, $(c-a)$... et de la température, pour des périodes d'environ cinq jours. Nous agissions sur ces valeurs comme il vient d'être exposé, et nous admptions que, pour la durée de la période, les valeurs de a , b , c , d pouvaient être considérées comme constantes.

(1) Voir Étude des chronomètres, deuxième partie, page 40 et suivantes.

REMARQUE I. — Lorsqu'une des valeurs a_a , a_b , ..., a_s différait sensiblement des autres, nous n'en tenions pas compte dans le calcul de la moyenne.

REMARQUE II. — En principe, les périodes avaient une durée de cinq jours; mais nous les arrêtons à la fin du mois et aux époques où les états absolus étaient obtenus par des observations astronomiques. —

REMARQUE III. — Comme on le voit, toutes les marches ont été ramenées à celle du chronomètre A , que nous avons appelé : « régulateur ». Cette montre, en effet, était celle dont la marche avait été la plus régulière, pendant le dépôt de nos chronomètres chez le constructeur Carl Ranch et à l'Observatoire royal de Belgique.

REMARQUE IV. — Lorsque, pour une raison quelconque, la marche du régulateur A avait été calculée indépendamment d'une des montres, le journal des marches faisait mention des circonstances particulières qui nous avaient conduits à ne pas tenir compte momentanément de cette montre.

REMARQUE V. — La montre D , dont la marche était très irrégulière, n'a jamais été utilisée pour le calcul de la marche du régulateur. La montre S fut employée pour le calcul de cette marche, à partir du 1 Janvier 1899 seulement. Ce chronomètre, en effet, avait été exclusivement réservé aux observations pendulaires et s'était arrêté, à Punta Arenas et à Lapataïa. Nous ne possédions d'ailleurs pas de renseignements assez précis pour qu'il nous fût permis de l'utiliser comme les autres montres.

Les comparaisons qui furent prises, pendant l'année 1898, nous parurent satisfaisantes, et nous engagèrent à nous servir des valeurs de $(s-a)$, dès le commencement de l'année 1899.

Exemple. Pendant la période du 20 au 25 Septembre 1897, le journal des marches diurnes renseignait : ⁽¹⁾

$$\text{moyenne de } \left\{ \begin{array}{l} \text{la température} = 22^{\circ},3 \\ (b-a) = - 3^{\circ},0 \quad (1) \\ (c-a) = + 3^{\circ},2 \quad (2) \end{array} \right.$$

Les marches calculées, pour la période précédente, étaient : ⁽²⁾

$$a_i = + 1^{\circ},2; \quad b_i = - 1^{\circ},7; \quad c_i = + 4^{\circ},3.$$

D'après le raisonnement développé plus haut, on avait :

$$\begin{aligned} a_a &= + 1^{\circ},2 \\ a_b &= [b_i - (b-a)] = - 1^{\circ},7 - (- 3^{\circ},0) = + 1^{\circ},3 \\ a_c &= [c_i - (c-a)] = + 4^{\circ},3 - (3^{\circ},2) = + 1^{\circ},1 \end{aligned}$$

$$\text{d'où : } a_2 = \frac{a_a + a_b + a_c}{3} = + 1^{\circ},2.$$

Et les équations (1) et (2) donnaient :

$$\begin{aligned} b_2 &= (b-a) + a_2 = - 3^{\circ},0 + 1^{\circ},2 = - 1^{\circ},8 \\ c_2 &= (c-a) + a_2 = + 3^{\circ},2 + 1^{\circ},2 = + 4^{\circ},4. \end{aligned}$$

(1) Étude des chronomètres, deuxième partie, page 40.

(2) Étude des chronomètres, deuxième partie, page 40, ligne 16.

Les chiffres correspondants à : a_2 , b_2 , c_2 étaient alors inscrits dans le journal des marches diurnes et nous admptions que, pour la période du 20 au 25 Septembre les marches diurnes des chronomètres avaient été :

$$a = + 1^s,2 ; b = - 1^s,8 ; c = + 4^s,4.$$

F. — ÉTATS ABSOLUS ADOPTÉS EN COURS DE ROUTE.

Supposons que, par un des procédés d'observations que nous développerons plus loin, nous ayons déterminé l'état absolu, (T_{mg-A}), du régulateur, pour la date n , à midi moyen de Greenwich, et que la marche de ce régulateur, pour la période comprise entre les dates $(n-5)$ et n , soit a_o .

En utilisant les comparaisons, comme nous l'avons indiqué au paragraphe V, nous en déduirons les marches a_1 , a_2 , a_3 a_k du régulateur, pour les périodes comprises entre les dates n et $(n+5)$; $(n+5)$ et $(n+10)$; $(n+10)$ et $(n+15)$ et ainsi de suite.

Les valeurs successives de l'état absolu seront donc ⁽¹⁾ :

$$\begin{aligned} (T_{mg-A}) &= \xi_n, \text{ à la date } n \\ &(\xi_n + a_1), \text{ à la date } (n+1) \\ &(\xi_n + 2a_1), \text{ à la date } (n+2) \\ &(\xi_n + 5a_1) = \xi_{n+5}, \text{ à la date } (n+5) \\ &(\xi_{n+5} + a_2), \text{ à la date } (n+6) \\ &(\xi_{n+5} + 5a_2) = \xi_{n+10}, \text{ à la date } (n+10) \\ &(\xi_{n+10} + a_3), \text{ à la date } (n+11).... \end{aligned}$$

et ainsi de suite.

En vue d'écartier le plus possible les erreurs et de faciliter les calculs, nous avons inscrit dans le *Journal des états absolus du régulateur* ⁽²⁾ les valeurs journalières de (T_{mg-A}), adoptées en cours de route, et calculées comme nous venons de l'indiquer.

REMARQUE I. — Par cette méthode il n'était possible d'inscrire les états absolus que tous les cinq jours, et à la fin des périodes seulement. D'un autre côté, nous ne pouvions pas attendre ce moment pour effectuer les calculs relatifs à la position, au magnétisme terrestre, etc. Aussi, en pratique, avons-nous agi de la manière suivante :

Désignons par a_o la marche du régulateur pour la période comprise entre les dates $(n-5)$ et n , et par ξ_n l'état absolu adopté en cours de route, à la date n .

A la date $(n+k)$, nous adoptons, pour nos calculs, l'état absolu : $\xi_{n+k} = (\xi_n + ka_o)$. Ensuite, à la date $(n+5)$, nous déterminions un nouvelle valeur de a et nous obtenions ainsi l'état absolu $\xi_{n+5} = (\xi_n + 5a_o)$, c'est-à-dire celui qui est inscrit dans le journal.

Dans ces conditions, la longitude adoptée provisoirement, à la date $(n+k)$, devait simplement être corrigée de $(\xi_{n+k} - \xi_{n+k})$ secondes de temps et les calculs ne devaient pas être recommandés ⁽³⁾.

(1) En admettant que la marche du régulateur soit constante, pendant la durée d'une période.

(2) Voir Étude des chronomètres, deuxième partie, page 19.

(3) Le temps $(\xi_{n+k} - \xi_{n+k})$ doit être retranché algébriquement de la longitude conclue de l'état absolu ξ_{n+k} , en laissant à cette longitude la convention établie précédemment; c'est-à-dire qu'elle est positive lorsqu'elle est orientale, et négative lorsqu'elle est occidentale de Greenwich.

REMARQUE II. — Les valeurs de ξ' ne sont pas reproduites dans le journal des états absolus du régulateur; nous nous sommes bornés à y inscrire les valeurs de ξ dont nous avions fait usage dans quelques notes préliminaires. —

EXEMPLE. — Le 29 octobre 1897, à midi moyen de Greenwich, nous avons obtenu, par comparaison à la pendule régulatrice de l'Observatoire de Rio-de-Janeiro :

$$Tmg - A = 11^h 59^m 44^s,32 = \xi_{29}$$

et nous avons trouvé que, pour la période du 26 au 29 Octobre 1897, $a_0 = + 1^s,2$. Les comparaisons journalières ont donné en outre :

$$a_1 = + 1^s,2, \text{ pour la période du 29 au 31 Octobre}$$

$$a_2 = + 1^s,0, \text{ pour la période du 31 Octobre au 5 Novembre}$$

$$a_3 = + 1^s,1, \text{ pour la période du 5 au 10 Novembre.}$$

Les états absolus adoptés en cours de route ont été :

$$\xi_{29} + a_1 = 11^h 59^m 45^s,52 = \xi_{30}, \text{ pour le 30 Octobre}$$

$$\xi_{29} + 2 a_1 = 11^h 59^m 46^s,72 = \xi_{31}, \text{ pour le 31 Octobre}$$

$$\xi_{31} + a_2 = 11^h 59^m 47^s,72 = \xi_1, \text{ pour le 1er Novembre}$$

$$\xi_1 + 2 a_3 = 11^h 59^m 48^s,72 = \xi_2 \text{ pour le 2 Novembre}$$

et ainsi de suite.

D'un autre côté, pour l'observation du point en mer, le 2 Novembre l'état absolu adopté fut : ⁽¹⁾

$$\xi_1 + 2 a_1 = 11^h 59^m 49^s,12 = \xi'_2.$$

Il en résulte que la longitude obtenue, pour le 2 Novembre, devait être corrigée de

$$(\xi_2 - \xi'_2) = - 0^s,40$$

comme ces $- 0^s,40$ devaient être retranchés algébriquement de la longitude, primitivement admise pour le 2 Novembre, cette longitude devait donc être corrigée de $+ 0^s,40$, c'est à dire être reportée de $0^s,40$ vers l'Est.

G. MARCHES RÉDUITES DU RÉGULATEUR ET ÉTATS ABSOLUS APRÈS RÉDUCTION.

Soient E et E' les valeurs de l'état absolu du chronomètre A , obtenues à n jours d'intervalle, par des séries d'observations astronomiques.

La marche diurne moyenne, pendant cet intervalle de temps, aura été :

$$a_m = \frac{E' - E}{n}$$

D'un autre côté, en prenant E pour point de départ, et en appliquant la méthode développée au paragraphe F, l'état absolu, adopté en cours de route, était ξ' le jour où la deuxième série de mesures a donné E' .

Il en résulte que la méthode, appliquée en cours de route, avait occasionné une erreur de $(E' - \xi')$ secondes en n jours, soit de $\gamma = \frac{E' - \xi'}{n}$, en 24 heures moyenne. Comme, nous n'avions aucune raison pour répartir d'une façon déterminée cette erreur moyenne, nous l'avons ajoutée algébriquement aux diverses valeurs $a_1, a_2, a_3 \dots$ adoptées pour la marche du régulateur

(1) Étude des chronomètres, deuxième partie, page 40, 10^e colonne.

(2) a_1 correspond à la marche du régulateur adoptée pour la période qui précède le 2 Novembre (donc du 29 au 31 Octobre).

en cours de route. Nous avons ainsi obtenu *la marche réduite du régulateur, a'* , et nous l'avons inscrite, pour chaque jour, dans le journal des états absolus du régulateur (1), et, pour chaque période, dans le journal des marches diurnes (2).

Enfin, en prenant E pour point de départ, nous avons agi avec les marches $a'_1 = a_1 + \gamma$; $a'_2 = a_2 + \gamma$;.... et ainsi de suite, comme nous l'avions fait pour calculer l'état absolu en cours de route. Nous avons ainsi obtenu les *états absolus du régulateur après réduction*.

REMARQUE I. — Par un raisonnement analogue à celui que nous avons formulé dans la remarque I du paragraphe F, nous établirions que, si ξ_i est l'état absolu adopté en cours de route, et E_i l'état absolu du régulateur après réduction, à la même date; les longitudes calculées primitivement pour ce jour doivent être corrigées de $(E_i - \xi_i)$ secondes de temps (3).

REMARQUE II. — On obtiendrait encore les états absolus du régulateur après réduction, en ajoutant algébriquement aux états absolus adoptés en cours de route, pour les mêmes époques, $\gamma, 2\gamma, 3\gamma, \dots, n\gamma$, suivant que ces états correspondent à des instants éloignés de 1, 2, 3, ..., n jours de l'époque à laquelle on a observé E .

REMARQUE III. — Comme les différences $(b-a), (c-a), \dots, (s-a)$ sont données dans le journal des comparaisons journalières et le journal des marches diurnes, on pourrait, à l'aide des marches a'_1, a'_2, \dots etc. calculer les valeurs de $b'_1, b'_2, \dots, c'_1, c'_2, \dots, s'_1, s'_2, \dots$ etc.; c'est-à-dire les marches réduites des autres chronomètres. Toutefois, nous n'avons pas reproduit ces valeurs dans les journaux, parce qu'elles n'étaient pas nécessaires pour le tracé des diagrammes (4).

REMARQUE IV. — Les marches réduites des montres B, C et S ont été calculées aux dates où nous effectuions des observations ayant pour objet le réglage des chronomètres. Dans ce cas, elles ont été inscrites dans le journal des marches diurnes, parce qu'elles servaient de nouveau point de départ au calcul de la marche du régulateur.

EXEMPLE. — Le 14 Septembre 1897, à midi moyen de Greenwich, on a obtenu, par des observations à l'horizon artificiel : $(Tmg - A) = E = 11^h 58^m 38^s,13$. Les marches réduites, pour la période du 10 au 14 Septembre, étaient : $a_0 = + 1^s,3$; $b_0 = - 1^s,8$; $c_0 = + 4^s,3$. Les marches, adoptées en cours de route pour le régulateur, pour la période du 20 au 26 Octobre, et calculées en fonction de a_0, b_0 et c_0 , ont été successivement (5) : $a_1 = + 1^s,2$; $a_2 = + 1^s,2$; $a_3 = + 1^s,2$; $a_4 = + 1^s,2$; $a_5 = + 1^s,1$;.... enfin $a = + 1^s,2$. Le 26 Octobre, à midi moyen de Greenwich, on a obtenu par des observations à l'horizon artificiel : $(Tmg - A) = E' = 11^h 59^m 40^s,65$. D'un autre côté, l'état absolu adopté en cours de route, à cette date, et déduit de a_1, a_2, \dots d'après la méthode, indiquée au paragraphe F, fut : $\xi' = 11^h 59^m 27^s,53$. Enfin, les comparaisons journalières, inscrites au journal, pour la période du 20 au 26 Octobre furent : $(b-a) = - 2^s,9$; $c-a = + 2^s,9$.

Calculer les marches réduites du régulateur pour les diverses périodes comprises entre le 14 Septembre et le 26 Octobre, déterminer ensuite l'état absolu du régulateur après réduction,

(1) Étude des chronomètres, deuxième partie, page 19, 4^{me} colonne.

(2) Étude des chronomètres, deuxième partie, page 40, 14^{me} colonne.

(3) En maintenant la convention de signe dans cette remarque.

(4) La construction de ces diagrammes est exposée au chapitre V de ce mémoire.

(5) Les valeurs de a_1, a_2, a_3, \dots etc. ont été obtenues par la méthode indiquée au paragraphe E.

pour les jours compris entre ces deux dates; enfin, faire connaître les marches réduites des montres *B* et *C*, pour la période du 20 au 26 Octobre 1897?

I. *Calcul des marches réduites du régulateur.* — Entre le 14 Septembre, à midi de Greenwich, et le 26 Octobre, à la même heure, il s'est écoulé 42 jours.

Il en résulte donc que, en 42 jours, la méthode adoptée en cours de route a conduit à une erreur de

$$(E' - \xi) \text{ secondes de temps}$$

c'est-à-dire de : $11^h 59^m 40^s,65 - 11^h 59^m 27^s,53$ soit de $+13,12$ secondes.

Si l'on répartit uniformément cette erreur sur les marches *a*, il faut ajouter algébriquement à chacune d'elles :

$$\frac{13^s,12}{42} = +0^s,31.$$

Les marches réduites du régulateur deviennent ainsi :

$$\begin{aligned} a'_1 &= a_1 + 0,31 = +1^s,2 + 0^s,31 = +1^s,51 \\ a'_2 &= +1^s,51 \text{ et ainsi de suite.} \end{aligned}$$

II. *Détermination de l'état absolu du régulateur après réduction.* —

Le 14 Septembre, $T_{mg} - A = E = 11^h 58^m 38^s,13$.

Le 15 Septembre, $T_{mg} - A = E + a'_1 = E_1 = 11^h 58^m 39^s,64$.

Le 16 Septembre, $T_{mg} - A = E_1 + a'_2 = 11^h 58^m 41^s,15$.

Le 26 Octobre, $T_{mg} - A = E' = 11^h 59^m 40^s,65$.

III. *Calcul des marches réduites des montres B et C, pour la période du 20 au 26 Octobre.* — Puisque, pour cette période, $(b-a) = -2^s,9$ et $(c-a) = +2^s,9$ et que la marche réduite du régulateur fut ⁽¹⁾ : $a' = +1^s,51$ ou simplement $a' = +1^s,5$, il est évident que

$$\begin{aligned} b' &= (b-a) + a' = -2^s,9 + 1^s,5 = -1^s,4 \\ c' &= (c-a) + a' = +2^s,9 + 1^s,5 = +4^s,4. \end{aligned}$$

Les valeurs de *a'*, *b'*, *c'* sont inscrites dans le journal des marches diurnes ⁽²⁾ et servent de point de départ au calcul de la marche du régulateur en cours de route, après le 26 Octobre.

H. MARCHES D'ORIGINE.

Nous avons admis au paragraphe précédent que nous connaissions *E* ainsi que a_0, b_0, \dots, s_0 . Ces marches a_0, b_0, \dots, s_0 qui servent de point de départ au calcul de la marche du régulateur en cours de route, ⁽³⁾ ont reçu le nom de *marches d'origine*. Elles correspondent à la valeur la plus probable des marches au moment où l'observation détermine l'état absolu *E*.

Les perturbations, qui se manifestèrent dans les montres, les premiers jours de l'embarquement, rendirent évidemment impossible l'application de toute méthode.

(1) Étude des chronomètres, deuxième partie, page 40, 22^{ème} ligne, 14^e colonne. Cette valeur de *a'* fut calculée comme nous l'avons indiqué ci-dessus, au paragraphe I.

(2) Étude des chronomètres, deuxième partie, page 40, 23^{ème} ligne, 11^e et 12^e colonnes.

(3) C'est-à-dire au calcul de a_1, a_2, a_3, \dots etc.

Nos premières marches d'origine résultèrent des observations effectuées, à Ostende, le 22 et le 23 Août 1897.

Dans la suite, lorsque nous ne pûmes déterminer qu'à des intervalles de temps considérables nos états absolus, les valeurs de a_0 , b_0 , c_0 , ..., s_0 , qui devaient servir de marches d'origine au calcul de la marche du régulateur en cours de route, furent prises égales à celles que nous avions obtenues, après réduction, pour la période précédant la date d'observation du dernier état absolu.

Ainsi, les marches d'origine, après le 14 Septembre 1897, correspondent aux marches réduites pour la période du 10 au 14 Septembre de la même année.

Mais, lorsque nos escales dans un port, dont les coordonnées géographiques étaient connues, nous permirent de faire des observations à quelques jours d'intervalle, nos marches réduites se confondirent évidemment avec la *marche diurne moyenne*, pendant cet intervalle de temps.

CHAPITRE II.

INSTRUMENTS UTILISÉS POUR LE RÉGLAGE DES CHRONOMÈTRES.

Les instruments dont nous disposions étaient les suivants :

- a) un sextant avec pied,
- b) un horizon artificiel liquide,
- c) un horizon artificiel à glace,
- d) une lunette astronomique,
- e) un théodolite de Brunner.

A. SEXTANT.

Notre sextant avait été construit par Hurlimann de Paris, son rayon était de 19 centimètres. Un prisme biréfringent pouvait s'interposer entre les deux miroirs, afin de dédoubler l'image réfléchie, et de faciliter les observations de nuit.

Nous pouvions visser sur le collier destiné à recevoir la lunette :

une simple pinnule,
ou une lunette terrestre,
ou une lunette astronomique,

ou une lunette astronomique de nuit, de grandes dimensions, construite par M. Démichel, de Paris;

ou, enfin, la lunette spéciale nécessaire aux observations effectuées à l'aide du gyroscope dans le vide de l'Amiral Fleurais (constructeur Démichel).

Quant au gyroscope lui-même, il se fixait au corps du sextant, par le système de support généralement employé.

L'approximation du vernier était de 10 secondes d'arc.

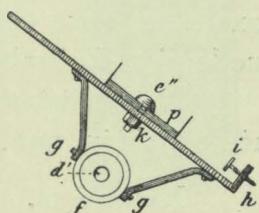
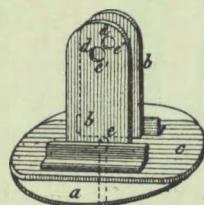
Nous avions nous-même étudié avec soin notre sextant, en 1897, époque à laquelle nous étions attaché à l'Observatoire du Bureau des Longitudes, à Montsouris (Paris).

Lorsque nous faisions des observations à l'horizon artificiel, nous montions notre sextant sur un pied en métal, construit, en cours de route, par notre mécanicien, M. Somers.

Ce pied se composait :

α. — D'une plaque métallique plane *a*, fixée sur un trépied et percée au centre d'une ouverture circulaire, afin de donner passage à un axe de rotation *e*.

β. — De deux plaques parallèles *b*, rivées par des cornières, perpendiculairement à une plaque *c*, mobile autour de l'axe *e* et rodée sur la plaque *a*. Ces plaques étaient percées, en *d*, d'une ouverture circulaire dans laquelle passait un boulon *e'*.



γ. — D'un cercle métallique f , percé en son centre d'une ouverture de même diamètre que celle de la circonférence de d . L'épaisseur de ce cercle était égale à l'intervalle séparant les plaques b , entre lesquelles il pouvait se fixer et se mouvoir, autour du boulon e' .

Ce cercle était prolongé par deux tiges courbes g qui soutenaient une règle $h h'$. A l'une de ses extrémités, cette règle était recourbée en équerre, et munie d'une vis i , dont le pas était très petit. En k , se trouvait enfin une ouverture circulaire.

Pour monter l'appareil, nous fixions la plaque c sur la plaque a , au moyen de l'écrou e , autour duquel la plaque c pouvait donc se mouvoir.

Nous intercalions la pièce f, g, h, h', i entre les plaques b , et nous faisions passer le boulon e' dans les ouvertures d, d', d . La pièce f, g, h, h', i était donc mobile autour de l'axe e' .

Enfin, le sextant reposait, par sa poignée p , sur la règle $h h'$ et pouvait tourner autour du boulon e'' . Ce dernier passait au travers de l'ouverture k , et était maintenu en place par un écrou que nous pouvions serrer à volonté.

Dans ces conditions, le plan du sextant pouvait tourner autour de l'axe e'' . En combinant les divers mouvements, on voit que, si la plaque a était placée horizontalement, le sextant était mobile :

- 1^o autour de l'axe vertical e ,
- 2^o autour de l'axe horizontal e' ,
- 3^o autour de l'axe e'' , perpendiculaire à l'axe e' .

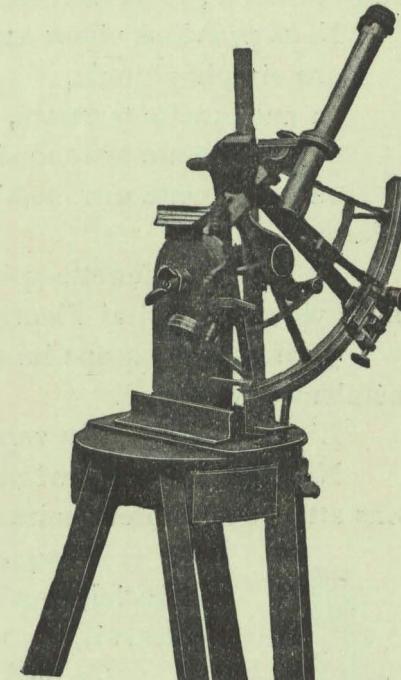
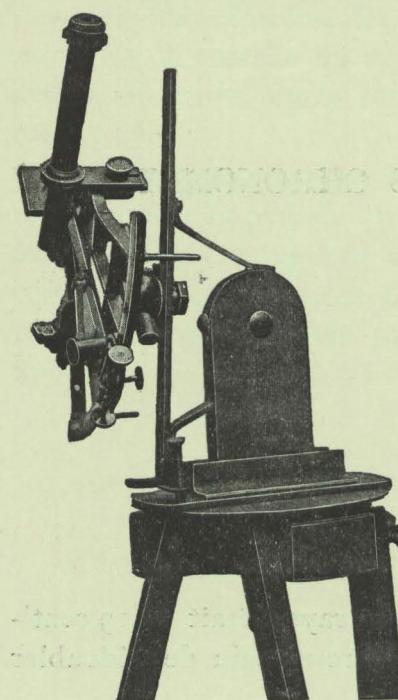
Usage de l'instrument. — Pour observer à l'horizon artificiel nous placions le plan du sextant à peu près verticalement, puis nous le faisions tourner autour de l'axe e , jusqu'à ce que les images de l'astre, vu directement et par réflexion, se trouvent sur une parallèle au plan du limbe.

Ce parallélisme s'obtenait à l'aide de légers déplacements de la vis i ; et se vérifiait à l'aide de deux des fils du réticule, que nous avions placés primitivement dans une position parallèle au plan du limbe.

Pour effectuer les lectures, nous desserions l'écrou de l'axe e' , et nous faisions tourner la pièce f, g, h, h', i jusqu'à ce que le plan du limbe soit horizontal.

Nous faisions enfin les mesures proprement dites, de la même manière que si nous avions opéré à la main.

REMARQUE. — Le pied que nous venons de décrire est loin d'être parfait; il a le grand mérite d'avoir été construit, *en cours de route*, par un mécanicien non spécialiste dans ce genre de travaux, dont le temps était absorbé par l'entretien et la conduite de la machine motrice du navire, qui, enfin, ne disposait pas des matières premières requises pour la construction d'appareils délicats. Le pied du sextant, construit par M. Somers, nous a été de la plus grande utilité



dans l'Antarctique. Nous montrerons d'ailleurs plus loin qu'il nous a permis de déterminer, à diverses reprises, les états absolus de nos chronomètres, et avec une précision que nous n'aurions certes pas obtenue en opérant à la main.

Un des principaux défauts de l'appareil résidait dans l'absence de contrepoids pour équilibrer le sextant, qui se trouvait sur l'un des côtés des plaques *b b*.

L'instrument avait toutefois l'avantage d'être léger et de servir également de support à la lunette astronomique.

B. HORIZON ARTIFICIEL LIQUIDE.

L'horizon artificiel liquide, dont nous disposions, avait été fourni par la Maison Hurli-mann, de Paris.

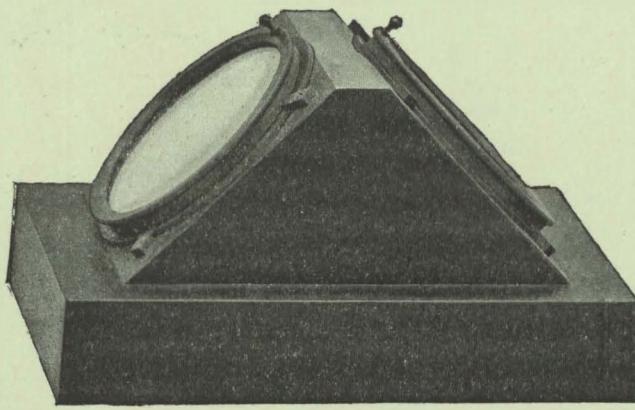
Il se composait :

a) D'une cuvette amalgamée munie de deux vis calantes et d'un petit pivot servant de troisième point d'appui. Les vis calantes permettaient de placer la cuvette amalgamée horizontalement.

Dans cette cuvette, nous versions de l'huile ou du mercure, et comme ses rebords étaient très petits, la couche liquide avait une épaisseur d'un demi millimètre au plus.

Avec cette cuvette, les vibrations du mercure provenant des trépidations du sol, étaient peu sensibles.

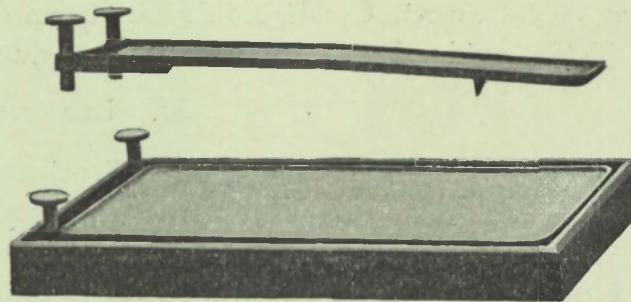
β) D'une seconde cuvette en métal servant de support à la cuvette amalgamée.



lisme de leurs faces. Des études préliminaires, faites avec l'instrument, établirent que ce parallélisme était obtenu, et qu'il n'était pas nécessaire de retourner les glaces pendant une même série d'observations.

δ) Enfin, de deux fioles dont l'une, en cuivre, contenait de l'huile, et l'autre, en bois, du mercure.

Lorsque nous versions le mercure dans la cuvette amalgamée, des pellicules ternes se montraient à sa surface. Nous les enlevions en passant sur le liquide une feuille de papier de soie humide.



γ) D'un toit en cuivre dont les plans inclinés étaient percés de fenêtres fermées par des glaces, à faces rigoureusement parallèles. Ces glaces étaient maintenues dans des cadres munis d'un bouton de repère, et qui pouvaient tourner autour de leur centre. Ce dispositif permettait de faire des séries de mesures, en faisant occuper aux glaces des positions variables, afin de vérifier le parallélisme de leurs faces.



Cet horizon artificiel nous a rendu de grands services, il présentait cependant divers inconvénients, dont nous parlerons dans notre mémoire relatif à la recherche des positions du navire pendant sa dérive avec les glaces.

C. HORIZON ARTIFICIEL A GLACE.

Cet horizon avait été acheté à Copenhague. Il se composait d'une glace rectangulaire, portée par un cadre en métal muni de trois vis calantes. Deux niveaux très bien réglés et perpendiculaires l'un à l'autre se trouvaient fixés sur deux côtés du cadre.

Cet horizon artificiel convenait pour les observations à faire par les grands froids ; par exemple, lorsque la température était au-dessous du point de congélation du mercure. Mais, sur la banquise, dont les mouvements étaient continuels, il se dérèglait facilement sans que l'observateur en fût averti. Ces légers déplacements de glace ne se faisaient pas sentir avec l'horizon artificiel liquide, dont la surface de niveau du mercure restait horizontale.

D. LUNETTE ASTRONOMIQUE.

La lunette de la *BELGICA*, était l'ancienne lunette du baleinier « *PATRIA* » et le Capitaine de ce navire s'en servait pour apercevoir les phoques à une certaine distance.

Certes, elle convenait fort bien à ce premier usage, mais elle avait peu de valeur au point de vue astronomique.

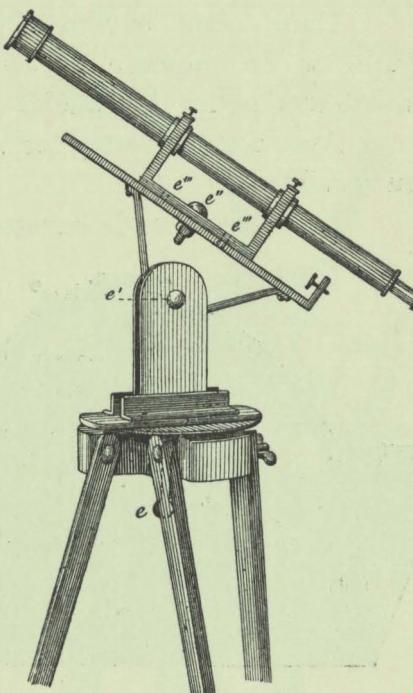
Il fallut tout d'abord songer à l'installer sur un pied.

Notre mécanicien, M. Somers, fut chargé de ce travail. Il entoura la lunette de deux colliers qu'il réunit par une règle en métal.

Cette règle devait se fixer, par un boulon et deux vis, sur la règle *h h'* du pied du sextant.

Malgré les soins minutieux apportés à sa construction, l'appareil eut de nombreux inconvénients. La légèreté des pièces, dont il était constitué, lui enlevait toute solidité ; de plus, il n'était pas stable, parce que le poids de la lunette plaçait très haut le centre de gravité et parce que le trépied, sur lequel il reposait, se fixait difficilement sur la banquise.

Néanmoins la lunette de la *BELGICA* fut souvent employée. Elle nous permit d'observer les phénomènes des satellites de Jupiter et une occultation d'étoile par la Lune.



E. THÉODOLITE DE BRUNNER.

Si nous avions hiverné sur une terre, le théodolite de Brunner nous aurait permis de régler nos chronomètres par la méthode des passages méridiens. Mais, dans les conditions où nous nous trouvions, il aurait donné des résultats moins précis, pour la mesure des hauteurs apparentes des astres, que ceux que nous obtenions à l'aide du sextant.

Comme le théodolite de Brunner n'a pas été utilisé pour le réglage des chronomètres nous nous bornons, ici, à citer cet instrument. Nous en donnerons d'ailleurs la description dans notre mémoire relatif au magnétisme terrestre.

CHAPITRE III.

OBSERVATOIRES ÉABLIS SUR LA BANQUISE.

Les observations ont été faites, sur la banquise, dans des conditions pénibles; car, outre que la température descendait à $43^{\circ},1$ sous zéro, le vent soufflait souvent en tempête, rendant plus piquants les effets du froid, agitant le pied des instruments et chassant la neige en fin poussier, qui ternissait les horizons artificiels et rendait impossibles les lectures instrumentales.

Pour atténuer les rigueurs du climat, nous avons successivement construit trois observatoires: le premier fut exclusivement réservé aux observations magnétiques, (¹) nous en donnerons la description, dans notre mémoire sur la Physique du Globe; les deux autres servirent aux observations astronomiques et aux observations magnétiques.

A. PREMIER OBSERVATOIRE ASTRONOMIQUE.

(*Voir planche V*).

La charpente de cet observatoire était formée de douze montants verticaux, de 1,80 mètre de haut, reposant sur un cadre carré de 1,80 mètre de côté, et maintenus, à leur partie supérieure, par un cadre analogue.

Les quatre faces et le toit étaient formés de planches, fixées sur les montants, par des clous en cuivre, et recouvertes de carton bitumé.

Dans chacune des faces latérales, on avait pratiqué une ouverture rectangulaire de 0,60 mètre de haut, et de 0,50 mètre de large.

Des volets extérieurs, maintenus à l'intérieur par une traverse en bois, pouvaient fermer ces ouvertures. De plus, un de ces volets s'ouvrait du dehors et servait de porte à l'observatoire.

Les volets n'étaient pas fixés à l'aide de charnières (²), ils reposaient sur un rebord de 0,10 mètre.

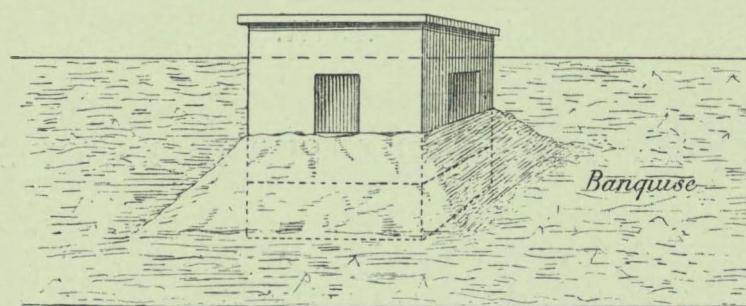
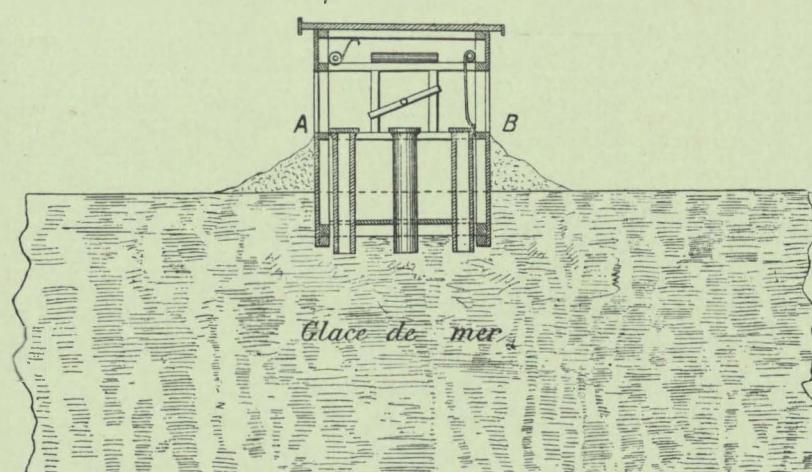
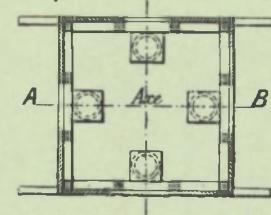
Pour fermer ce refuge aussi hermétiquement que possible, on avait garni l'encadrement des fenêtres d'un bourrelet de grosse toile, mais comme cette précaution devint insuffisante pour empêcher la neige de se faufler à l'intérieur, on plaça un large store devant chacune des ouvertures.

La base de l'observatoire fut placée dans la banquise, à une profondeur telle, que les arêtes inférieures des fenêtres étaient encore à 0,30 mètre du champ de glace. Puis, la neige fut

(1) Il fut construit par le lieutenant Danco, avec l'aide du matelot Dufour.

(2) Après un chasse de neige, les volets étaient comme soudés aux parois de l'observatoire; on ne pouvait les enlever qu'avec grandes difficultés: des charnières auraient donc été très rapidement brisées.

PREMIER OBSERVATOIRE

Élevation*Coupe verticale A B**Coupe horizontale A B*

rejetée contre l'abri, jusqu'à ce qu'il fût à peu près enseveli, mais en ayant soin de laisser, devant chaque fenêtre, un champ de visée de 110 degrés environ.

De cette manière, on pouvait toujours apercevoir, de l'intérieur, un point quelconque de l'horizon.

Sous l'influence du froid, la neige adhéra bientôt à l'observatoire, qui ne tarda pas à se souder complètement avec la banquise.

Comme les seuls matériaux, employés pour la construction, étaient le bois, le carton bitumé et le cuivre, l'observatoire put être utilisé, au milieu de l'hiver 1898, à la fois pour les observations astronomiques et les mesures magnétiques.

Devant chacune des fenêtres se trouvait un socle, formé d'un tuyau de grès analogue à ceux qu'on utilise pour la conduite des eaux. Il était placé verticalement et enfoncé dans la glace de manière que son rebord supérieur soit de 0,05 mètre plus bas que l'appui inférieur de la fenêtre. Ce tuyau, d'un diamètre de 24 centimètres environ, étant rempli de glace, de neige et d'eau chaude, constitua bientôt un pilier parfaitement fixe sur la banquise.

On plaça, sur les tuyaux, des pierres de taille carrées de 0,30 mètre de côté, fixées au socle avec un mortier très solide, composé de neige fondante et durcissant très vite (1).

Lorsque le socle fut installé, le plan supérieur de la tablette était horizontal et passait par l'arête inférieure de la fenêtre.

Entre la tablette et la muraille de l'observatoire, on avait laissé un intervalle de 0,05 mètre environ, afin que, pendant la tempête, les trépidations de la cabane ne pussent se transmettre aux socles (2).

L'observatoire fut établi à 50 mètres du navire, auquel il fut relié par une ligne télégraphique. Voici dans quel but cette installation fut faite.

Pour nos observations, nous devions noter l'heure précise de certains phénomènes. Si, par 35 ou 40 degrés au-dessous de zéro, nous avions transporté des chronomètres sur la glace, ils eussent été mis bientôt hors de service. Il fallait donc laisser les chronomètres à bord, et, grâce à notre installation télégraphique, nous pûmes arriver à cet arrangement.

Dans notre chambre, à bord, se trouvaient les trois piles sèches de l'électro-aimant du pendule von Sterneck. Cet électro-aimant était utilisé comme « parleur ».

Dans l'observatoire, les deux conducteurs du télégraphe (3) étaient réunis par un petit manipulateur.

Lorsque nous observions, M. Dobrowolski se rendait dans notre chambre et plaçait son chronomètre à proximité du parleur.

Dans l'observatoire, nous manions nous-même le manipulateur, ou bien nous nous faisions seconder par le matelot Dufour.

Nous commençions d'abord par vérifier le fonctionnement de l'appareil. A cet effet, nous envoyions une série de « barres » et M. Dobrowolski nous répondait aussitôt par un signal

(1) La neige de la banquise était à une température très basse. On en ramenait une certaine quantité à son point de fusion en la mêlant avec de l'eau chaude.

(2) Nous croyons devoir insister sur cette adhérence des socles avec la banquise. Par des vents très violents, l'observatoire était parfois secoué énergiquement et cependant un horizon artificiel à mercure, placé sur les socles, ne manifestait aucune vibration.

(3) Les conducteurs étaient des fils de cuivre supportés par des poteaux en sapin de 7 à 8 centimètres de diamètre.

d'optique. Ce signal consistait à démasquer une lumière placée devant le hublot de notre chambre.

Ces signaux échangés, nous nous mettions en observation, puis, 10 secondes environ avant que le phénomène se produise, nous attirions l'attention de M. Dobrowolski, en lui envoyant une série de barres. Enfin, au moment précis du phénomène, nous établissions le courant et le parleur faisait entendre un bruit sec très facile à percevoir.

Dès que l'heure était notée, M. Dobrowolski nous envoyait un nouveau signal d'optique.

Nous avons utilisé le télégraphe pour de très nombreuses séries d'observations, et il nous a toujours donné les meilleurs résultats.

Pour nous assurer de l'exactitude des transmissions, nous avions, par beau temps, améné à diverses reprises un chronomètre dans l'observatoire, d'où nous avions envoyé à bord une série de signaux horaires. En notant simultanément, à bord et sur la banquise, l'heure des signaux, nous nous sommes aperçus que les transmissions télégraphiques se faisaient d'une façon parfaite, bien que les appareils, que nous utilisions, n'aient pas été construits dans ce but.

Dans tous les cas, en prévision de l'éventualité d'un accident survenant au télégraphe au cours d'une série d'observations, nous notions, après chacune de nos mesures, l'heure marquée par une montre de poche, que nous comparions au chronomètre avant notre départ du bord et à notre retour. Par ce moyen, nous devions écarter les erreurs grossières, qui ne se sont jamais manifestées, mais qui auraient pu se produire cependant. Quant aux petites erreurs accidentelles, nous ne devions pas nous en préoccuper ; elles se seraient montrées au cours de nos calculs, attendu que nous n'avons généralement pris que des séries de mesures qui, toutes, devaient conduire au même résultat. Les diverses valeurs, obtenues pour le résultat, ne se sont jamais écartées de la moyenne que de quantités très faibles, parfaitement admissibles comme approximation, vu nos instruments et les conditions difficiles dans lesquelles nous observions.

Nous avions orienté notre observatoire sur la banquise de telle manière que les axes des fenêtres se trouvaient dans le méridien astronomique et dans le premier vertical ; mais, pendant la dérive, l'orientation du champ de glace changea lentement. Pendant l'hiver 1898, l'observatoire subit une rotation horizontale de l'Est vers l'Ouest en passant par le Nord ; puis, au commencement de l'été de la même année, le mouvement de rotation se fit en sens inverse. Ces mouvements amenèrent les diagonales de l'observatoire à se trouver, à un certain moment, dans le méridien et dans le premier vertical. Alors, comme l'observatoire était petit et les fenêtres de faibles dimensions, les visées, pour les culminations et les passages au premier vertical, devinrent difficiles. Enfin, comme la *BELGICA* et l'abri se trouvaient, proches l'un de l'autre, encastrés dans le même champ de glace, et par suite tournant en même temps, la haute mâture du navire, couverte de plaques de glace et de givre ne permit plus d'apercevoir, vers l'Ouest, les astres dont la hauteur n'était pas considérable. Cet état fut très désavantageuse, car les circonstances favorables au calcul de l'angle horaire, donc à la détermination de l'heure locale, correspondent au passage de l'astre dans l'Est ou dans l'Ouest astronomique. D'un autre côté, comme les nuits étoilées étaient rares, l'impossibilité presque complète d'observer dans l'Ouest nous gêna considérablement.

L'observatoire eut beaucoup à souffrir des tempêtes qui sévissaient constamment. Ainsi, il fallut remplacer à diverses reprises les conducteurs du télégraphe, qui se brisaient sous le poids de la neige, et les poteaux, eux-mêmes, qui furent arrachés plusieurs fois.

Pour ne pas interrompre les observations pendant les réparations du télégraphe, nous essayâmes de faire usage de signaux d'accoustique. Une nuit notamment M. Arctowski voulut bien nous seconder et essaya de transmettre à bord, en tirant un coup de feu de l'observatoire, le « top » que nous lui donnions.

Ce système ne réussit pas : ou bien M. Dobrowolski n'entendit pas le coup de feu, ou bien le percuteur du fusil, dont le mécanisme de culasse était trop contracté par le froid et dont l'huile de graissage était congelé, ne frappait pas la cartouche avec assez de force pour la faire partir.

Dans certains cas assez rares, par exemple pour le calcul de la composante horizontale de l'intensité magnétique terrestre (¹), nous avons dû nous résoudre à emporter un chronomètre sur la banquise. Alors, nous comparions avec soin le chronomètre au régulateur avant la descente sur la glace et immédiatement après le retour à bord. La montre *B* fut ainsi amenée souvent sur la glace par une température très basse, qui atteignit 25°,5 degrés au-dessous de zéro. Cependant, si on jette un coup d'œil dans le journal des marches diurnes (²), on reconnaît que la marche probable, admise en cours de route, pour la montre *B*, est exceptionnellement bonne, étant données les conditions extraordinaires dans lesquelles cette montre fut utilisée.

Au commencement du printemps de l'année 1898 (fin Septembre), l'observatoire fut sérieusement menacé. Les couches de neige tombée successivement avaient formé, par leur propre compression, de la glace d'eau douce très dure, qui adhérait aux planches avec une force telle qu'il eut été impossible de déplacer la construction sans la démolir complètement.

En outre, le champ de glace avec lequel l'abri faisait corps s'enfonça lentement sous le poids des neiges accumulées pendant l'hiver. Alors, un phénomène particulier vint rendre l'accès de l'observatoire pour ainsi dire impossible.

L'action solaire sur la banquise est très faible, parce que le pouvoir absorbant de la neige est à peu près nul ; que presque toute la chaleur reçue est diffusée et une autre partie réfléchie ; parce que le soleil étant bas sur l'horizon (³) la quantité de chaleur reçue par unité de surface est petite. L'action solaire, sur l'observatoire, au contraire, était très grande : les façades recevant presque normalement les rayons calorifiques, le carton bitumé ayant un pouvoir diffusif et un pouvoir de réflexion faible, tandis que son pouvoir absorbant est considérable.

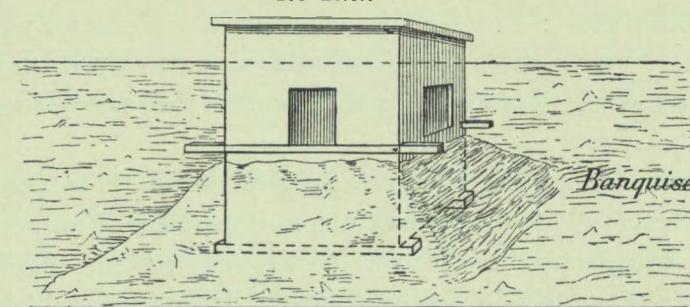
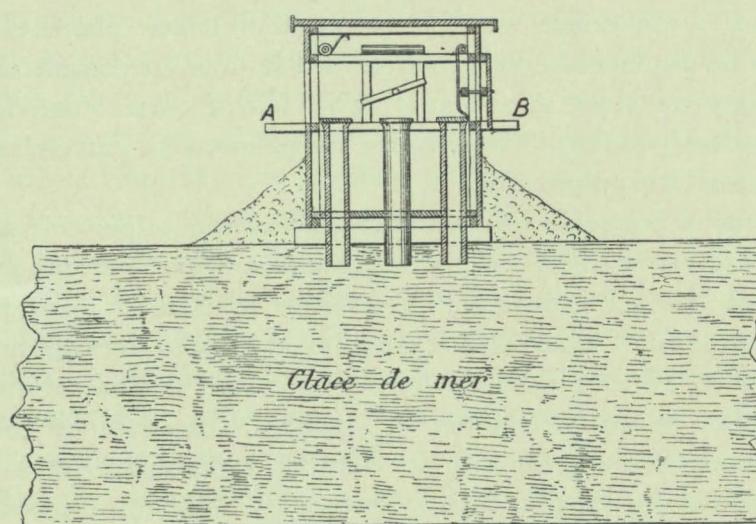
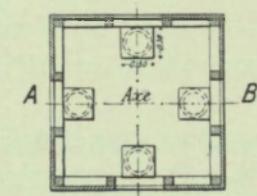
Dans ces conditions, la neige et la glace fondirent rapidement à l'intérieur et sur les parois de l'abri, dont le fond se remplit d'eau. Les socles, destinés à recevoir les instruments, perdirent leur stabilité, et l'observatoire menaça de s'effondrer. Nous allions entreprendre de le déplacer, lorsque la banquise se creva le long d'une des façades. Nous enlevâmes précipitamment les pierres de taille et les tuyaux, mais avant que le travail fut terminé, les deux champs de glace s'étaient rapprochés. Ils se heurtèrent violemment, l'observatoire s'inclina, et, saisi dans leur étreinte, fut complètement broyé.

(¹) Par la méthode combinée des déviations et des durées d'oscillation.

(²) Étude des chronomètres, deuxième partie, journal des marches diurnes, page 19 et suivantes.

(³) La quantité de chaleur envoyée obliquement sur l'unité de surface par une source de chaleur est proportionnelle au cosinus de l'angle que font les rayons incidents avec la normale à cette surface.

DEUXIÈME OBSERVATOIRE

Élevation*Coupe verticale A B**Coupe horizontale A B*

B. DEUXIÈME OBSERVATOIRE ASTRONOMIQUE. (1)

L'observatoire, que nous venons de décrire, présentait divers inconvénients, par exemple d'être encastré dans la banquise et de ne pouvoir être déplacé, soit pour être relevé, à mesure que la glace s'enfonçait, soit pour être mis à l'abri des pressions.

Un nouvel observatoire fut construit en vue de pailler à ces inconvénients. Les dimensions et l'appropriation furent identiques à celles du premier observatoire, mais le cadre de base reposait sur deux forts patins de bois, et les faces latérales, au lieu d'être formées de planches juxtaposées, étaient constituées par des planches distantes de 15 à 20 centimètres, sur lesquelles on avait tendu de la toile imperméable et du carton bitumé (2). Enfin, sur deux des façades parallèles, étaient fixés de solides madriers, dont les extrémités dépassaient les autres faces de 0,50 mètre. C'était une véritable chaise à porteur qu'on pouvait orienter et faire glisser à volonté sur la banquise.

Le nouvel observatoire fut établi au point culminant de notre champ de glace, puis on rejeta de la neige contre les façades. Quant aux piliers des instruments, ils furent rétablis devant les fenêtres dans des conditions identiques à celles du premier observatoire.

Sous l'influence de la chaleur solaire, la neige fondit rapidement autour de la petite construction, mais l'eau n'y séjourna plus grâce à la surélévation de l'observatoire sur le champ de glace. De temps à autre cependant, il fallait rejeter de la neige contre les façades ou bien encore consolider la base. Parfois même, il fallut déplacer la construction. Nous la rétablissons, alors sur une base formée d'énormes blocs de neige, comprimés de manière à avoir le plus de dureté possible.

Ce deuxième observatoire, auquel aboutissait également le télégraphe, résista pendant plusieurs mois.

Au mois de février 1899, lorsque le long canal, que nous avions creusé dans la glace, nous permit de gagner un lac, nous dûmes embarquer en quelques instants tout ce que nous possédions sur la banquise. Mais les nombreuses tempêtes, auxquelles le fragile observatoire avait résisté, en avaient compromis la solidité. Il se brisa au moment où on le hissait à bord. Les matériaux qui le composaient furent néanmoins réunis et précieusement mis de côté, en prévision d'un nouvel hivernage.

(1) Les observatoires furent construits par le Docteur Cook, le lieutenant Amundsen et le Matelot Johansen.

(2) Les matériaux commençaient à faire défaut, notamment le bois et le carton bitumé.

CHAPITRE IV.

MÉTHODES EMPLOYÉES POUR LE RÉGLAGE DES CHRONOMÈTRES.

En Europe, à l'île Madère et en Amérique, nous avons réglé nos montres en faisant usage d'observations à l'horizon artificiel ou les comparant à des pendules d'observatoire.

Dans l'Antarctique, nous nous sommes servis des éclipses des satellites de Jupiter, des occultations d'étoiles par la Lune, enfin de la méthode des distances lunaires.

L'extrême mobilité de la banquise, au milieu de laquelle nous étions emprisonnés, ne nous a pas permis d'employer le théodolite de Brunner pour observer des culminations lunaires ou pour utiliser le passage des étoiles au méridien.

A. — MÉTHODE DE L'ANGLE HORAIRE.

Désignons par φ la latitude et par L la longitude du lieu d'observation.

Mesurons à l'horizon artificiel une série de hauteurs d'un astre, vers le moment des circonstances favorables au calcul de l'angle horaire, et notons les heures correspondantes marquées par un compteur (1).

Soient H une de ces hauteurs, à l'heure B de la montre, et P l'angle au pôle correspondant (2). Enfin, appelons Δ la distance polaire de l'astre, à l'instant moyen des observations.

Le triangle sphérique, tracé sur la sphère céleste, et dont les sommets sont le pôle, le zénith et le centre de l'astre, donne la formule :

$$\sin \frac{P}{2} = \sqrt{\frac{\cos S \sin (S-H)}{\cos \varphi \sin \Delta}}$$

$$\text{avec } 2S = H + \varphi + \Delta.$$

Par définition, l'angle horaire astronomique de l'astre (3), Tal , s'obtient alors en posant :

$Tal = P$, si l'astre se trouve dans l'Ouest, et $Tal = 24 - P$, si l'astre se trouve dans l'Est du lieu d'observation.

Deux cas doivent ensuite être considérés : celui où l'astre observé est le Soleil, et celui où l'astre observé est autre que le Soleil.

(1) Lorsque l'azimut est voisin de 90° et que la hauteur de l'astre est de 10° au moins.

(2) L'angle au pôle est l'angle formé par le méridien supérieur du lieu et le cercle de déclinaison de l'astre ; il se compte de 0 à 12 heures, vers l'Est ou vers l'Ouest du lieu.

(3) L'angle horaire d'un astre est l'angle formé par le méridien supérieur du lieu et le cercle de déclinaison de l'astre ; il se compte, vers l'Ouest, de 0 à 24 heures, à partir du méridien supérieur du lieu.

I. *Observation du Soleil.*

Lorsque l'astre observé est le Soleil, l'angle horaire, Tal , est le temps vrai Tvl du lieu.

La différence $(Tvl - B)$ est donc le retard du chronomètre sur le temps vrai local.

L'état absolu se déduit alors de la moyenne des valeurs de $(Tvl - B)$, obtenues pour chacune des hauteurs, en ajoutant algébriquement, à cette moyenne, une correction donnée par la formule :

$$\text{correction } K = (Tmg - B) - (Tvl - B) = Tmg - Tvl$$

or : ⁽¹⁾

$$Tmg = Tml - L = Tvl + Ev - L$$

D'où

$$\text{correction } K = Ev - L$$

formule dans laquelle Ev est l'équation du temps vrai, à l'instant moyen des observations, et, L , la longitude du lieu par rapport à Greenwich.

Détail du calcul et des observations.

Calcul des éléments. — Avant de descendre à terre, et dès notre rentrée à bord, nous comparions, au chronomètre régulateur A , la montre que nous utilisions comme compteur.

Avant et après chacune des séries de mesures, nous notions la pression barométrique β et la température θ ; puis, nous calculions l'erreur instrumentale du sextant.

Nous déterminions ensuite, par interpolation, les valeurs de θ , β et ϵ , pour l'instant moyen des observations.

En nous servant de notre montre de poche, réglée approximativement sur le temps moyen local, nous marquions l'heure du commencement des observations, et nous en déduisions *l'heure correspondante approchée de Greenwich* (en retranchant algébriquement, de l'heure de la montre, la longitude du lieu, évaluée en temps).

La valeur de l'état absolu $(Tmg - A)$ et la marche a du régulateur adoptés en cours de route, l'heure Bm du compteur à l'instant moyen des observations, et la comparaison $(A - B)$ nous permettaient de déterminer une nouvelle valeur plus exacte de l'heure moyenne de Greenwich, Tmg , à l'instant moyen des observations.

Enfin, en ajoutant algébriquement à Tmg l'équation du temps vrai, Ev , prise à vue, pour la date, dans le *Nautical Almanac*, nous obtenions l'heure vraie approchée de Greenwich, Tvg , à l'instant moyen des observations.

Nous déterminions ensuite, à l'aide du *Nautical Almanac*, la valeur de la distance polaire Δ du Soleil pour l'heure Tmg de Greenwich, et la valeur exacte de Ev , pour l'heure Tvg de Greenwich. Cette valeur de Ev et celle de la longitude L permettaient donc, ainsi que nous l'avons exposé plus haut, de calculer la correction K , nécessaire pour passer du terme $(Tvl - B)$ à l'état absolu $(Tmg - B)$.

Correction des hauteurs observées à l'horizon artificiel. — Pour passer des lectures instrumentales du sextant, 2 Hi , aux hauteurs vraies du centre du Soleil, nous faisions usage de la formule :

$$Hv \oplus = \frac{2 \text{ Hi} + \epsilon}{2} - R + \omega \pm d$$

(1) La longitude L contenant implicitement le signe positif (+), lorsqu'elle est orientale, et le signe négatif (-), lorsqu'elle est occidentale.

dans laquelle ϵ est l'erreur instrumentale, R la réfraction calculée par les tables XVI et XXI de Caillet, ω la parallaxe de hauteur, lue dans un extrait de la table III de la *Connaissance des temps*; et d le demi-diamètre du Soleil, donné par le *Nautical Almanac*. Le signe + de la formule correspondait au cas où nous avions observé le bord inférieur du Soleil, et le signe --- au cas où nous avions observé le bord supérieur de l'astre.

REMARQUE I. — La réfraction R aurait dû se calculer, pour chaque hauteur, en fonction de la réfraction moyenne correspondante, R_m . Mais, lorsque dans une même série de mesures, les hauteurs apparentes différaient peu entre elles, et qu'elles étaient de 20° au moins, nous adoptions une seule valeur pour la réfraction, R , de toutes les hauteurs apparentes. Nous pouvions agir ainsi car l'erreur, commise par ce procédé, était plus petite que le degré d'approximation du sextant.

REMARQUE II. — Le matin, nous observions le bord inférieur du Soleil, et le soir, le bord supérieur. De cette manière, nous saisissions plus facilement l'instant précis des contacts.

Calcul de la moyenne de $(Tvl - B)$. — A l'aide de chacune des hauteurs corrigées, avec la latitude φ et la distance polaire Δ de l'astre, nous calculions les diverses valeurs de Tvl , en passant par l'intermédiaire de l'angle au pôle, P ; puis nous en retranchions les heures B du compteur qui correspondaient à chacune des mesures. Nous obtenions ainsi une série de valeurs pour $(Tvl - B)$, et nous en prenions la moyenne.

Calcul de l'état absolu du compteur. — En ajoutant algébriquement la correction K à cette valeur moyenne de $(Tvl - B)$, nous obtenions $(Tmg - B)$, c'est-à-dire l'état absolu du compteur, à l'instant moyen des observations ; donc, à l'heure Tmg de Greenwich.

Calcul de l'état absolu du régulateur. — Connaissant $(Tmg - B)$ et $(A - B)$ pour l'instant moyen des observations, nous obtenions l'état absolu du régulateur $(Tmg - A)'$, à la date β , à l'heure de Tmg de Greenwich, en nous servant de la formule :

$$(Tmg - A)' = (Tmg - B) - (A - B).$$

Calcul de la marche diurne moyenne. — Une série d'observations, effectuées antérieurement, nous avait déterminé la valeur $(Tmg - A)''$ de l'état absolu du régulateur, à midi moyen de Greenwich, à la date α .

Si nous désignons par n le temps (évalué en jour et décimales), écoulé depuis cette date α , jusqu'à la date β , à l'heure Tmg de Greenwich, la marche diurne moyenne du régulateur, pour cet intervalle de temps, était donnée par la formule :

$$a = \frac{(Tmg - A)' - (Tmg - A)''}{n}$$

Calcul de l'état absolu du régulateur pour midi moyen de Greenwich. — Cet état absolu s'obtenait évidemment en retranchant algébriquement, de $(Tmg - A)'$, la correction donnée par la formule :

$$\text{Correction} = \frac{a}{24} Tmg$$

REMARQUE I. — Pour agir comme nous venons de l'indiquer, il fallait évidemment que la marche moyenne du régulateur différât peu de la marche réduite obtenue par le calcul, pour la période précédant les mesures ⁽¹⁾). Il était également nécessaire d'admettre que l'état absolu

(1) Voir : chapitre I, paragraphe G, page 17.

adopté en cours de route ne s'écartait pas notablement de l'état absolu réel ; car, sans cela, il n'aurait pas été possible de conclure que l'état absolu ($T_{mg}-A$) correspondait à l'heure, T_{mg} , de Greenwich, calculée comme nous l'avons indiqué précédemment. (1)

II. *Observation d'un astre quelconque.*

Comme la méthode généralement suivie est à peu près analogue à celle que nous utilisions pour le Soleil, nous nous bornerons à indiquer les différences qui étaient apportées dans nos calculs.

La valeur de ($T_{mg}-B$) se déduisait de l'angle horaire de l'astre, sans qu'il soit nécessaire de passer par l'intermédiaire du temps vrai local.

En effet, si nous désignions par α_a la valeur de l'ascension droite de l'astre, à l'instant moyen des observations, nous obtenions l'heure sidérale locale, correspondant à l'angle horaire T_{al} , en posant :

$$T_{sl} = T_{al} + \alpha_a$$

et nous en déduisions l'heure moyenne correspondante par la formule :

$$T_{ml} = T_{sl} - \alpha_m = T_{al} + \alpha_a - \alpha_m$$

dans laquelle α_m représente l'ascension droite du soleil moyen, à l'instant où l'angle horaire de l'astre est T_{al} .

Or, il était à ce moment à Greenwich, un temps moyen que l'on obtient, avec une approximation suffisante, en se servant : 1^o de l'heure notée au compteur; 2^o de la comparaison du compteur au régulateur; et 3^o de l'état absolu adopté en cours de route pour le régulateur.

Comme la valeur α_{mo} , de l'ascension droite du Soleil moyen est donnée dans le *Nautical Almanac*, pour midi moyen de Greenwich, (2) et comme la variation horaire de cette ascension droite est connue (3), nous obtenions facilement la valeur cherchée de α_m .

Enfin, la valeur de ($T_{mg}-B$) s'obtenait par la formule :

$$(T_{mg}-B) = T_{ml} - L - B$$

dans laquelle L est la longitude du lieu, et B l'heure marquée par le compteur, au moment de la mesure de la hauteur.

REMARQUE I. — Chacune des observations déterminait donc une valeur de ($T_{mg}-B$), et nous admettions, comme nous le faisions pour le cas du Soleil, que leur moyenne indiquait l'état absolu du compteur, pour l'instant moyen des observations.

REMARQUE II. — Il n'était pas nécessaire, dans ce second cas, de calculer T_{vg} , Em , Ev ni K pour l'instant moyen des observations.

REMARQUE III. — Les calculs de l'état absolu du régulateur, de la marche diurne moyenne et de l'état absolu du régulateur pour midi moyen de Greenwich, se faisaient par la méthode développée dans l'hypothèse où l'astre observé est le Soleil.

(1) Voir : chapitre III, calcul des éléments, page 33.

(2) Sidereal Time at mean noon.

(3) Cette variation est de + 9^h,856 en une heure moyenne. Pour nos calculs, nous avons fait usage de la table VI de la *Connaissance des temps*, dont nous préférons l'emploi à celui de la table correspondante du *Nautical Almanac*.

REMARQUE IV. — Pour faciliter les calculs, nous nous sommes servis des deux tables données ci-dessous, dont l'emploi est surtout avantageux pour l'interpolation des éléments du *Nautical Almanac* et de la *Connaissance des temps*.

TABLE I.
Fractions décimales d'Heure.

M	S	H	M	S	H	M	S	H	M	S	H
0 00		0.00	14 42	= 0.25		29 42	= 0.50		44 42	= 0.75	
0 18	= 0.01		15 18	= 0.26		30 18	= 0.51		45 18	= 0.76	
0 54	= 0.02		15 54	= 0.27		30 54	= 0.52		45 54	= 0.77	
1 30	= 0.03		16 30	= 0.28		31 30	= 0.53		46 30	= 0.78	
2 06	= 0.04		17 06	= 0.29		32 06	= 0.54		47 06	= 0.79	
2 42	= 0.05		17 42	= 0.30		33 18	= 0.55		47 42	= 0.80	
3 18	= 0.06		18 18	= 0.31		33 54	= 0.56		48 18	= 0.81	
3 54	= 0.07		18 54	= 0.32		34 30	= 0.57		48 54	= 0.82	
4 30	= 0.08		19 30	= 0.33		35 06	= 0.58		49 30	= 0.83	
5 06	= 0.09		20 06	= 0.34		35 42	= 0.59		50 06	= 0.84	
5 42	= 0.10		20 42	= 0.35		36 18	= 0.60		50 42	= 0.85	
6 18	= 0.11		21 18	= 0.36		36 54	= 0.61		51 18	= 0.86	
6 54	= 0.12		21 54	= 0.37		37 30	= 0.62		51 54	= 0.87	
7 30	= 0.13		22 30	= 0.38		38 06	= 0.63		52 30	= 0.88	
8 06	= 0.14		23 06	= 0.39		38 42	= 0.64		53 06	= 0.89	
8 42	= 0.15		23 42	= 0.40		39 18	= 0.65		53 42	= 0.90	
9 18	= 0.16		24 18	= 0.41		39 54	= 0.66		54 18	= 0.91	
9 54	= 0.17		24 54	= 0.42		40 30	= 0.67		54 54	= 0.92	
10 30	= 0.18		25 30	= 0.43		41 06	= 0.68		55 30	= 0.93	
11 06	= 0.19		26 06	= 0.44		41 42	= 0.69		56 06	= 0.94	
11 42	= 0.20		26 42	= 0.45		42 18	= 0.70		56 42	= 0.95	
12 18	= 0.21		27 18	= 0.46		42 54	= 0.71		57 18	= 0.96	
12 54	= 0.22		27 54	= 0.47		43 30	= 0.72		57 54	= 0.97	
13 30	= 0.23		28 30	= 0.48		44 06	= 0.73		58 30	= 0.98	
14 06	= 0.24		29 06	= 0.49		44 42	= 0.74		59 06	= 0.99	
14 42	= 0.25		29 42	= 0.50		45 18	= 0.75		59 42	= 1.00	
15 18			30 18			45 48			60 00		

TABLE II.
Fractions décimales de Jour.

H	M	S	J	H	M	S	J	H	M	S	J
0 00 00	= 0.00			5 52 48	= 0.25			11 52 48	= 0.50		
0 07 12	= 0.01			6 07 12	= 0.26			12 07 12	= 0.51		
0 21 36	= 0.02			6 21 36	= 0.27			12 21 36	= 0.52		
0 36 00	= 0.03			6 36 00	= 0.28			12 36 00	= 0.53		
0 50 24	= 0.04			6 50 24	= 0.29			12 50 24	= 0.54		
1 04 48	= 0.05			7 04 48	= 0.30			13 04 48	= 0.55		
1 19 12	= 0.06			7 19 12	= 0.31			13 19 12	= 0.56		
1 33 36	= 0.07			7 33 36	= 0.32			13 33 36	= 0.57		
1 48 00	= 0.08			7 48 00	= 0.33			13 48 00	= 0.58		
2 02 24	= 0.09			8 02 24	= 0.34			14 02 24	= 0.59		
2 16 48	= 0.10			8 16 48	= 0.35			14 16 48	= 0.60		
2 31 12	= 0.11			8 31 12	= 0.36			14 31 12	= 0.61		
2 45 36	= 0.12			8 45 36	= 0.37			14 45 36	= 0.62		
3 00 00	= 0.13			9 00 00	= 0.38			15 00 00	= 0.63		
3 14 24	= 0.14			9 14 24	= 0.39			15 14 24	= 0.64		
3 28 48	= 0.15			9 28 48	= 0.40			15 28 48	= 0.65		
3 43 12	= 0.16			9 43 12	= 0.41			15 43 12	= 0.66		
3 57 36	= 0.17			9 57 36	= 0.42			15 57 36	= 0.67		
4 12 00	= 0.18			10 12 00	= 0.43			16 12 00	= 0.68		
4 26 24	= 0.19			10 26 24	= 0.44			16 26 24	= 0.69		
4 40 48	= 0.20			10 40 48	= 0.45			16 40 48	= 0.70		
4 55 12	= 0.21			10 55 12	= 0.46			16 55 12	= 0.71		
5 09 36	= 0.22			11 09 36	= 0.47			17 09 36	= 0.72		
5 24 00	= 0.23			11 24 00	= 0.48			17 24 00	= 0.73		
5 38 24	= 0.24			11 38 24	= 0.49			17 38 24	= 0.74		
5 52 48	= 0.25			11 52 48	= 0.50			17 52 48	= 0.75		
6 07 12				12 07 12				18 07 12			

REMARQUE V. — Nous avons utilisé la méthode de l'angle horaire, pour régler nos chronomètres, aux époques suivantes : les 22 et 23 Août 1897, à Ostende; le 14 Septembre, à Funchal (Madère); le 26 Octobre, à l'Observatoire de Rio de Janeiro; les 4, 9 et 13 Décembre 1897, à Punta-Arenas (Détroit de Magellan); le 30 Décembre 1897, à Lapataïa (Canal du Beagle — Détroit de Magellan); enfin, le 29 Mars, le 5 Avril et le 10 Mai 1899, à Punta-Arenas, au retour de l'Expédition.

Pour ces observations, nous nous sommes généralement servis du Soleil; cependant, le 29 Mars, le 5 Avril et le 10 Mai 1899, nous avons fait usage de *Grand Chien* et de *Centaure*.

REMARQUE VI. — La méthode des hauteurs correspondantes, que l'on peut considérer comme une dérivée de la méthode de l'angle horaire, aurait certainement été utilisée avec avantage, mais les circonstances atmosphériques furent défavorables aux observations, chaque fois que nous essayâmes de l'employer.

B. MÉTHODE DES COMPARAISONS.

La méthode des comparaisons à une pendule réglée a été employée à l'Observatoire royal de Belgique, à Uccle, et une seule fois, en cours de route, à l'Observatoire de Rio de Janeiro. Pour ce dernier réglage, le transport de l'heure a été fait au moyen de la montre de torpilleur *D*. Comme la marche diurne de cette montre était considérable, nous avons déduit, par interpolation, la valeur de sa comparaison avec *A*, pour le moment de l'observation. A cet effet, nous avons fait usage de la formule :

$$A - D = A' - D' + \frac{[(A'' - D') - (A' - D')]}{D'' - D'} (D - D')$$

dans laquelle $(A' - D')$ et $(A'' - D')$ représentent les comparaisons prises avant le départ et après le retour à bord, aux heures *D'* et *D''* de la montre de torpilleur.

Calcul de l'état absolu du régulateur. — Si nous désignons par *Tml* l'heure moyenne locale indiquée par la pendule, lorsque la montre de torpilleur marque l'heure *D*, et si nous représentons par *L* la longitude du lieu par rapport à Greenwich, l'heure correspondante de Greenwich sera⁽¹⁾ :

$$Tmg = Tml - L$$

et l'état absolu de la montre se déduira de la formule :

$$Tmg - D = Tml - L - D.$$

Enfin, comme la comparaison de *D* au régulateur *A* est $(A - D)$, déterminée par interpolation, comme il a été indiqué ci-dessus, l'état absolu du régulateur, à l'heure *Tmg* de Greenwich, sera :

$$Tmg - A = (Tmg - D) - (A - D).$$

(1) La longitude *L* contient implicitement le signe positif (+), lorsqu'elle est orientale, et le signe négatif (-), lorsqu'elle est occidentale.

Calculs de la marche diurne moyenne et de l'état absolu du régulateur pour midi moyen de Greenwich. — Ces calculs ont été faits comme nous l'avons indiqué à la méthode de l'angle horaire.

C. MÉTHODE DES PHÉNOMÈNES DES SATELLITES DE JUPITER.

Parmi les phénomènes des satellites de Jupiter, les éclipses sont les seuls qui puissent aider le voyageur en campagne; elles sont d'ailleurs d'une observation facile et ne demandent, en fait d'instruments, que l'emploi d'une bonne lunette.

La *Connaissance des temps* et le *Nautical Almanac* faisant connaître l'heure T_{mg} du premier méridien à laquelle le commencement et la fin des éclipses se produisent, il suffit de noter l'heure D , marquée par le chronomètre au moment du phénomène, pour obtenir l'état absolu ($T_{mg} - D$) de cette montre, à l'heure T_{mg} de Greenwich.

Mais ces observations ne donnent pas, en pratique, une grande précision aux résultats, parce que la valeur de T_{mg} renseignée par les tables est loin d'être rigoureuse. On peut souvent, il est vrai, après la campagne, corriger la valeur adoptée en cours de route, en se servant des observations de ce même phénomène faites dans des Observatoires fixes; mais, en supposant même que l'on connaît exactement T_{mg} , on serait encore dans l'impossibilité de déterminer avec précision la valeur de D , au moment où le phénomène se produit. Une éclipse, en effet, n'éteint pas instantanément la lumière d'un satellite, elle se manifeste d'abord par une période de diminution d'éclat, dont la durée varie, pour un même satellite, avec l'état de l'atmosphère et avec la clarté de la lunette. Il est certain que, par temps couvert, l'observateur notera trop tôt le commencement de l'éclipse, et qu'il agira de même, si sa lunette est de petite ouverture. Or, à bord de la *BELGICA*, nous nous trouvions précisément dans des conditions défavorables; d'abord parce que notre lunette était faible; ensuite, parce que Jupiter était très voisin de l'équateur, et n'était visible que peu de temps, et toujours à une hauteur très faible au-dessus de l'horizon. Les conditions dans lesquelles le voyageur de l'Antarctique observe les phénomènes des satellites de Jupiter varient sensiblement d'une année à l'autre. Ainsi, en 1898, Jupiter avait une faible déclinaison australe, tandis qu'en 1901, cette déclinaison atteint $23^{\circ} 30'$ Sud.

Donc, en 1898, la planète était rarement visible pour un observateur placé par $71^{\circ} 36'$ de latitude australe, tandis qu'en 1901, ce même observateur l'aurait vue tout l'hiver.

Mais, à un autre point de vue encore, l'année 1901 eût été préférable à 1898 pour l'observation des satellites de Jupiter. Les phénomènes, dont nous parlons, ne sont évidemment visibles que la nuit et, parmi eux, les commencements des éclipses du premier satellite sont les plus faciles à observer. Or, comme ces commencements ne sont visibles qu'avant l'opposition, en 1898, nous ne pûmes plus les apercevoir à partir du 25 Mars; c'est-à-dire, lorsque la nuit allait seulement se produire; en 1901, au contraire, nous eussions pu les utiliser jusqu'au 30 Juin⁽¹⁾.

Pendant notre dérive, nous ne sommes parvenus à observer que trois fois des éclipses des satellites de Jupiter: le 14 Mars et le 21 Juin 1898, enfin le 12 Mars 1899.

Le 14 Mars 1898, nous avons observé le commencement de l'éclipse de Io. Le temps était clair et la nuit calme, la lunette avait été montée sur le pont du navire. Nous avons noté deux instants, entre lesquels le phénomène s'est produit, et nous avons adopté, pour l'heure D , la

(1) En 1903, les circonstances auraient été bien plus favorables encore: l'opposition n'aurait eu lieu que le 12 Septembre.

(2) Nous nous trouvions par $71^{\circ} 36'$ de latitude, parallèle sur lequel $1'$ d'arc en longitude correspond à $1 \times \cos 71^{\circ} 36'$ mille, donc à 0,316 mille.

moyenne de ces deux instants. Ceux-ci différant de 26 secondes, l'erreur maximum ne serait que de 13 secondes de temps, c'est-à-dire de $3' 15''$ d'arc, de sorte que l'erreur en longitude serait inférieure à 1 mille ⁽²⁾. Toutefois, nous sommes loin de nous imaginer que nous avons atteint cette approximation : à notre retour, nous n'avons pas pu être renseignés sur la valeur des observations qui avaient été réellement trouvées pour T_{mg} , et nous savons, en outre, que l'heure D était fonction de l'état de l'atmosphère et de la valeur de notre lunette. A ce double titre, les résultats déduits de l'observation du 14 Mars doivent être considérés comme approximatifs.

Les observations du 21 Juin 1898 (fin de l'éclipse de Ganymède), et du 12 Mars 1899 (commencement de l'éclipse de Io), ont été faites dans des conditions semblables à celles du 14 Mars 1898.

Faute de mieux, nous avons adopté les états déduits des observations des phénomènes des satellites de Jupiter; d'ailleurs, l'état absolu du 14 Mars concordait sensiblement avec celui qui était indiqué par nos calculs journaliers, et celui du 13 Mars 1899 devait être très proche de la réalité, puisque, quelques jours plus tard, nous entrions dans le détroit de Magellan, par la passe du Sud (entre les Furies de l'Est et les Furies de l'Ouest), et nous trouvions, comme conséquence de nos observations de Punta-Arenas, un état absolu du régulateur très approché de celui qui avait été déduit de l'éclipse du 13 Mars 1899.

Comme nos déterminations d'état absolu se faisaient très difficilement dans la banquise, nos observations ont été très espacées ⁽¹⁾. Si donc, en recherchant une précision exagérée pour le but que nous poursuivions, nous avions rejeté les observations du 14 Mars et du 21 Juin 1898, nous serions demeurés sans détermination d'état absolu, depuis le 30 Décembre jusqu'au 27 Août 1898, c'est-à-dire pendant 240 jours.

D. MÉTHODE DES OCCULTATIONS D'ÉTOILES PAR LA LUNE.

Cette méthode exige un calcul préalable indiquant si l'occultation se produit pour le lieu occupé par l'observateur et faisant connaître l'heure approchée à laquelle on doit se préparer à l'observation. Ce calcul préalable se remplace avantageusement par un procédé graphique très simple et très rapide.

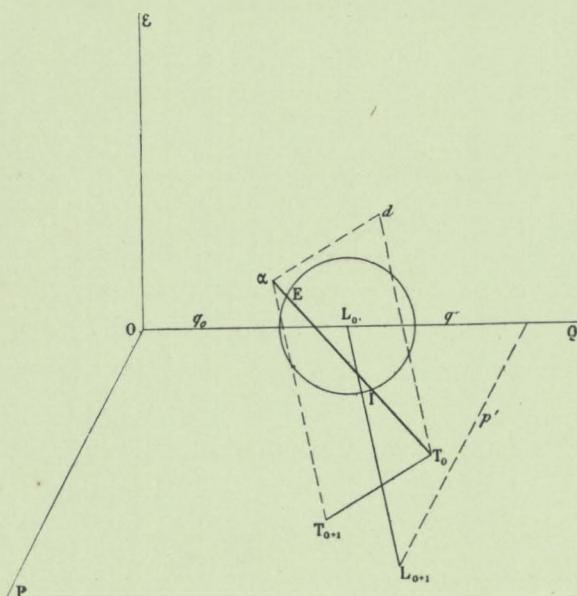
I. *Prédiction graphique d'une occultation.*

THÉORIE. — Soient O le centre de la Terre, $O\epsilon$ la direction de l'étoile, POQ le plan perpendiculaire à $O\epsilon$, L_o et T_o les projections sur le plan POQ du centre de la Lune et de l'observateur, à l'instant de la conjonction vraie des astres, c'est-à-dire à l'heure T_o de Paris. Enfin appelons q_o la longueur $O L_o$.

Si nous prenons le rayon terrestre R pour unité de longueur, le rayon lunaire sera $0,27 R$. Une heure après la conjonction vraie, le centre de la Lune se sera déplacé d'une longueur q' , suivant l'axe OQ , et d'une longueur p' , suivant l'axe OP . Donc, si la projection de ce déplacement avait été une droite, cette projection aurait été $L_o L_{o+1}$.

Quant à l'observateur, il aurait parcouru un chemin dont la projection aurait été $T_o T_{o+1}$.

(1) Nous n'avons cependant jamais manqué de saisir les occasions favorables.



Si nous donnons à tout le système un mouvement égal et contraire à celui de la Lune, la projection de cet astre ne variera pas et l'observateur parcourra en projection, en une heure, un chemin $T_0\sigma$ qui sera la résultante du chemin T_0T_{0+1} et du chemin T_0d , (égal et contraire à L_0L_{0+1}). Dans ces conditions, comme le rayon visuel de l'observateur vers l'étoile demeure parallèle à Oe , il verra l'immersion au moment où sa position relative sera en I , et il verra l'émersion, au moment où sa position relative sera en E .

Alors, il est évident qu'au moment de l'immersion il sera, à Paris,

$$\text{l'heure } T_{\text{mp}} = T_0 \text{ heures} + 1 \text{ heure} \times \frac{T_0 I}{T_0 \sigma},$$

et, qu'au moment de l'émersion, il sera, à Paris, l'heure $T_{\text{mp}} = T_0 \text{ heures} + 1 \text{ heure} \times \frac{T_0 E}{T_0 \sigma}$.

APPLICATION (voir planche I placée à la fin de la deuxième partie de l'étude des chronomètres). — La *Connaissance des temps*, donnant les nombres T_0 , q_0 , p' et q' , il est facile de prédire graphiquement, par une épure de géométrie descriptive, les heures approchées de l'immersion et de l'émersion.

Prenons le plan eOQ pour plan vertical, et le plan POQ pour plan horizontal de projection. La droite Oe sera verticale et, si, à l'échelle du dessin, le rayon terrestre est représenté par 100 millimètres, la circonference $eASBC$ représentera le méridien tracé par le plan vertical. Le pôle Sud se placera évidemment en S , de telle sorte que l'angle eOS soit égal à la distance polaire de l'astre, déduite de la *Connaissance des temps*.

Si l'on prend ensuite, sur $S\epsilon$, un arc SA égal à la colatitude de l'observateur, soit de $19^{\circ}45'$, le point A sera un point du parallèle de l'observateur. Comme le plan de ce parallèle est perpendiculaire à l'axe du monde SO , il est perpendiculaire au plan vertical, sa trace passe par le point A et est perpendiculaire à la droite OS . Enfin, le centre de ce parallèle se projette évidemment en n .

Rabattons le plan de ce parallèle sur le plan vertical autour de la charnière AB , dans le sens indiqué de la flèche. Le centre n ne bougeant pas et le rayon du petit cercle étant égal à na , le parallèle sera représenté par la circonference Au_0B sur laquelle la partie marquée Est correspond aux lieux situés dans l'hémisphère oriental du méridien $eA.S.B$.

Comme à l'heure T_0 , l'angle horaire de l'astre, à Paris, est ⁽¹⁾ $H_0 = 213^{\circ}$ et comme l'observateur est à $5^{\circ}42'20''$ ou à $85^{\circ}35'$ à l'Ouest de Paris, l'angle horaire de l'astre, pour cet observateur est de : $213^{\circ} - 85^{\circ}35'$ soit de $127^{\circ}25'$.

Donc ⁽²⁾, si l'on porte, à partir du point A , et dans le sens $Au_{0+1}u_0$, un arc Au_0 , correspondant à un angle de $127^{\circ}25'$, le point u_0 représentera la position de l'observateur à l'heure T_0 de Paris, et les points u_{0+1} et u_{0-1} , distants de 15° du point u_0 , représenteront, en rabattement, les positions de l'observateur, aux heures T_{0+1} et T_{0-1} .

(1) Donné dans la *Connaissance des temps*.

(2) L'angle horaire d'un astre se compte de 0 à 24 heures ou de 0 à 360° vers l'Ouest, à partir du méridien supérieur du lieu.

Les points u_{o-1} , u_o et u_{o+1} se relèveront en a , b et c , en projection verticale, et en T_{o-1} , T_o et T_{o+1} , en projection horizontale.

Donc, entre les heures T_o et T_{o+1} , l'observateur parcourra un chemin pouvant se confondre, en projection horizontale, avec la droite $T_o T_{o+1}$.

Quant à la Lune⁽¹⁾, à l'heure T_o , elle se trouvera en L_o distante du point O de q_o . Une heure plus tard, elle aura parcouru un chemin $L_o \beta$ égal à q' et un chemin βL_{o+1} égal à p' ; c'est-à-dire un chemin approximativement égal, en projection, à $L_o L_{o+1}$.

Donc, si l'on applique à tout le système un mouvement égal et contraire à $L_o L_{o+1}$, la Lune restera immobile et sera représentée par la circonférence, décrite du point L_o comme centre, avec un rayon de 27 millimètres, et l'observateur parcourra un chemin $T_o \alpha$, qui sera la résultante du chemin $T_o T_{o+1}$ et du chemin $T_o d$ égal et contraire à $L_o L_{o+1}$.

Les moments de l'immersion et de l'émergence correspondent aux positions I et E de l'observateur, et comme

$$T\alpha = 68 \text{ millimètres}$$

$$TI = 2 \text{ millimètres}$$

$$TE = 44 \text{ millimètres}$$

il sera, à Paris ;

au moment de l'immersion : $T_{\text{mp}} = T_o + \left(\frac{2}{68}\right)$ heure = $23^h 28^m$, le 27 Août ;

au moment de l'émergence : $T_{\text{mp}} = T_o + \left(\frac{44}{68}\right)$ heure = $00^h 03^m$, le 28 Août.

REMARQUE I. — Comme on connaît la longitude L_p approchée du lieu, par rapport à Paris, on en déduit le temps moyen local T_{ml} approché du phénomène, par la formule :

$$T_{\text{ml}} = T_{\text{mp}} + L_p$$

dans laquelle L_p contient implicitement le signe +, si la longitude est orientale, et le signe —, si la longitude est occidentale de Paris.

Enfin, comme des observations à l'horizon artificiel permettent de déterminer la correction $(T_{\text{ml}} - M)$ du compteur M sur le temps moyen local, l'heure marquée par la montre, au moment soit de l'immersion, soit de l'émergence, s'obtiendra par une simple différence algébrique.

REMARQUE II. — L'approximation obtenue par la méthode graphique que nous venons d'exposer est très satisfaisante. Le tracé de l'épure peut se faire, même sur la glace, en dix minutes au plus, si l'on a soin de faire usage de papier millimétrique.

II. Calcul de l'état absolu par la méthode algébrique.

La Connaissance des temps indique la marche qu'on doit suivre pour calculer la longitude par rapport à Paris, L_p , d'un lieu, dont on connaît la latitude φ , et dans lequel on a observé l'heure marquée par une pendule, réglée sur le temps local, au moment où une occultation se produit⁽²⁾.

Ce calcul ne présente aucune difficulté, nous ne nous y arrêterons donc pas.

Certes nous aurions pu faire usage des données du *Nautical Almanac*, et, dans ce cas, nous aurions obtenu directement la longitude du lieu par rapport à Greenwich. Mais nous avons préféré faire usage de la Connaissance des temps, parce que nous y trouvions, sans calcul préalable,

(1) La distance q_o doit se porter à gauche du point O parce que sa valeur est négative.

(2) On doit donc connaître les valeurs de φ et de $(T_{\text{ml}} - A)$ pour le moment de l'occultation.

l'ascension droite et la déclinaison apparente de l'astre occulté, ainsi que l'heure de Paris T_0 et l'angle horaire de l'astre H_0 , au moment de la conjonction vraie en ascension droite. Il est d'ailleurs évident que, si nous avons déterminé la longitude, L_p , du lieu, par rapport à Paris, nous pouvons en déduire la longitude, L , par rapport à Greenwich, et que nous pouvons calculer l'état absolu ($T_{mg} - A$) en fonction de ($T_{ml} - A$), en nous servant de la formule (1) :

$$T_{mg} - A = (T_{ml} - A) - L.$$

Mais cette méthode, très simple en apparence, fut d'une application difficile pour nous, qui nous déplaçions sans cesse avec la banquise. Il nous était, en effet, à peu près impossible de déterminer les éléments fondamentaux du calcul : φ et ($T_{ml} - A$), pour le moment de l'occultation.

Pour calculer φ , il eût été nécessaire que, peu de temps, avant ou après l'occultation, nous ayons pu observer la hauteur d'un astre, au moment de sa culmination, ou mesurer les hauteurs de deux astres situés dans des azimuts à peu près perpendiculaires entre eux. (2)

Encore, la latitude, ainsi déterminée, aurait-elle été relativement incorrecte. D'abord, parce que les tables de réfraction, dont nous devions faire usage, ne sont pas exactes pour les basses températures, et que nos observations s'effectuaient par 26° au-dessous de zéro; et ensuite, parce que le ciel, généralement couvert, ne nous permettait pas de choisir les astres.

Les erreurs, imputables aux tables, étaient loin d'être négligeables, comme le prouvent les expériences suivantes.

A diverses reprises, le lieutenant Amundsen et moi avons mesuré, au même instant précis, la hauteur apparente d'un astre. L'un de nous, en se servant d'un horizon artificiel, obtenait directement le double de la hauteur apparente instrumentale, $2 H_i$; l'autre mesurait, H'_i , la plus courte distance de l'astre à l'horizon de la banquise (3). Nous avions préalablement comparé nos sextants, et nous avions déterminé avec soin leur erreur instrumentale ϵ et ϵ' . Il est alors évident que, si les tables de dépression (4) avaient été exactes, nous aurions eu :

$$\begin{aligned} H_a &= \frac{2 H_i + \epsilon}{2} \\ H_a &= H'_i + \epsilon' - \text{dépression} \\ \text{d'où} \quad \frac{2 H_i + \epsilon}{2} &= H'_i + \epsilon' - \text{dépression}. \end{aligned}$$

Or, nous avons toujours obtenu, entre les deux membres de cette équation, une différence qui atteignait plusieurs minutes d'arc. Cette inégalité ne pouvait pas être attribuée à des erreurs personnelles, car les écarts se produisaient sans cesse dans le même sens, bien que les observateurs fissent alternativement usage de l'horizon artificiel et de l'horizon de la banquise (5).

Mais, si l'incorrection des tables de réfraction devait entacher d'erreur nos résultats, une

(1) La longitude L contient implicitement le signe que nous lui avons attribué précédemment.

(2) Nous traitons cette question dans notre mémoire sur la recherche des positions du navire pendant sa dérive avec les glaces.

(3) Cet horizon se distinguait très nettement par la trace blanche que la banquise marquait sur le bleu du ciel.

(4) Calculées d'après les tables de réfraction.

(5) Ces mesures simultanées ont été trop peu nombreuses malheureusement, le temps nous ayant fait défaut pour les multiplier.

autre difficulté plus grande se présentait : aucun astre ne se montrait, dans de bonnes conditions, vers le moment de l'occultation. Il fallait alors recourir aux hypothèses.

Ainsi, le 28 Août 1898, le matin, lorsque nous pûmes observer une des rares occultations visibles dans nos régions, le ciel était couvert en plusieurs endroits⁽¹⁾. Force nous fut d'utiliser les observations faites la veille. Le 27 Août, nous avions déterminé la latitude, à midi, par une culmination solaire, et, vers 6 heures du soir, par les culminations de Saturne et d'Antarès. Nous avons alors admis que le navire dérivait avec une vitesse constante, et nous avons calculé, dans cette hypothèse, quelle serait sa latitude, pour le moment probable de l'occultation indiqué par le procédé graphique. Nous avons ainsi supposé que, si la latitude, le 27 Août, avait été φ_0 , à midi, et φ_6 , à 6 heures, elle aurait été :

$$\varphi = \varphi_0 - \frac{\varphi_6 - \varphi_0}{6} 17,8$$

le même jour à 17,8 heures, c'est-à-dire au moment probable de l'occultation.

Nous venons d'exposer la méthode suivie pour la détermination de la latitude φ , voyons comment nous avons calculé la valeur de $(Tml - A)$.

Si la latitude φ avait été déterminée exactement, le retard du chronomètre sur le temps moyen local, $(Tml - A)$, aurait été calculé, en fonction de φ et de la hauteur observée d'un astre, au moment des circonstances favorables au calcul de l'angle horaire⁽²⁾, d'après la méthode indiquée à la page 32 du présent mémoire.

Or φ étant inexactement connu, avons-nous vu, il en résultait que $(Tml - A)$ était erroné.

De plus, comme il n'était pas possible d'observer un astre dans de bonnes conditions, au moment de l'occultation, et comme le navire se déplaçait sans cesse, nous avons été appelés à formuler de nouvelles hypothèses.

Pour l'occultation du 28 Août, nous avons donc agi de la manière suivante :

Le 27 Août, vers 6 heures du soir, la latitude φ_6 était connue assez exactement par les culminations de Saturne et d'Antarès. Vers 7 heures du soir, des hauteurs de Vénus nous permirent de déterminer la valeur de $(Tml - A)$ en fonction de φ_6 , et, la valeur de la longitude probable, en fonction de $(Tml - A)$ et de l'état absolu, $(Tmg - A)$, adopté en cours de route.

Alors, en nous basant sur les coordonnées admises pour le 26 Août, en admettant que, du 26 au 28 Août, la marche diurne du régulateur A était celle adoptée en cours de route, et en supposant que la dérive en longitude se poursuivait uniformément avec une vitesse égale à celle du 26 au 27 Août, nous avons ainsi été amenés à conclure que, le 27 Août, de 7 heures du soir à 5^h 46^m du matin, le 28 Août, le navire avait dérivé de 22 secondes vers l'Ouest.

Cette hypothèse nous a ainsi conduits à admettre qu'au moment de l'occultation la valeur de $(Tml - A)$ était la même que celle que nous avions trouvée, le 27 Août, à 7 heures du soir, diminuée de 22 secondes de temps⁽³⁾.

(1) Voir l'étude des chronomètres, deuxième partie de ce mémoire, page 115.

(2) LECOINTE. — *La Navigation astronomique et la Navigation estimée*, page 223, Berger-Levrault, Paris, 1896.

(3) En tenant compte de la convention de signe, que nous avons établie pour les longitudes, nous avons, d'une façon générale, pour des lieux de longitudes L et L' :

$$\begin{aligned} Tml' &= Tml + (L' - L) \\ \text{ou } Tml' &= Tml + \alpha \text{ avec } \alpha = (L' - L) \end{aligned}$$

Nous aurons donc :

$$(Tml' - A) = (Tml - A) + \alpha$$

Comme, dans le cas qui nous occupe, α est ouest, ce terme contient implicitement le signe négatif.

De ce qui précède, il résulte que les valeurs, admises pour φ et ($T_{ml}-A$), dans le calcul des occultations, ne sont pas rigoureuses, mais qu'elles sont simplement des valeurs probables. Il est cependant de toute évidence que leur approximation est très satisfaisante, pour les circonstances spéciales dans lesquelles nous avons été amenés à nous en servir.

L'observation des occultations d'étoiles par la Lune peut être très avantageuse pour le voyageur polaire. Malheureusement ces phénomènes ne sont que rarement visibles au delà du 70^e degré de latitude australe; d'abord, parce qu'il y a généralement un apulse, à partir de ce petit cercle; ensuite, parce que les circonstances atmosphériques sont peu favorables à ce genre d'observations. Enfin, il ne faut pas perdre de vue que, pendant de nombreuses semaines le soleil ne se couche pas et que, pendant cette période, il ne peut pas être question d'observer des occultations.

A trois ou quatre reprises, nous avons tenté de faire ces observations, mais nous n'avons pu les utiliser qu'une seule fois : c'est le 27 Août 1898. Cette occultation semble nous avoir conduits à des résultats satisfaisants (1).

E. MÉTHODE DES DISTANCES LUNAIRES.

Supposons qu'à l'heure A d'une montre, dans un lieu de latitude géocentrique φ' , et de longitude probable Le , nous ayons mesuré la distance angulaire D_{sa} , du centre de la Lune au centre d'un astre conjugué. Admettons que, par le calcul, nous puissions déterminer la distance angulaire D_{sv} , qu'aurait mesurée un observateur, placé au centre de la terre, au moment précis où nous mesurions D_{sa} ; en d'autres termes, admettons que nous puissions calculer D_{sv} en fonction de D_{sa} . — Le problème revient à chercher l'heure T_{mg} de Greenwich correspondant à l'instant où la distance des deux astres est D_{sv} . Il est évident que l'état absolu, à l'heure T_{mg} de Greenwich, sera donné par la formule :

$$E = T_{mg} - A.$$

La manière de calculer T_{mg} , en fonction de D_{sv} , est indiquée dans la Connaissance des temps et le Nautical Almanac (2).

Il nous reste à établir comment on obtient successivement φ' , Le et D_{sv} .

Calcul de la latitude géocentrique φ' . — Cette latitude se déduit de la latitude astronomique φ , en faisant usage de la table XXII de Caillet. Quant à la latitude φ , nous pourrions établir, comme nous l'avons fait au paragraphe précédent (3), qu'il n'était pas possible de l'obtenir avec précision, pour le moment où nous mesurions la distance lunaire.

En hiver, lorsque les étoiles étaient parfois visibles, et que nous aurions pu faire un choix parmi elles, pour déterminer des droites de hauteur, la lune fut très rarement observable, soit parce qu'elle se trouvait au-dessous de l'horizon, soit à cause de la nouvelle lune, soit enfin à cause de la brume. Les deux ou trois essais que nous fîmes, en hiver, pour mesurer des distances lunaires ne furent pas heureux, et voici à quoi nous devons attribuer cet insuccès.

Pour que la mesure des distances lunaires donne de bons résultats, il faut qu'elle soit faite avec la plus grande précision. Or, cette précision s'obtient difficilement dans les régions polaires

(1) Étude des chronomètres, deuxième partie de ce mémoire, page 115.

(2) LECOINTE. *La Navigation astronomique et la Navigation estimée*, page 327. — Berger-Levrault, Paris, 1896.

(3) Page 42 du présent mémoire.

où les observations en plein air sont souvent impossibles, et où les abris convenables font défaut. L'observation précise d'un contact devient irréalisable dès que le ciel se couvre; circonstance qui se présente souvent et n'est modifiée que par l'arrivée des vents du Sud. Ces vents étant très froids, l'observateur doit être chaudement vêtu et ganté afin que ses mains ne soient pas brûlées par le métal, ou paralysées par le froid. Et comment manier de petites vis de rappel avec de gros gants fourrés!

Ces mesures étant difficiles, il fallait en faire plusieurs avant d'admettre l'une d'elles comme suffisamment exacte. Alors, comme nous étions vêtus de lourdes fourrures, debout et les bras tendus pour tenir le sextant immobile, nos mains se fatiguaient et tremblaient au point de nous forcer à interrompre le travail. Les lectures du vernier devenaient souvent impossibles; malgré la précaution, que nous prenions, de nous cacher le visage avec un masque de soie, l'air que nous expirions donnait des condensations sur le limbe et les loupes, nous empêchant ainsi de rien distinguer. Il ne fallait pas non plus songer à faire les lectures à bord; car, dès que le sextant passait dans notre chambre, la vapeur d'eau se précipitait sur l'instrument qu'elle couvrait de givre.

Au milieu de l'hiver 1898, par une température de 39 degrés au-dessous de zéro, nous étions parvenus, après de multiples efforts, à mesurer une distance lunaire, et, avant d'en faire la lecture, nous réchauffions nos mains engourdis par le froid, lorsqu'un de nos camarades, passant près de nous, n'aperçut pas notre sextant et le heurta assez violemment. Ce choc dérangea l'alidade, de sorte que la lecture du vernier devint inutile.

En été, nous eûmes deux fois l'occasion de mesurer des distances luni-solaires: le 2 Janvier, vers 4 heures du matin, et le 4 Janvier 1899, vers 6 heures du matin.

Mais, comme à cette époque de l'année le Soleil et la Lune étaient les seuls astres visibles pour nous, comme, au moment de la mesure de la distance, ils ne se trouvaient pas dans des circonstances favorables pour la détermination de deux droites de hauteur, nous avons été astreints à déterminer la valeur de φ , en faisant des hypothèses.

En nous basant sur le fait que la banquise, à ces dates, semblait se déplacer très lentement, nous avons déterminé la latitude, à midi, le 2 et le 4 Janvier, et nous avons admis que le navire ne s'était pas déplacé, le 2 Janvier, entre 4 heures du matin et midi, et, le 4 Janvier, entre 6 heures du matin et midi.

Nous avons ainsi formulé des hypothèses analogues à celles que nous avions admises pour l'occultation de γ Sagittaire par la Lune.

Calcul de la longitude probable Le . — Cette longitude a été calculée au moyen de hauteurs prises à l'horizon artificiel, en fonction de l'état absolu du régulateur adopté en cours de route, et en fonction de la latitude φ , déterminée comme nous venons de l'indiquer. Nous avons fait usage à cet effet de la méthode de l'angle horaire (1).

Calcul de la distance Dsv en fonction de Dsa . — Désignons par $Hv\odot$ et $Ha\odot$ la hauteur vraie et la hauteur apparente du Soleil, au moment où l'on mesure Dsa ; représentons par $Hv\odot$ et $Ha\odot$ la hauteur vraie et la hauteur apparente de la Lune, à ce moment, enfin, supposons que toutes ces hauteurs soient (2) ramenées au zénith des parallaxes.

(1) Voir page 32 du présent mémoire.

(2) LECOINTE. *La Navigation astronomique et la Navigation estimée.* — Berger-Levrault, Paris, 1896.

Nous aurons :

$$\left. \begin{array}{l} \sin \frac{Dsv}{2} = \cos \frac{Hv \odot + Hv \mathbb{C}}{2} \cos \psi \\ \sin \psi = \frac{1}{\cos \frac{Hv \odot + Hv \mathbb{C}}{2}} \sqrt{\frac{\cos Hv \odot \cos Hv \mathbb{C}}{\cos Ha \odot \cos Ha \mathbb{C}}} \cos S \cos (S - Dsa) \\ 2S = Ha \odot + Ha \mathbb{C} + Dsa \\ \text{ou} \\ 2S = Ha \odot + Ha \mathbb{C} + Dsa \\ R = \sqrt{\frac{\cos Hv \odot \cos Hv \mathbb{C}}{\cos Ha \odot \cos Ha \mathbb{C}}} \cos S \cos (S - Dsa) \\ \sin \psi = \frac{R}{\cos \frac{Hv \odot + Hv \mathbb{C}}{2}} \\ \sin \frac{Dsv}{2} = \cos \frac{Hv \odot + Hv \mathbb{C}}{2} \cos \psi \end{array} \right\}$$

Pour éviter les interpolations dans le calcul des logarithmes, nous avons arrondi Dsa , dans la formule : $2S = Ha \odot + Ha \mathbb{C} + Dsa$, et nous avons reporté avec son signe, sur la valeur trouvée pour Dsv , les secondes d'arc ainsi ajoutées ou retranchées à Dsa . Nous avons de même arrondi les valeurs de $Ha \odot$ et de $Ha \mathbb{C}$, attendu que la théorie démontre, qu'en agissant de cette manière, le résultat final n'est pas altéré (1).

Nous devons maintenant indiquer comment nous avons calculé $Hv \odot$, $Hv \mathbb{C}$, $Ha \odot$, $Ha \mathbb{C}$, et enfin Dsa .

Le triangle sphérique, formé par le zénith des parallaxes, le pôle élevé et l'astre donne :

$$\sin Hv = \sin \varphi' \sin D + \cos \varphi' \cos D \cos P. \quad (I)$$

Dans cette formule, D est la déclinaison de l'astre, et P l'angle au pôle correspondant à l'instant où l'on mesure de la distance.

Or, comme le calcul de la longitude probable nous a fourni la valeur de $(Tml - A)$, nous aurons :

$$Tal = (Tml - A) + A + \alpha_m - \alpha_a$$

et l'angle au pôle sera donné par l'une des deux formules (2) :

$$P = Tal, \text{ si } Tal < 12 \text{ heures.}$$

$$P = 24 - Tal, \text{ si } Tal > 12 \text{ heures.}$$

Dès lors, la formule générale (I) permet de trouver les valeurs de $Hv \odot$ et de $Hv \mathbb{C}$.

Quant aux hauteurs apparentes, $Ha \odot$ et $Ha \mathbb{C}$, elles se déterminent à l'aide de la formule générale (3) :

$$Ha = Hv - \omega + R$$

$$\text{ou} \quad Ha = Hv - (\omega - R).$$

(1) Le calcul est encore simplifié par l'usage de la table IX de la *Connaissance des temps*, qui donne immédiatement la valeur de $\log \frac{\cos Hv \odot}{\cos Ha \odot}$

(2) LECOINTE. — *La Navigation astronomique et la Navigation estimée*, page 226, Berger-Levrault, Paris, 1896.

(3) Cette formule se déduit évidemment de celle qui est adoptée à la page 34 de ce mémoire.

S'il s'agit du Soleil, les valeurs de ω et de R se trouvent respectivement dans la table III de la *Connaissance des temps* et les tables XVI et XXI de Caillet.

S'il s'agit de la Lune, on calcule directement le terme $[-(\omega - R)]$. A cet effet, on déduit d'abord la parallaxe horizontale π de la parallaxe équatoriale π_0 , en se servant de la table XXIV de Caillet.

Ensuite, comme la table XXVIII de Caillet donne la valeur de $(\omega - Rm)$ en fonction de la hauteur apparente $Ha \circ$, qui est précisément l'inconnue, on doit agir par la méthode des approximations successives.

Enfin, lorsque, après la deuxième approximation, on a obtenu une valeur déjà approchée de $Ha \circ$, on calcule, à l'aide des tables XVI et XXI de Caillet, les corrections dues à la température et à la pression barométrique, et on les applique, *en signe contraire*, à la dernière valeur trouvée pour $Ha \circ$.

REMARQUE. — On nous objectera, peut-être, que nous aurions pu observer directement les valeurs de $Ha \odot$ et de $Ha \circ$, les ramener au zénith des parallaxes par la table XXVI de Caillet, et en déduire enfin les hauteurs vraies.

Mais cette méthode aurait eu des inconvénients pour nous. La mesure d'une distance lunaire se fait, en effet, avec avantage, lorsque les astres ont la même hauteur.

Comme la Lune, dans nos parages, n'était jamais élevée au-dessus de l'horizon, les erreurs dues à la réfraction auraient été grandes, par suite de l'imperfection des tables, et elles se seraient reportées intégralement sur les hauteurs vraies. De plus, les grands froids rendaient plus fréquentes les erreurs personnelles, et nous engageaient à réduire le plus possible la durée des observations faites en plein air. Comme nous étions seul observateur, nous aurions dû agir par interpolation pour connaître les hauteurs des astres, au moment de la mesure de la distance lunaire, et nous aurions été amenés : 1^o à mesurer la hauteur de l'astre conjugué; 2^o à mesurer la hauteur de la Lune; 3^o à prendre une série de distances lunaires; 4^o à mesurer de nouveau la hauteur de la Lune; 5^o et enfin, à mesurer encore la hauteur de l'astre conjugué.

Il aurait donc fallu établir trois fois l'horizon artificiel; car nous ne possédions qu'un seul horizon liquide, et nous n'avions pas confiance dans l'horizon à glace (¹). Chacune de ces installations étant longue, il se serait écoulé un temps considérable entre chaque mesure de hauteur, et, comme conséquence, nous aurions commis une erreur sensible lorsque, par interpolation, nous aurions calculé la hauteur, pour le moment où nous avions mesuré la distance.

Il nous reste encore à indiquer la méthode employée pour déterminer Dsa .

Comme nous ne pouvions pas mesurer directement la distance du centre des astres, nous mesurions la distance la plus courte de leur bord; puis, nous ajoutions, à la distance ainsi trouvée, les deux demi-diamètres inclinés.

Afin d'éviter les tremblements et de pouvoir tenir le sextant à deux mains, nous amenions très près l'une de l'autre les images des deux astres; et, après avoir serré la vis de pression, nous attendions que le contact se produisît (²).

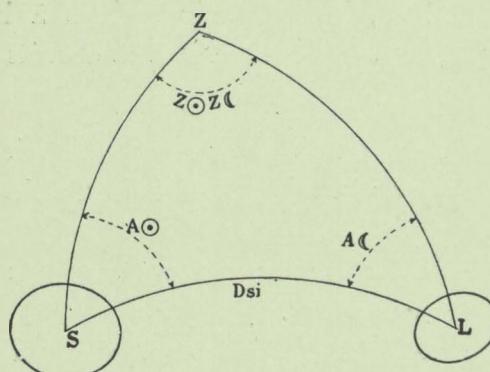
Comme la période de doute est assez longue, nous donnions des tops successifs jusqu'au

(1) Nous exposerons, dans notre mémoire sur la recherche des positions du navire pendant la dérive avec les glaces, les difficultés réelles que nous avons éprouvées par les grands froids, pour faire usage de l'horizon artificiel.

(2) Si l'astre conjugué s'était trouvé à l'Ouest de la Lune, nous aurions fait mordre les deux images l'une sur l'autre, et nous aurions attendu le moment de leur séparation.

moment où le contact était dépassé. Nous considérions alors les trois derniers tops, nous admettions que le premier avait été donné avant le contact, et le troisième après. Nous formions ensuite la moyenne de ces tops extrêmes, et, si elle correspondait au deuxième top, l'observation était considérée comme bonne.

Pour déterminer les demi-diamètres inclinés, nous avons calculé d'abord, au degré, les azimuts⁽¹⁾ de la Lune et de l'astre conjugué, pour l'heure où nous mesurions au sextant la distance instrumentale, D_{si} , des bords les plus rapprochés des astres, et nous en avons déduit l'angle $Z \odot Z \llcorner$; c'est-à-dire, la différence de ces azimuts. Les angles à l'astre ont alors été obtenus par les formules⁽²⁾:



$$\sin A \odot = \frac{\sin Z \odot Z \llcorner}{\sin D_{si}} \cos H v \llcorner.$$

$$\sin A \llcorner = \frac{\sin Z \odot Z \llcorner}{\sin D_{si}} \cos H v \odot.$$

Le demi-diamètre incliné du Soleil, $dr \odot$, a été calculé à l'aide de la table XXIII de Caillet et de l'annexe de cette table. Le demi-diamètre incliné de la Lune, $dr \llcorner$, a été calculé par les tables XXIII et XXV de Caillet, et par l'annexe de la table XXIII.

Enfin, la distance corrigée D_{sa} des centres des deux astres a été obtenue par la formule :

$$D_{sa} = D_{si} + \varepsilon + dr \odot + dr \llcorner$$

dans laquelle ε représente l'erreur instrumentale du sextant.

De ce qui précède, nous devons conclure que les nombreuses approximations dont nous avons dû nous servir : les tables de réfraction imparfaites, la mobilité du navire entre les diverses mesures, enfin l'incorrection de la mesure D_{si} , ont altéré considérablement le résultat définitif du calcul. Il est donc évident, que, à moins d'un hasard extraordinaire, nos observations de distances lunaires, le 2 et 4 Janvier 1899, ne pouvaient pas conduire à des résultats identiques pour l'état absolu du régulateur⁽³⁾.

Nous avons donc formulé une dernière hypothèse, et nous avons admis que la moyenne des états absolus, trouvés par ces distances lunaires, correspondait à l'instant moyen des observations ; c'est-à-dire à 22^h 40^m temps moyen de Greenwich, le 2 Janvier 1899.

(1) On peut faire usage de plusieurs tables ; nous nous sommes servis de celles de Perrin, qui nous ont semblé les plus rapides. — Tables de Perrin, Challamel, éditeur, n^o 5, rue Jacob, Paris.

(2) LECOINTE. *La Navigation astronomique et la Navigation estimée*, page 322. Berger-Levrault, Paris. 1896.

(3) Abstraction faite de la marche diurne du régulateur pendant ces 48 heures.

CHAPITRE V.

DIAGRAMMES.

(Voir planches I, II, III et IV).

TRACÉ. — Considérons deux axes coordonnés rectangulaires; l'un horizontal, sera l'axe des temps, l'autre, vertical, sera l'axe des marches diurnes et l'axe des températures.

Par convention, les marches positives (retards) se porteront suivant oX , au-dessus de l'axe des temps, et les marches négatives (avances) se porteront suivant oX' , au-dessous de l'axe des temps.

Les températures, évaluées en degrés centigrades, se mesureront suivant oX' , lorsqu'elles seront au-dessus de zéro, et, suivant oX , lorsqu'elles seront au-dessous de zéro.

L'échelle, pour la mesure du temps, sera de 1 millimètre par jour, pour la mesure des marches diurnes de 10 millimètres, par seconde de temps, et, pour la mesure des températures, de 2 millimètres, par degré centigrade.

En prenant les données dans le journal des marches diurnes ⁽¹⁾, marquons sur l'axe des temps les points qui correspondent au dernier jour de chaque période, et portons, en ces points, comme ordonnées, la température moyenne et la marche réduite du régulateur pour la période écoulée.

En joignant ces points par un trait continu, nous tracerons : 1^o le diagramme des températures moyennes, et 2^o le diagramme des marches réduites du régulateur *A*.

Pour tracer les diagrammes des marches diurnes des autres montres, il ne sera pas nécessaire de calculer leurs marches. Comme le journal ⁽¹⁾ donne les différences $(b-a)$, $(c-a)$, $(d-a)$ et $(s-a)$, il suffira d'ajouter ces valeurs ⁽²⁾ à chacune des ordonnées du diagramme du régulateur, en tenant compte du signe qui leur convient; c'est-à-dire qu'elles seront portées, à partir du diagramme *A*, dans le sens oX , lorsqu'elles seront positives, et dans le sens oX' , lorsqu'elles seront négatives.

Diagrammes des montres D et S. — Nous n'avons pas reproduit le diagramme des marches diurnes de la montre *D*, dont les variations journalières étaient trop considérables.

De même, nous n'avons pas tracé, en 1897 et 1898, le diagramme de la montre *S*, qui n'avait pas été étudiée avant son embarquement, le 30 Octobre 1897, à Rio de Janeiro, et qui se comportait trop irrégulièrement pour être utilisée dans le calcul de la marche du régulateur.

Mais, à partir du 1 Janvier 1899, nous avons tracé ce diagramme, parce que les marches

(1) Étude des chronomètres — Deuxième partie, Journal des marches diurnes, pages 40 et suivantes.

(2) Évaluées en millimètres, à l'échelle du dessin; c'est-à-dire à raison de 10 millimètres par seconde de temps.

probables (1) s , obtenues pendant les derniers mois de 1898, nous avaient semblé plus constantes, et, dès lors, susceptibles d'entrer dans le calcul de la marche du régulateur. Cependant on voit, en jetant un coup d'œil sur la planche III, que cette constance était toute relative et que, d'une période à l'autre, les valeurs moyennes de s différaient encore sensiblement.

Particularités des diagrammes au début et à la fin de la campagne. — Dès leur embarquement les chronomètres débutèrent par une série de marches irrégulières ; aussi, les diagrammes furent-ils tracés, à cette époque, d'une façon spéciale. Le 12 Août 1897, on commence le tracé en prenant pour ordonnées la température et la marche moyenne, pour la période du 6 au 12 Août ; puis, comme, le 13 Août, on n'a pas obtenu d'état absolu, on marque, le 13 Août, les ordonnées de la température et de la marche moyenne, pour la période d'un seul jour : du 13 au 14 Août.

Enfin, comme le chronomètre C a subi des sauts considérables, pendant la période du 14 au 20 Août, on se borne, pour cette montre, à réunir par une droite l'ordonnée du 14 Août à l'ordonnée correspondante du 22 Août, cette dernière étant prise pour la période du 20 au 22 Août 1897.

Lors du retour en Amérique, en 1899, la montre B subit vraisemblablement des sauts, pendant la période du 30 Avril au 10 Mai 1899. Pour tracer le diagramme des marches diurnes, à cette époque, on se borna à joindre, par une droite, le point obtenu le 30 Avril au point obtenu le 15 Mai, pour la période du 10 au 15 Mai 1897.

Les sauts des montres, au commencement de leur embarquement, s'expliquent par le voisinage de l'armoire des chronomètres et de la chaudière. Les sauts de la montre B , à la fin de la campagne, peuvent être attribués au fait que cette montre fut, à cette époque, apportée plusieurs fois à terre, à Punta-Arenas, et utilisée dans diverses catégories d'observations.

DISCUSSION DES DIAGRAMMES.

Diagramme des températures. — Les divers points de ce diagramme ont été obtenus en fonction de la moyenne, pour chaque période, de la température de l'armoire des chronomètres à 9 heures du matin. Or, non seulement la température de l'armoire changeait sensiblement, d'un jour à l'autre, à 9 heures du matin ; mais encore, elle subissait des variations continues, d'un moment à l'autre de la journée. Ce fait était dû à ce que l'armoire n'était pas recouverte de feutre ou d'une matière calorifuge quelconque, et qu'elle subissait, à l'intérieur, les changements qui se manifestaient dans la température du carré. Et ces changements étaient nombreux : tantôt la température s'élevait fortement parce que les feux de la chaudière étaient poussés, ou que le poêle destiné au chauffage de l'arrière était activé ; tantôt la température descendait brusquement sous l'influence des conditions météorologiques, ou encore parce que le poêle s'éteignait faute de soins, ou enfin parce qu'un membre du personnel oubliait de fermer une porte ou un hublot.

Pour se rendre compte des variations de la température, dans l'armoire des chronomètres, il eût été nécessaire d'y placer en permanence un thermomètre enregistreur.

Enfin, il ne faut pas perdre de vue que pour certaines observations, le chronomètre B fut porté sur la banquise, par des températures qui atteignaient 25,5 degrés en-dessous de zéro.

(1) Étude des chronomètres — Deuxième partie, Journal des marches diurnes, pages 40 et suivantes.

Il résulte des considérations que nous venons d'énoncer, que le diagramme des températures, tel que nous l'avons tracé, ne doit pas faire l'objet d'un examen très approfondi.

Nous établirons d'ailleurs, dans nos conclusions, que, même si ce diagramme avait été tracé d'une façon continue, ses indications nous eussent peu appris, à cause de l'intervalle de temps considérable qui s'est forcément écoulé, entre deux déterminations successives de l'état absolu du régulateur.

Diagrammes des marches diurnes. — Les chronomètres furent transportés de l'Observatoire royal d'Uccle à Anvers, le 13 Août 1897, par chemin de fer et par voiture. Ils sont d'abord placés dans une chambre du bord, où la température subit de brusques variations, qui atteignent jusque 25°, en un seul jour. Le 22 Août, ils sont déplacés et installés au carré, où la chaleur dégagée par la machine est moins sensible. Le 23 Août, lorsque la *BELGICA* quitte Ostende, elle est remorquée par une forte mer; et navigue ensuite, du 24 Août au 2 Septembre, par mauvais temps.

Pendant toute cette première période de leur embarquement, les chronomètres ont des marches irrégulières, ils subissent de nombreux sauts; aussi les diagrammes présentent-ils des angles très aigus. Cependant, les trois diagrammes (ceux de *A*, de *B* et de *C*) suivent des mouvements semblables.

A partir du 2 Septembre 1897, jusqu'au 22 Octobre de la même année, date de notre mouillage à Rio de Janeiro, nous traversons la région des calmes, la température du carré varie peu, et les marches restent sensiblement constantes; les diagrammes moyens deviennent approximativement des droites parallèles à l'axe des temps.

Pendant notre séjour à Rio de Janeiro, les travaux de peinture et d'aménagement complémentaire du navire occasionnent de nombreux chocs sur le pont et contre les flancs du bâtiment. Les trois chronomètres subissent alors des variations dans le même sens, mais ces variations sont peu accusées.

Le 30 Octobre 1897, nous reprenons le large par une mer agitée : les chronomètres *A* et *C* tendent à reprendre la marche qu'ils avaient au commencement d'Octobre, tandis que le chronomètre *B* accroît lentement son avance.

Du 1^r au 14 Décembre, nous sommes mouillés en rade de Punta-Arenas (Détroit de Magellan). Nous effectuons, pendant ce temps, plusieurs manœuvres de rade, notamment nous nous amarrons à un navire, dans lequel nous puisions notre chargement de charbon. Lors de cet amarrage, la mer est houleuse, les bâtiments se heurtent violemment l'un contre l'autre. De nouveau, les montres *A* et *C* subissent des à-coups, et la montre *B* cesse d'avoir une marche négative croissante.

Du 14 Décembre 1897 au 14 Janvier 1898, nous naviguons dans le Détroit de Magellan, où nous affrontons, à diverses reprises, de très fortes mers, et où nous nous échouons dangereusement sur un banc de roches (dans le Canal de Beagle). Malgré cela, les marches des montres restent à peu près constantes, pendant toute cette période.

Le 14 Janvier 1898, nous appareillons par gros temps et faisons route vers la Terre de Graham. Pendant huit jours, le navire roule sur les lames; le 22 Janvier, nous pénétrons dans le Hugue Inlet, et nous relevons ses côtes ainsi que celle du Détroit de Gerlache, où nous débarquons souvent, en emportant à terre le chronomètre *B*. Ces débarquements se font assez facilement, mais le chronomètre *B* n'en subit pas moins plusieurs chocs sérieux. Le 12 Février, nous quittons le Détroit de Gerlache. Pendant cette période, du 22 Janvier au 12 Février 1898, les montres

gardent leur marche, sauf *B*, dont l'avance journalière, le 10 Février, n'est plus que de 2^s,9, alors qu'elle était de 4^s,8 au commencement de l'année.

A partir du 12 Février 1898, la *BELGICA* fait route vers le Sud et cherche plusieurs fois à forcer la banquise. Au début, elle peut se dégager, au prix des plus grands efforts, en attaquant les plaques de glace à pleine vapeur; mais, à la fin de Février, elle est assaillie par une tempête, elle ne profite pour s'engager à fond dans le pack, et, vers le 5 Mars, elle est bloquée et condamnée à l'hivernage. Cette lutte contre les plaques et les champs de glace a produit des ébranlements dans tout le navire ⁽¹⁾.

Malgré ces chocs violents — et bien que le chronomètre *B* ait été souvent porté sur la glace par de basses températures, notamment, le 25 Avril 1898, par 25°,5 au-dessous de zéro — les diagrammes des trois montres sont à peu près parallèles à l'axe des temps, pour la période comprise entre le 12 Février et le 10 Juin 1898.

Du 10 Juin au 10 Septembre 1898, la température varie souvent et brusquement, à l'extérieur comme à l'intérieur du carré; alors, le chronomètre *A*, qui avançait, semble avoir, pour quelque temps, une marche nulle; le chronomètre *B* subit de nombreuses perturbations; et le chronomètre *C* a une marche généralement régulière, sauf le 15 Août, où un léger saut paraît s'être produit.

Du 10 Septembre 1898 au 3 Janvier 1899, la *BELGICA* est toujours prisonnière dans la banquise; la température, à l'extérieur et à l'intérieur du bâtiment, subit encore des variations nombreuses, quoique le diagramme des températures soit peu mouvementé, pendant cette période ⁽²⁾.

La montre régulatrice *A* prend une avance journalière, qui s'accroît lentement, au milieu du mois d'Octobre, mais qui demeure ensuite à peu près constante. La montre *B*, dont l'avance était de 2^s,4, le 10 Septembre, change progressivement sa marche, qui devient une avance de 4^s,3, le 3 Novembre. La montre *C*, au contraire, dont le retard devrait diminuer, si elle subissait la même influence que la montre *B*, a un retard qui augmente. Ce contraste ne doit pas étonner, car les données, fournies par les montres *B* et *C*, ne peuvent pas être comparées, nous semble-t-il. En effet, tandis que les chronomètres *A* et *C* ne quittent jamais le carré, il ne se passe pas de jour que le chronomètre *B* ne soit déplacé : ou bien il est emporté sur la glace, par de basses températures, et utilisé dans des mesures relatives aux éléments magnétiques; ou bien il est porté dans la chambre du télégraphe, à proximité de laquelle se trouve un poêle, qui chauffe tout l'arrière du navire.

(1) Pour se créer un chemin, le navire reculait autant qu'il le pouvait; puis, faisant route à pleine vapeur, il se lançait à l'angle de deux plaques. Il recommençait huit, dix, parfois vingt fois ce mouvement, avant de pouvoir se faufiler entre les deux champs. Chaque fois, il était brusquement arrêté et tremblait de la quille à la pomme du grand mât. — Pendant la tempête, qui débute le 28 Février 1898, les chocs furent plus violents encore. La banquise entière était en mouvement. Les blocs de glace, soulevés par la mer en furie, se brisaient les uns contre les autres; la banquise se crevait avec des craquements sourds. Une fissure se formait dans la glace; elle allait s'élargissant en rivières, en lacs sur lesquels le navire bondissait éperdu. Puis, les glaçons se rapprochaient, se choquaient de nouveau et montaient les uns sur les autres. Lorsqu'une détente se produisait, le navire filait comme un trait, se frayant lui-même un chemin. Parfois, sous l'impulsion du vent, il acquérait une vitesse considérable, qui brusquement cessait à la lisière des lacs.

Le vent soufflait de E.-N.-E., rien n'eût été plus simple pour nous que de marcher vers le Nord et l'Ouest pour sortir de la banquise. Mais l'occasion était unique, il s'agissait d'en profiter, il fallait faire route vers le pôle.

(2) Le diagramme ne représente en effet que, tous les cinq jours, la moyenne de la température, à 9 heures du matin.

A partir du 14 Novembre 1898, le Soleil ne se couche plus; pendant le jour, la température est voisine de zéro, toutefois, la nuit, elle descend encore de 20 degrés au-dessous de zéro. Nous sommes à l'époque de l'été austral; aussi prenons-nous moins de précautions pour fermer la porte et la fenêtre du carré.

A la fin de Janvier, nous entreprenons de dégager le navire et de creuser un canal dans la glace, afin de rejoindre un lac, qui s'est formé dans la banquise. Pour ce travail, nous faisons sauter des charges considérables d'explosifs; nous allons même jusqu'à faire exploser, à 3 mètres du navire, des cartouches de cent grammes de tonite. Puis, parvenus au lac, nous nous efforçons de forcer la banquise, pour gagner le Nord et atteindre la mer libre (1). Pendant près d'un mois encore, nous demeurons captifs à 10 milles de la mer libre; là les effets de houle se font sentir; les plaques de glace sont soulevées et lancées sur les flancs de la *BELGICA*, enfin, les courants nous entraînent et augmentent ainsi les effets de la houle. Le 14 Mars 1899, nous sommes dégagés.

La période, du 3 Janvier au 14 Mars 1899, comprend donc des phénomènes multiples et complexes qui doivent avoir de l'influence sur les marches diurnes, mais à chacun desquels il est impossible d'attribuer sa part. Le chronomètre *A* cesse d'avancer; il prend même un léger retard qui s'annule peu à peu; les montres *B* et *C* suivent le mouvement de *A*. En réalité, le diagramme de *A* est brusquement relevé d'une distance correspondant à 2 secondes de temps, et les diagrammes des montres *B* et *C* subissent le même déplacement.

Considérons, à présent, la portion du diagramme de la montre *A*, comprise entre le 1 Novembre 1898 et le 3 Janvier 1899. Nous voyons que la marche α est d'abord une avance à peu près constante, puis qu'elle devient brusquement un retard, à partir du 3 Janvier; et que ce retard diminue progressivement jusqu'au 5 Avril 1899, où il est nul et se transforme de nouveau en une faible avance. Comment interpréter ce mouvement qui se manifeste dans tous les diagrammes?

Certes, nous l'expliquerions, si nous admettions que les distances lunaires, mesurées le 1^r et le 4 Janvier, sont entachées d'erreurs. En effet, les diagrammes seraient tout autres, si l'on ne faisait pas usage de l'état absolu, déduit des observations lunaires, pour le 3 Janvier. Mais, nos mesures du 1^r et du 4 Janvier ont des résultats si concordants, que nous ne pouvons les écarter à aucun prix.

D'ailleurs, l'écart des marches, entre le 1^r Novembre 1898 et le 3 Janvier 1899, n'est pas tel qu'il puisse nous surprendre; du moins en ce qui concerne les montres *A* et *B*. Il se pourrait que, pendant cet intervalle de temps, relativement considérable et correspondant à l'arrivée de l'été austral, les changements dans la marche se soient opérés plus régulièrement que nous ne le supposons.

En effet, que signifient nos diagrammes? Le diagramme de *A* s'obtient à l'aide des valeurs probables de α déduites de tous les chronomètres. Or, comme la méthode employée (2) combine toutes les marches d'une façon assez arbitraire; comme l'observateur, faute d'indications précises, doit souvent faire des hypothèses sur des valeurs de α_a , α_b , α_c , α_s à écarter éventuellement; comme une valeur quelconque, adoptée pour α , influe sur toutes celles qu'on obtiendra dans la suite; comme enfin la marche réduite du régulateur se déduit de la marche adoptée en cours de route;

(1) Nous agissons comme il a été exposé dans la note placée au bas de la page 52.

(2) Mode d'utilisation des comparaisons; pages 14 et suivantes du présent mémoire.

il ne serait pas surprenant que l'allure réelle des diagrammes soit autre que celui que nous représentons.

Mais il ne faut pas conclure de ce qui précède que l'observateur s'est laissé guider, par la fantaisie, pour admettre ou écarter éventuellement l'une ou l'autre des valeurs de a_a , a_b , a_c , a_s . Il s'est basé, au contraire sur des remarques minutieuses, trop nombreuses pour être inscrites dans le journal des comparaisons, mais qu'il avait présentes à la mémoire, à la fin de chacune des périodes (¹).

Et ce que nous venons de dire, pour le diagramme *A*, doit évidemment s'appliquer aux diagrammes *B* et *C*, qui s'en déduisent.

En résumé, nos diagrammes n'ont qu'une faible signification pratique. En les traçant, nous avons pu, en cours de route, nous faire une idée de la marche de nos montres. A cela seulement, s'est bornée leur utilité. Il serait absurde, au retour, de les utiliser pour en déduire des formules de correction, qui ne nous apprendraient rien de neuf et n'ajouteraient, en aucun cas, à la précision de nos résultats.

Enfin, à la planche IV, nous avons représenté les diagrammes en remplaçant, les polygones par une courbe qui suit le plus exactement possible leurs sinuosités. Nous nous sommes abstenu de tracer le diagramme des marches diurnes moyennes, parce que ce diagramme ne nous aurait conduits à aucune conclusion.

(¹) Ainsi, il n'était pas possible de tenir compte de tous les chocs, et cependant nous savions qu'ils avaient des influences différentes sur chacune des montres. Le chronomètre *C*, très ancien, subissait des sauts, chaque fois qu'on le transportait à terre, ou qu'on le déplaçait à bord (on s'en apercevait en prenant des comparaisons avec *A* et *B*, avant et après le déplacement). La montre *B*, au contraire, fut longtemps insensible à ces déplacements, et, chose curieuse, elle n'accusa jamais de troubles, lorsqu'on la transporta sur la banquise par des températures qui atteignaient 25,5 degrés au-dessous de zéro. Mais, en 1899, à notre retour à Punta-Arenas, le chronomètre *B* subit des sauts au moindre déplacement.

CHAPITRE VI.

CONCLUSIONS.

Nous avons fait connaître la composition de notre matériel, et nous avons indiqué les méthodes de calcul utilisées.

Pour faire œuvre utile, pour que notre expérience serve aux expéditions à venir, nous considérons qu'il est de notre devoir de nous appesentir sur les critiques de notre travail.

Il eût été avantageux d'avoir plus de montres; nous aurions dû disposer de :

- a) Six grands chronomètres, dont quatre réglés sur le temps moyen, et deux, avec contact électrique, réglés sur le temps sidéral ;
- b) Deux compteurs de marine ;
- c) Trois montres de torpilleur ;
- d) Trois véritables chronomètres de poche.

Les grands chronomètres, réglés sur le temps moyen, n'auraient jamais été déplacés; ils auraient servi de base aux calculs d'heures. Les deux chronomètres sidéraux auraient été rarement déplacés, et, en principe, pour les mesures pendulaires seulement (¹). Si la marche n'en avait pas été troublée par le courant électrique, ils auraient éventuellement contribué au calcul des marches diurnes probables des chronomètres réglés sur le temps moyen. Les deux compteurs de marine auraient servi au transport de l'heure, soit lorsque nous effectuions des observations à l'horizon artificiel dans les ports; soit pour nos observations astronomiques et magnétiques, lors de nos débarquements à terre et sur la banquise.

Les montres de torpilleur auraient été utilisées dans les débarquements difficiles ou pour l'exécution de marche à petite distance du navire ou de la station d'hivernage. Enfin, les chronomètres de poche auraient été destinés aux débarquements prolongés loin du navire, et éventuellement aux grandes marches sur la banquise.

J'insiste vivement sur les considérations qui précèdent; car, en ce qui concerne les montres, il ne faut pas hésiter à se munir des instruments nécessaires. Nous n'avions qu'une seule montre de torpilleur, et un accident la mit hors de service, dès le début de la campagne. Comme nous ne possédions pas de compteur de marine, nous avons été obligés de nous servir du chronomètre *B*, pour le transport de l'heure.

Que serait-il arrivé si notre navire avait été écrasé par les glaces, et si, dans notre fuite vers la Terre de Graham, nous avions été astreints à emporter nos grands chronomètres sur des

(1) Lorsque nous traiterons la question des mesures pendulaires, nous reviendrons assez longuement sur la discussion du choix des chronomètres et des pendules à utiliser, dans l'Antarctique, pour ce genre d'observation.

traîneaux? Au bout de bien peu de temps, ces montres se seraient arrêtées sous l'action du froid, et sous l'influence des chocs que nous n'aurions pu leur éviter, lorsque nous franchissions des hummocks ou des crevasses, ou encore lorsque, à l'aide de nos canots, nous gagnions la rive opposée des lacs.

Et si les circonstances n'étaient pas venu modifier notre projet d'établir une station d'hivernage à la Terre Victoria, tandis que le navire regagnait l'Australie, ne nous serions nous pas trouvés dans une situation difficile? — A la station d'hivernage, nous aurions dû laisser les chronomètres *C* et *S* ainsi que la montre de torpilleur; il ne nous serait donc resté, sur la *BELGICA*, que les chronomètres *A* et *B*, insuffisants si nous avions été fait prisonniers dans la banquise, à l'entrée de la Mer de Ross (¹).

Et si même l'on admet que la montre de torpilleur était intacte, si l'on ne tient pas compte de ce fait que le chronomètre *S* a été embarqué, après coup, à Rio de Janeiro, sans avoir été commandé, avant notre départ d'Europe, il est encore évident que la station à la Terre Victoria se fût faite dans des conditions défectueuses, notamment pour entreprendre la marche projetée vers le pôle magnétique Austral.

En tenant compte de l'importance du service des montres pour la conduite du navire, de la nécessité des observations astronomiques et des observations relatives à la Physique du Globe, on ne peut contester que le nombre de montres que nous fixons comme minimum pour une expédition polaire, soit loin d'être exagéré.

La boîte des chronomètres était trop petite, parce qu'elle ne devait primitivement contenir que les chronomètres *A*, *B* et *C*, les seuls que nous possédions en quittant la Belgique. Lorsque nous embarquâmes, à Rio de Janeiro, le chronomètre *S*, il fallut le placer dans une caisse spéciale, fixée à la boîte des autres montres, alors qu'il eût été préférable de n'avoir qu'une seule armoire. De plus, ces boîtes auraient dû être entourées de matières calorifuges, afin d'y maintenir une température constante; et elles auraient dû contenir un thermomètre enregistreur, qui nous permit de recueillir, d'une façon continue, des données exactes sur les variations de la température du lieu où se trouvaient nos montres.

Nous aurions dû également posséder quelques boîtes recouvertes d'une épaisse couche de feutre, spécialement destinées au transport de l'heure dans les régions froides.

Mais, de tous ces inconvénients, celui que nous avons déploré le plus vivement, c'est que nos montres n'aient pas été étudiées d'une façon assez approfondie, avant le départ d'Europe (²).

La lunette, qui nous servait aux observations astronomiques, n'était pas assez puissante; nous avons dit d'ailleurs que c'était celle dont se servait le capitaine du *PATRIA* pour apercevoir au loin les phoques.

Enfin, notre horizon artificiel liquide présentait deux inconvénients : il avait un toit dont

(¹) Nous avions une probabilité d'autant plus grande d'être fait prisonniers dans ce pack que le débarquement à la Terre Victoria devait se faire lorsque la saison était déjà avancée.

(²) Presque toutes les expéditions se trouvent dans des cas analogues : les derniers mois sont consacrés aux préparatifs de départ, à l'armement du navire, à l'équipement du personnel et à l'embarquement de la cargaison. Une expédition, dont le capital est en partie recueilli par une souscription publique, est astreinte à des préoccupations d'un ordre étranger aux questions scientifiques. Une exploration polaire doit être préparée avec un soin minutieux : les moindres oubli peuvent avoir des conséquences désastreuses.

les rebords trop hauts empêchaient d'observer les astres voisins de l'horizon, et il ne pouvait se déplacer sans que le mercure soit, au préalable, enlevé (¹).

Les critiques, que nous venons de formuler, se rapportent à des éventualités, qui heureusement ne se sont pas réalisées ; elles ont uniquement pour objet d'attirer l'attention des探索者 sur la nécessité de posséder un matériel scientifique considérable. En ce qui nous concerne, les circonstances ont rendu très suffisants les instruments dont nous disposions. La preuve la plus évidente de cette assertion se manifeste dans le fait qu'après une absence de 15 mois, sans relâcher en un point dont les coordonnées géographiques étaient connues, sans établir, pour quelque temps, à terre, des instruments méridiens portatifs, nous avons obtenu, à Punta-Arenas, une valeur de l'état absolu, déduit d'observations astronomiques, sensiblement égale à celle que nos mesures, dans la banquise, nous avaient fait à adopter, en cours de route. Toutefois, nous nous gardons bien d'exagérer la précision de nos résultats et de déclarer que nos déductions sont d'une exactitude mathématique. Personnellement, nous ne croyons pas à la possibilité de cette exactitude mathématique que beaucoup de voyageurs attribuent, de bonne foi d'ailleurs, à leurs conclusions. Il existe évidemment des corrections, qu'on applique avec logique dans les observatoires, mais qui sont totalement inutiles, et parfois même nuisibles, lorsqu'on en tient compte en campagne (²).

Les chocs du navire contre les glaces, le roulis, le tangage, les variations brusques de la température sont autant de causes de perturbation dont les effets ne peuvent être appréciés.

(¹) Nous avons insisté sur ce dernier inconvénient, lorsque nous avons traité la question des distances lunaires.

Il existe actuellement des horizons artificiels liquides où le mercure reste constamment dans la cuvette. Celle-ci est fermée à sa partie supérieure par une glace, dont les faces sont rigoureusement parallèles, et elle possède, à sa partie inférieure, une vis, analogue à celle du baromètre de Fortin. Pour le transport, la vis est serrée et le mercure vient s'appuyer sur la glace ; pour la mise en station, la vis est simplement déserrée. Avec ces horizons artificiels, il n'est pas nécessaire de nettoyer le mercure, opération très délicate, avons-nous dit, lorsque la température est de 25 ou 30 degrés au-dessous de zéro.

(²) Extrait des notes de l'Amiral Mouchez :

« C'est précisément au moment où s'est produite cette très grande amélioration en chronométrie, qui rend le plus souvent inutiles toutes les recherches de variations, qu'on a vu se produire tant de travaux sur cette question et proposer certaines formules de correction aussi compliquées qu'inapplicables. Des auteurs, beaucoup plus versés dans la théorie que dans la pratique, en sont venus à traiter bien gratuitement les courbes des marches des chronomètres comme des courbes géométriques, telles que celles décrites par les planètes autour du soleil. C'est évidemment là une grande erreur. Les formules d'interpolation et de continuité comme la série de Taylor, ne peuvent s'appliquer utilement qu'à des courbes régulières, susceptibles de définitions mathématiques, et nullement à celles qui sont soumises à des variations accidentelles nombreuses comme celles qui affectent la marche d'un chronomètre à la mer. La température seule produit sur elle des variations assez régulières pour qu'on puisse jusqu'à un certain point les calculer.

» Quand on veut déterminer l'orbite d'un astre, on sait, à priori, que cette courbe est régulière et soumise à des lois mathématiques ; on est donc certain que si les observations servant à sa détermination ne s'accordent pas parfaitement entre elles et donnent une courbe sinuuse, cela provient des erreurs de ces observations et non des irrégularités de la courbe ; il est donc naturel de corriger ces observations, les unes par les autres, à l'aide de formules de continuité, pour obtenir la courbe régulière moyenne, la plus probable, rendant la somme des erreurs minimum. Mais, pour les chronomètres, c'est tout le contraire : on sait, à priori, que les observations sont exactes, et que si elles ne donnent pas une courbe régulière, cela ne provient que des irrégularités de cette courbe produites par des causes très variées ; il est donc illogique d'altérer les premières pour obtenir un résultat qui n'a aucun rapport avec la réalité, et la dernière observation de marche diurne observée donnera toujours un meilleur résultat que celui qu'on pourrait conclure d'observations plus anciennes, par les formules théoriques, en apparence, les plus exactes. »

Nous ne nous sommes jamais dissimulé qu'il y a un écart sensible entre la théorie et la réalité; aussi, pour nous faire une idée de l'approximation de nos résultats avons-nous évalué l'écart maximum probable, chaque fois que les circonstances nous le permettaient.

Qu'on ne perde pas de vue que, si 10 secondes d'erreur, dans l'état des chronomètres, se reportent intégralement sur la longitude et correspondent à une erreur de position de 2,5 milles sur l'équateur, par la latitude où nous nous trouvions, elles ne constituaient une erreur de position que de 0,79 mille, c'est-à-dire de moins d'un mille. Or, il est évident que, dans une région comme l'Antarctique, on peut admettre une approximation beaucoup moindre. Les courbes bathymétriques seront suffisamment bien tracées, en pratique, si les sondages ne sont pas rigoureusement répartis, surtout, si l'erreur de leur emplacement est systématique. Ce n'est pas ce léger déplacement qui modifiera la conception que l'on doit se faire du fond de la mer; ce n'est pas cela qui diminuera la valeur des dragages, des pêches, des mesures de température de la mer, à diverses profondeurs, des déterminations de la densité de l'eau, etc., etc.

Qu'on se souvienne aussi que notre champ de glace et notre navire ne constituaient pas un observatoire, mais une épave entraînée par les mouvements de la banquise, et l'on se rappellera que, dans ces conditions, le réglage des chronomètres est une opération très délicate.

Les observations méridiennes, comme les culminations lunaires, sont impraticables, parce que l'instrument méridien ne garde pas d'orientation fixe; les éclipses des satellites de Jupiter, surtout lorsqu'elles sont observées à l'aide de faibles lunettes, laissent du doute sur le moment précis de la disparition ou de la réapparition; la méthode des distances lunaires nécessite la connaissance de la latitude, pour le moment de la mesure; la méthode des occultations d'étoiles par la lune exige la détermination préalable de la latitude et le calcul de l'état absolu, par rapport au temps local; or, ces différentes déterminations peuvent rarement se faire avec une grande précision.

Ainsi les chronomètres subissent, dans leur marche, des perturbations qu'on ne peut prévoir, les méthodes de calcul ne sont pas applicables dans toute leur rigueur, et certaines de ces méthodes ne peuvent conduire qu'à de faibles approximations⁽¹⁾; enfin, il s'écoule un temps considérable entre deux déterminations d'état absolu du régulateur.

Dans ces conditions, n'avons-nous pas poussé trop loin nos calculs; par exemple, n'avons-nous pas pris trop de chiffres décimaux dans nos logarithmes et n'avons-nous pas eu tort d'inscrire, dans notre journal, les états absous, avec les centièmes de seconde?

Nous avons dit et nous répétons que nous sommes loin de croire que l'exactitude de nos observations va jusqu'aux centièmes de secondes; nous déclarons même en toute franchise que si nos séries d'observations, prises au sextant, ont parfois une concordance extraordinaire, nous considérons que ce fait est dû au hasard. Et même si, en plaçant le sextant sur un pied, nous avons pu obtenir une série de résultats, pour ainsi dire identiques, nous ne sommes pas en droit de conclure que la moyenne de ces résultats est exacte au centième de seconde. Il existe, en effet, dans le point de départ de nos calculs, des erreurs qui se reportent intégralement, sur toutes les mesures, d'une façon systématique; ce sont des erreurs personnelles et des erreurs

(1) Si l'on suppose que l'erreur commise sur la mesure d'une distance luni-solaire est égale au degré d'approximation du sextant, c'est-à-dire égale à 10", l'erreur du résultat est de 20 secondes de temps moyen. Dans de mauvaises conditions, l'erreur de la mesure peut atteindre 30", même pour un bon observateur.

instrumentales ; ce sont des coordonnées géographiques qui ne sont pas rigoureuses et que nous avons dû admettre comme point de départ de certains calculs.

Si, dans ces conditions, nous avons poussé un peu loin nos calculs, nous avons eu en vue de réduire le plus possible les erreurs dues aux méthodes employées. Lorsque nous déterminions des états absolus aux centièmes de seconde, nous ne comptions pas sur une telle approximation ; mais, comme les circonstances atmosphériques étaient peu favorables aux calculs de l'heure du premier méridien, les observations étaient espacées et nous craignions que des fractions de secondes négligées ne produisent au bout d'un certain temps, une erreur considérable.

Enfin un dernier point, sur lequel nous devons insister dans ce mémoire, c'est l'importance qu'il convient d'attacher à la préparation de toute expédition.

Aucune règle générale ne peut être donnée : le voyageur doit avant tout se convaincre du but de sa mission, et se faire un programme de travail.

S'il s'agit de terrains à acquérir, de délimitation de frontières, de voyage commercial ou industriel ; s'il s'agit d'une mission scientifique dans une région inexplorée, ou d'observations de détails, dans une contrée déjà connue ; si les observations doivent se faire en mer ou sur une banquise en mouvement ; les méthodes d'observations et les préparatifs seront absolument différents.

Ce qui est essentiel, c'est que le voyageur soit prêt, avant le départ : il faut qu'il ait manié ses instruments, et, si possible, déterminé lui-même les constantes de ses appareils ; il doit avoir lu plus d'un livre et posséder admirablement la théorie des travaux qu'il va entreprendre ; car en campagne il ne doit plus apprendre, il ne doit faire qu'appliquer.

Pour les observations courantes, il faut des registres et des carnets tout préparés, où les données puissent être inscrites sans oubli et presque machinalement. Et, pour que ces carnets soient logiquement tenus, le voyageur doit avoir choisi, par anticipation, ses formules de réduction, les avoir vérifiées et les avoir portées en tête de ses observations. Si, en cours de route il utilise une méthode nouvelle, il doit en rédiger le schéma et noter, dès qu'il le peut, les considérations qui l'ont conduit à l'emploi de cette méthode.

De cette manière, si la mort le surprend avant l'achèvement de sa mission, ses travaux ne seront pas perdus : un autre pourra les faire connaître et les utiliser.

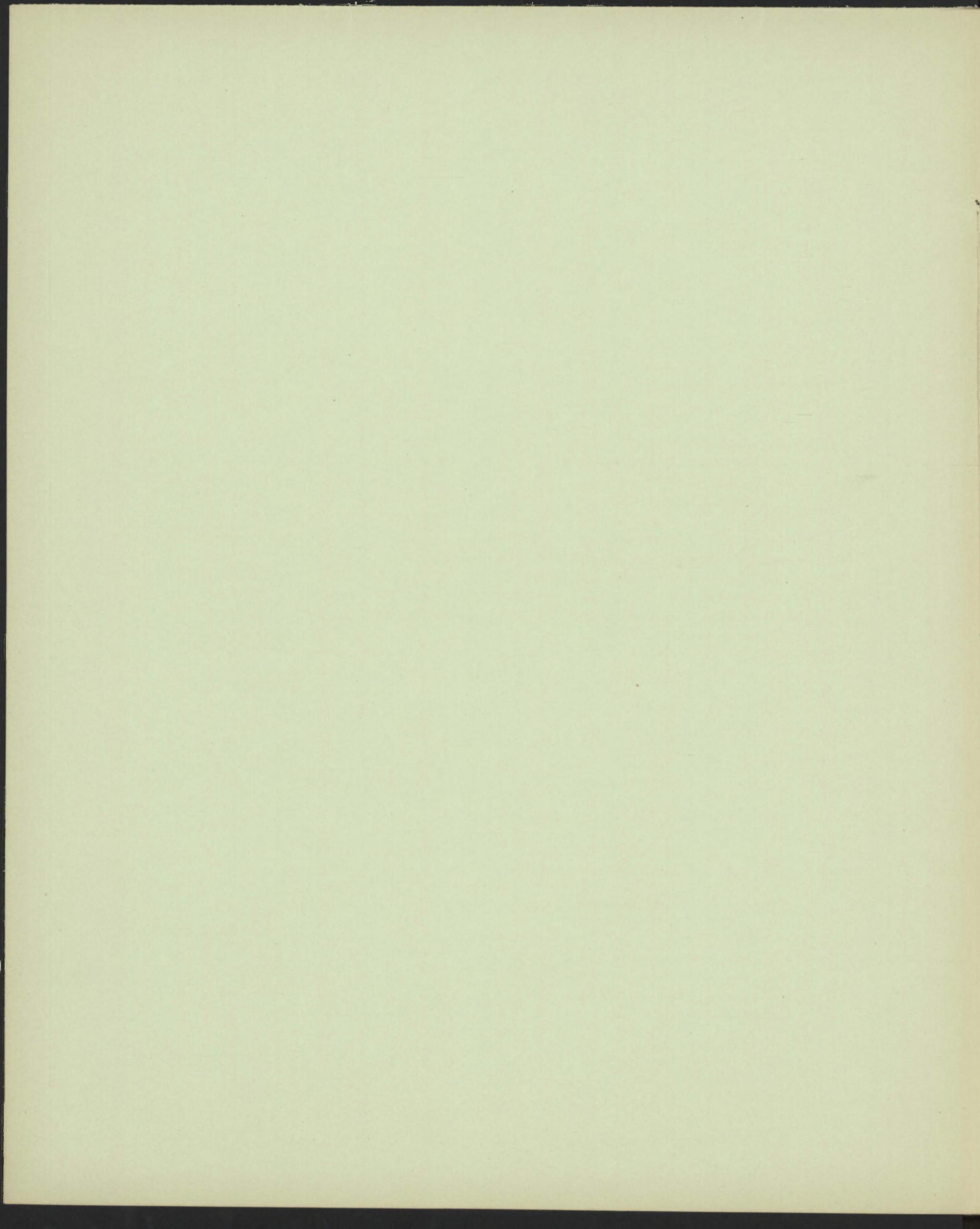
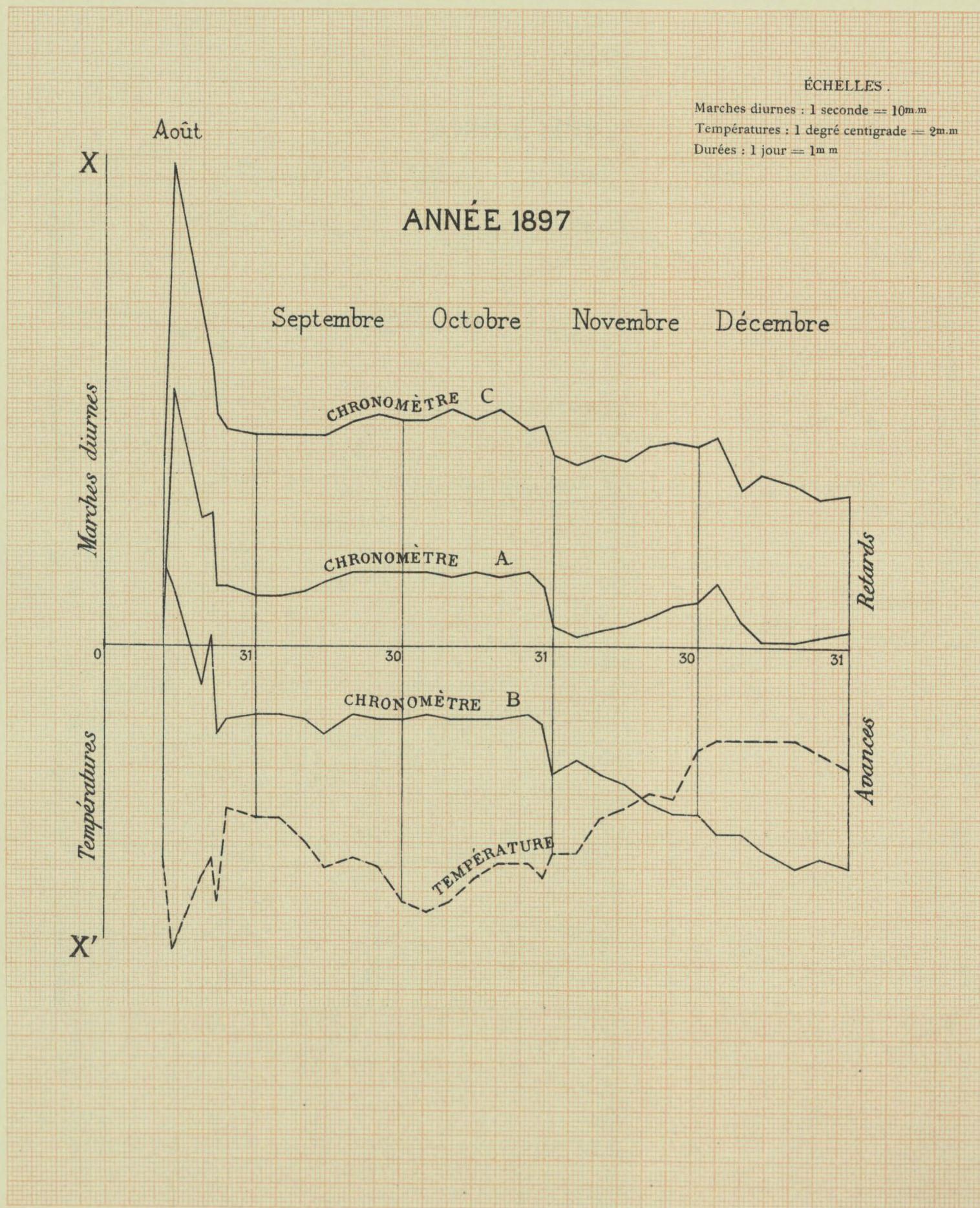


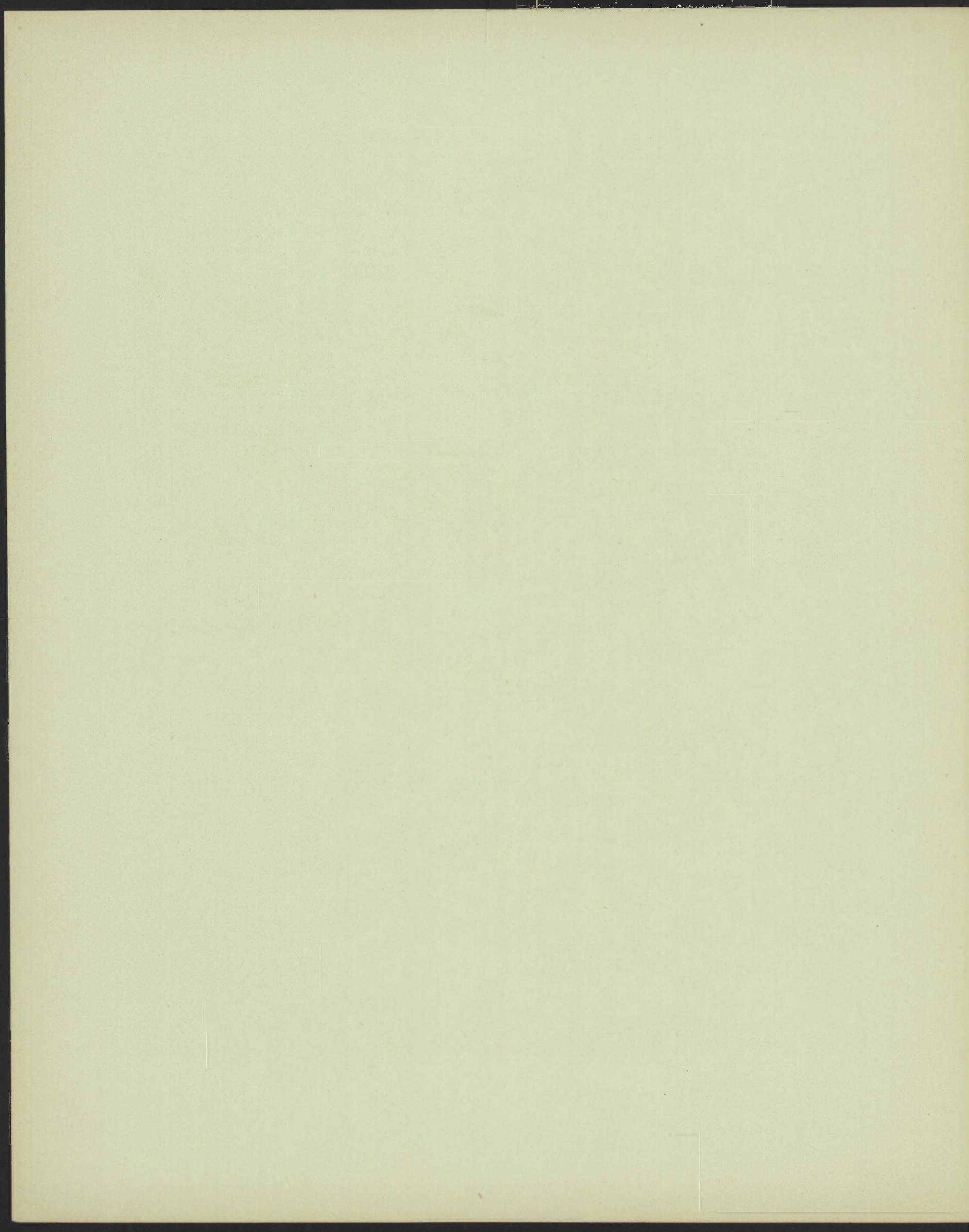
TABLE DES MATIÈRES

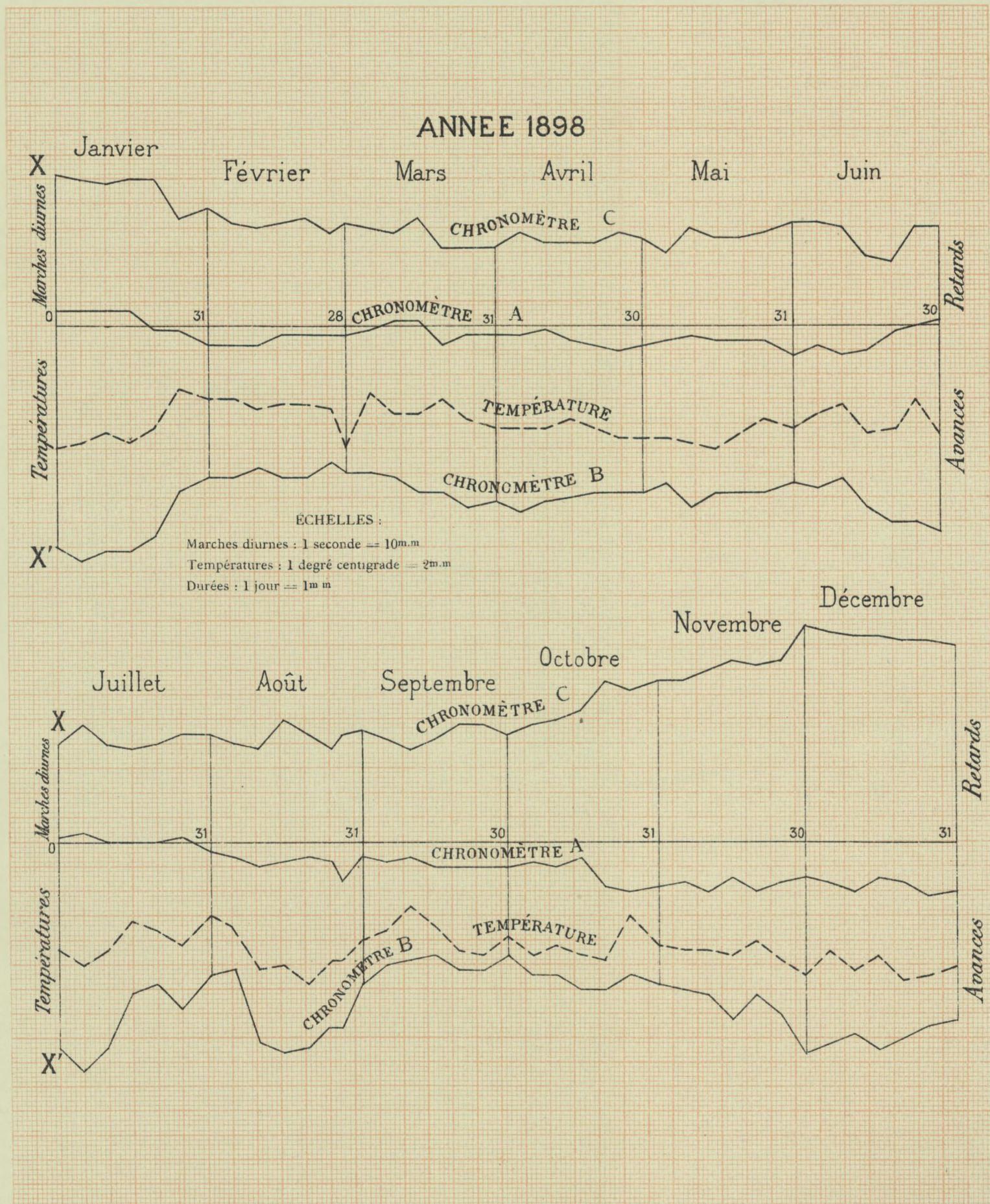
	Pages
Introduction	3
CHAPITRE I. — PRINCIPES FONDAMENTAUX.	
A. — Chronomètres embarqués	5
B. — Installation des chronomètres à bord	8
C. — Étude préliminaire	8
D. — Comparaisons journalières	10
I. — Définitions et conventions	10
II. — Comparaisons des chronomètres réglés sur le temps moyen	11
III. — Comparaisons du chronomètre réglé sur le temps sidéral	12
E. — Mode d'utilisation des comparaisons	14
F. — États adoptés en cours de route	16
G. — Marches réduites du régulateur et états absous après réduction	17
H. — Marches d'origine	19
CHAPITRE II. — INSTRUMENTS UTILISÉS POUR LE RÉGLAGE DES CHRONOMÈTRES.	
A. — Sextant et pied de l'instrument	21
B. — Horizon artificiel liquide	23
C. — Horizon artificiel à glace	24
D. — Lunette astronomique	24
E. — Théodolite de Brunner	24
CHAPITRE III. — OSERVATOIRES SUR LA BANQUISE.	
A. — Premier observatoire astronomique	25
B. — Deuxième observatoire astronomique	31
CHAPITRE IV. — MÉTHODES EMPLOYÉES POUR LE RÉGLAGE DES CHRONOMÈTRES.	
A. — Méthode de l'angle horaire	32
B. — Méthode des comparaisons	37
C. — Méthode des phénomènes des satellites de Jupiter	38
D. — Méthode des occultations d'étoiles par la Lune	39
E. — Méthode des distances lunaires	44

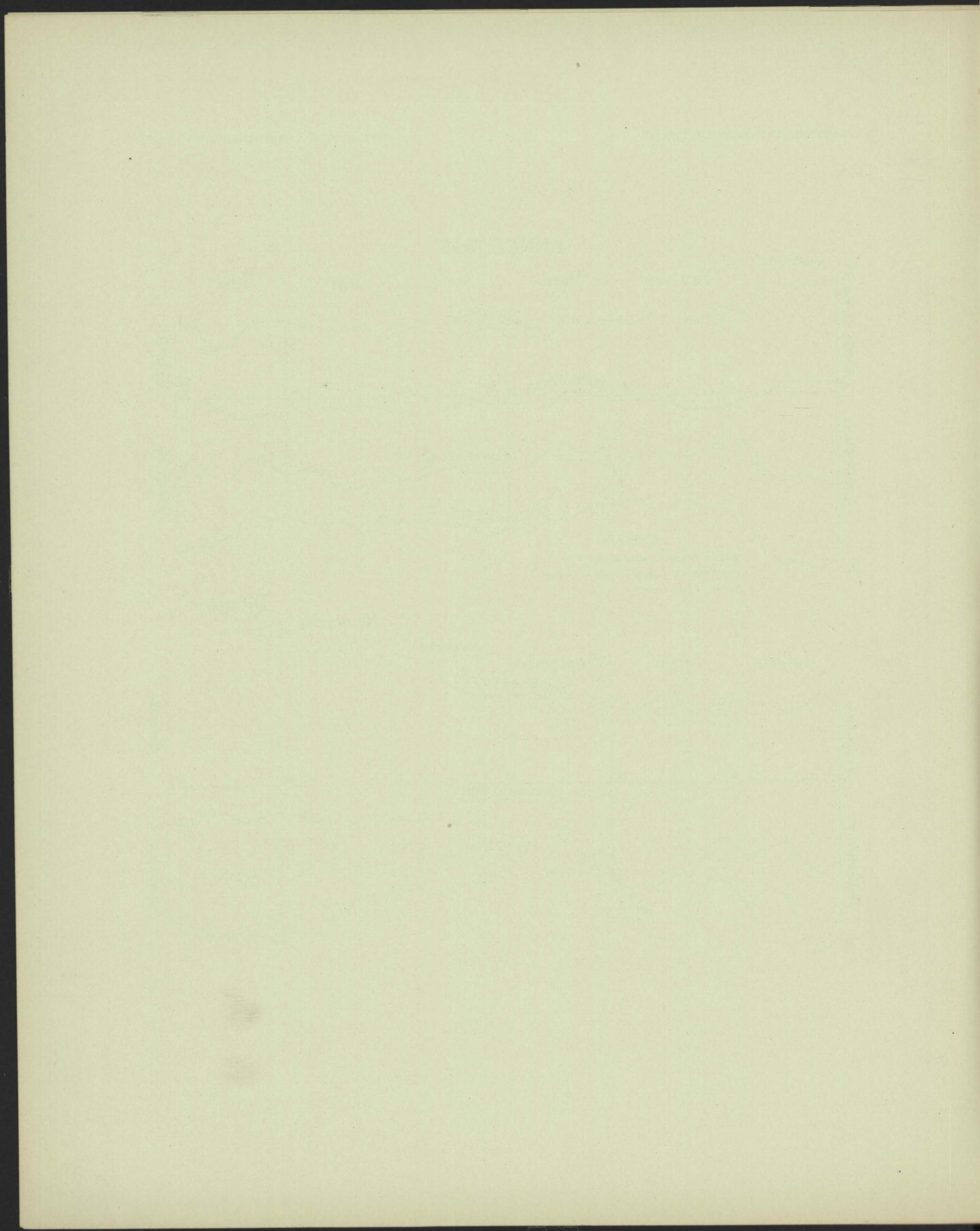
CHAPITRE V. — DIAGRAMMES.

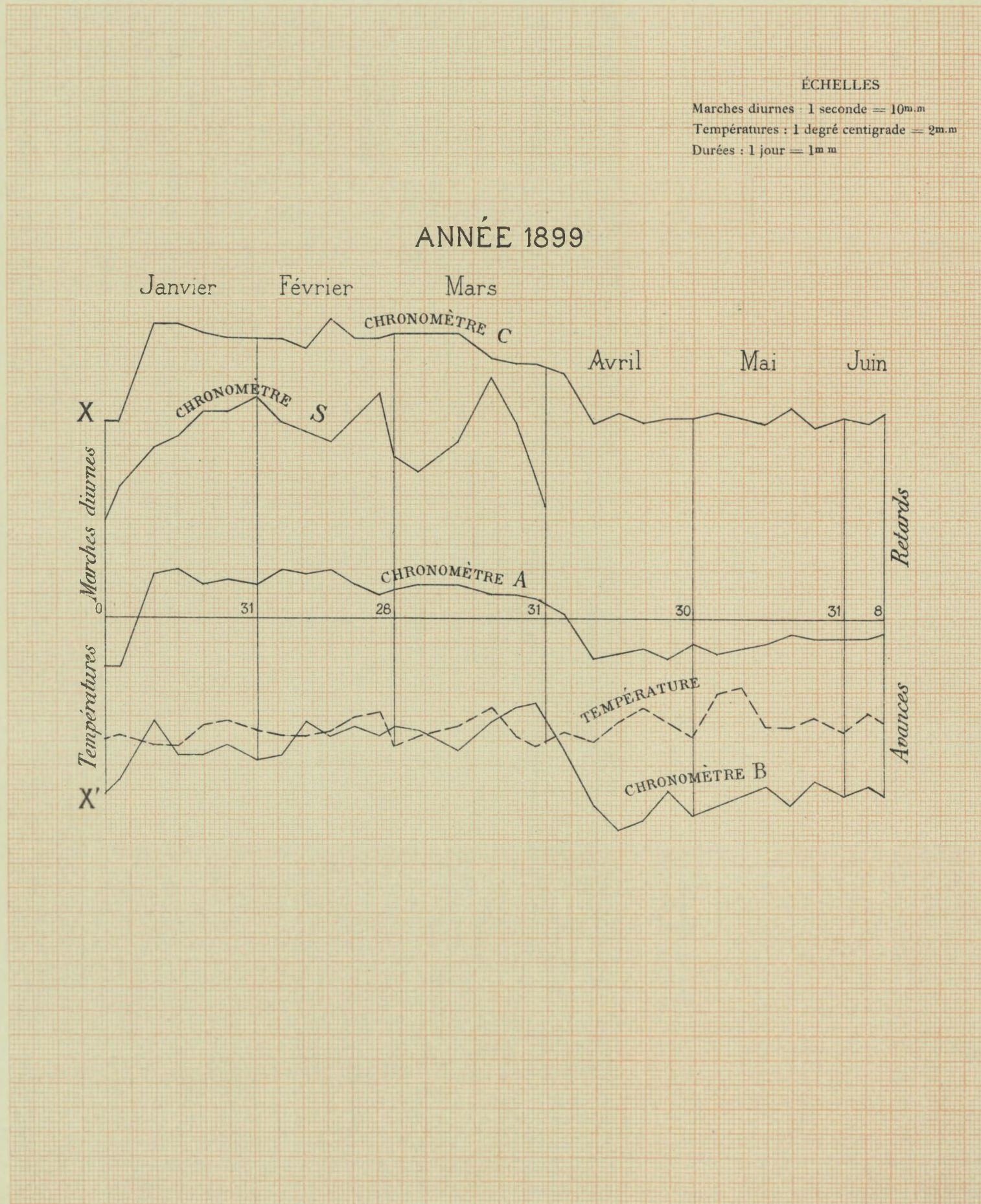
Tracé des diagrammes	49
Diagrammes des montres <i>D</i> et <i>S</i>	49
Particularités des diagrammes au début et à la fin de la campagne.	50
Discussion des diagrammes	50
CHAPITRE VI. — CONCLUSIONS	55

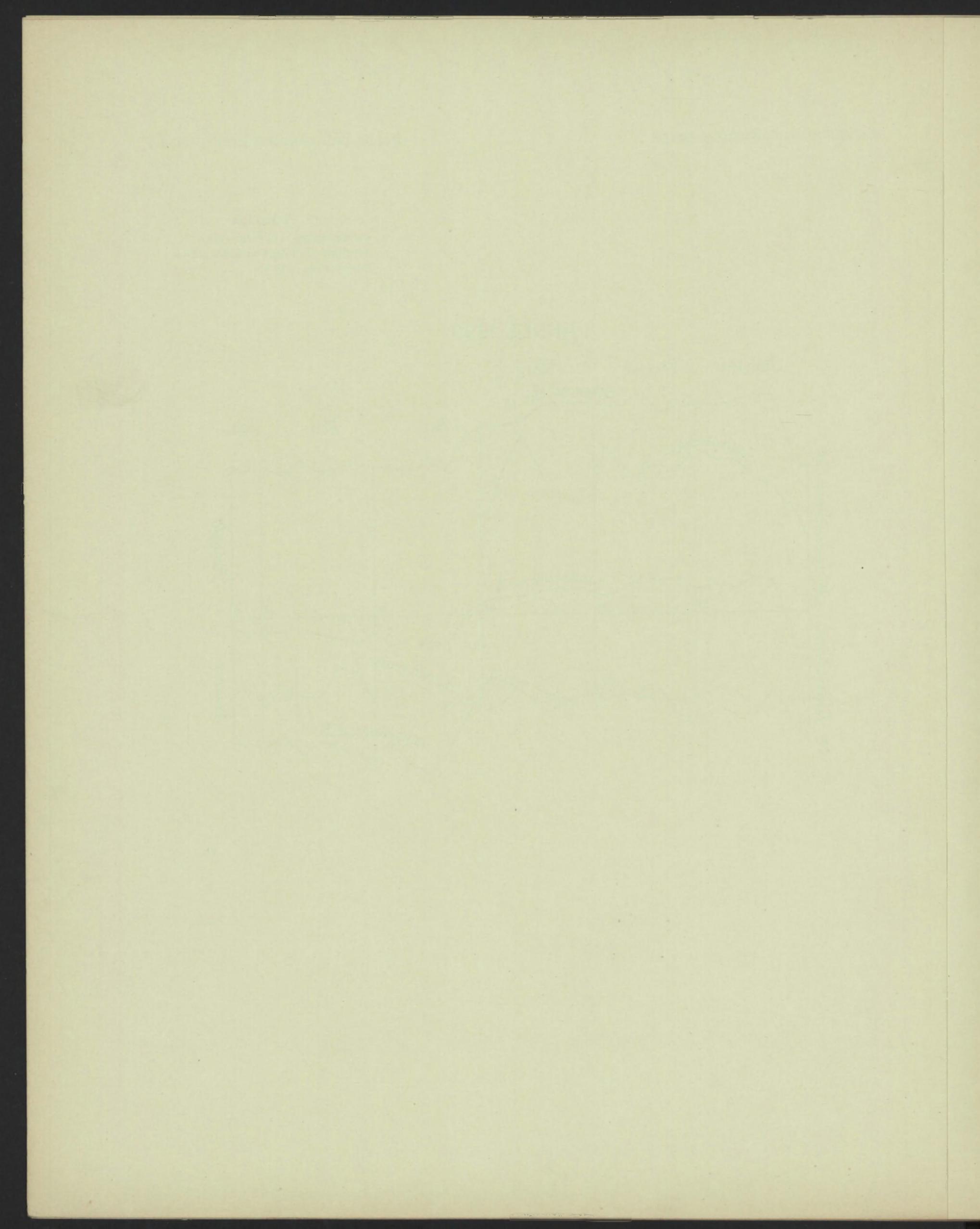


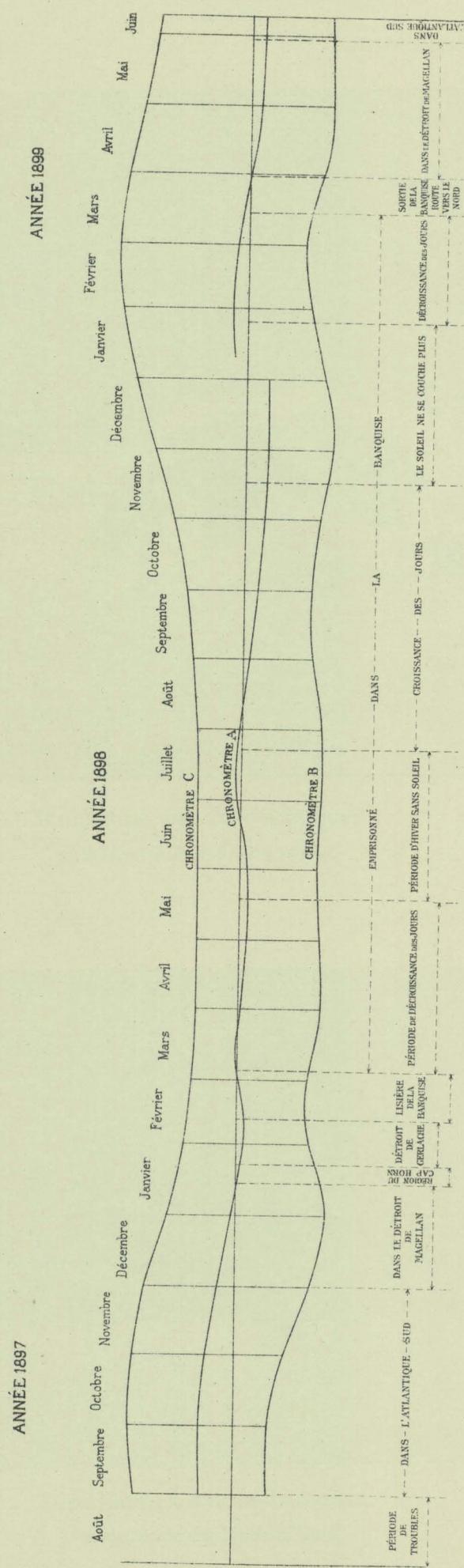


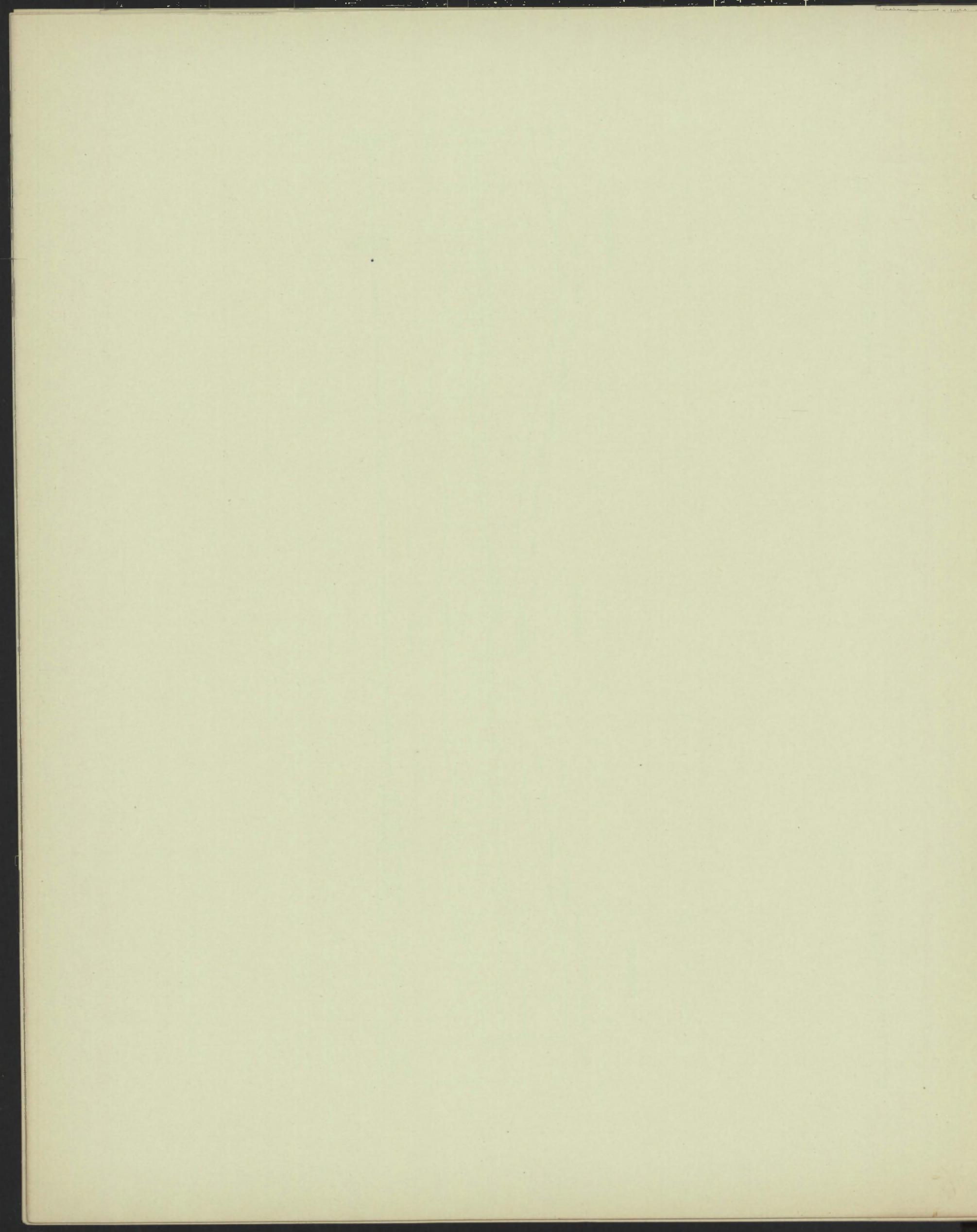


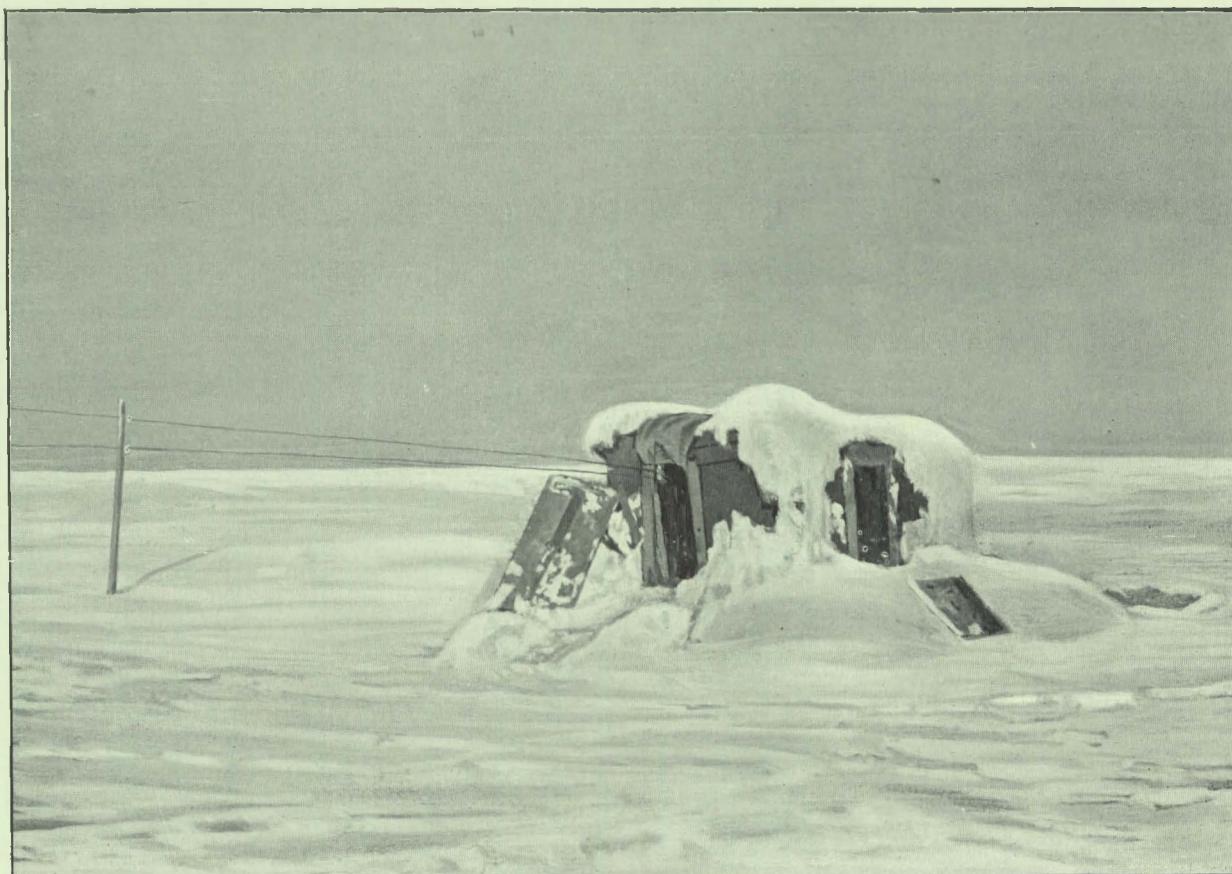












L'observatoire astronomique.

(Photographie de G. Lecointe).



Installations sur la banquise.

(Photographie du Docteur Cook).

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 RECUÉILLIS, 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 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
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 M^{me} BOMMER et ROUSSEAU.
LICHENS, par E. A. WAINIO.

*HÉPATIQUES, par F. STEPHANI
*MOUSSES, par J. CARDOT
CRYPTOGAMES VASCULAIRES, par M^{me} BOMMER.
PHANÉROGAMES, par E. DE WILDEMAN.

Zoologie.

- | | |
|--|---|
| FORAMINIFÉRES, par A. KEMNA et VAN DEN BROECK. | CRUSTACÉS DÉCAPODES, par H. COUTIÈRE. |
| RADIOLAIRES, par FR. DREYER. | PYCGNOGONIDES, par G. PFEFFER. |
| TINTINOIDES, par K. BRANDT. | ACARIENS LIBRES, par A. D. MICHAEL et DR TROUESSART. |
| *SPONGIAIRES, par E. TOPSENT. | ACARIENS PARASITES, par G. NEUMANN. |
| HYDRAIRES, par C. HARTLAUB. | ARANÉIDES, par E. SIMON. |
| HYDROCORAILLAIRES, par E. v. MARENZELLER. | MYRIAPODES, par C. v. ATTENMS. |
| SIPHONOPHORES, par C. CHUN. | COLLEMBOLES, par V. WILLE. |
| MÉDUSES, par L. SCHULTZE. | ORTHOPTÈRES, par BRUNNER VON WATTENWYL. |
| ALCYONAIRES, par TH. STUDER. | HÉMIPTÈRES, par E. BERGROTH. |
| PÉNNATULIDES, par H. F. E. JUNGERSEN. | PÉDICULIDES, par V. WILLE. |
| ACTINIAIRES, par O. CARLGREN. | DIPTÈRES, par J. C. JACOBS. |
| MADRÉPORAIRES, par E. v. MARENZELLER. | COLÉOPTÈRES, par SCHOUTEDEN, E. ROUSSEAU, A. GROU- |
| CTÉNOPHORES, par C. CHUN. | VELLE, E. OLIVIER, A. LAMEERE, BOILEAU, E. BRENSKE, |
| HOLOTHURIDES, par E. HÉROUARD. | BOURGEOIS et FAIRMAIRE. |
| ASTÉRIDES, par H. LUDWIG. | HYMÉNOPTÈRES, par C. EMERY, TOSQUINET, E. ANDRÉ et |
| *ÉCHINIDES ET OPHIURES, par R. KÖHLER. Frs 17,50 | J. VACHAL. |
| CRINOIDES, par J. A. BATHER. | SOLÉNOCONQUES, par L. PLATE. |
| PLANAires, par L. BÖHMIG. | GASTÉROPODES ET LAMELLIBRANCHES, par P. |
| CÉSTODES, TRÉMATODES ET ACANTHOCÉPHALES, | PELSENEER. |
| par P. CERFONTAINE. | CÉPHALOPODES, par L. JOUBIN. |
| NÉMERTES, par BÜRGER. | TUNIQUES, par E. VAN BENEDEN. |
| NÉMATODES LIBRES, par J. D. DE MAN. | POISSONS ET REPTILES, par L. DOLLO. |
| NÉMATODES PARASITES, par J. GUIART. | BILLE DES OISEAUX ANTARCTIQUES, par P. PORTIER. |
| CHAETOGNATHES, par O. STEINHAUS. | OISEAUX (<i>Biologie</i>), par E. G. RACOVITZA. |
| GÉPHYRIENS, par J. W. SPENDEL. | OISEAUX (<i>Systématique</i>), par HOWARD SAUNDERS. |
| OLIGOCHÈTES, par P. CERFONTAINE. | CÉTACÉS, par E. G. RACOVITZA. |
| POLYCHÈTES, par G. PRUVOT et E. G. RACOVITZA. | EMBRYOCÉNIE DES PINNIPÈDES, par E. VAN BENEDEN. |
| BRYOZOAIRES, par A. W. WATERS. | ORGANOGÉNIE DES PINNIPÈDES, par BRACHET et |
| *BRACHIOPODES, par L. JOUBIN. | LEBOUCQ. |
| ROTIFÈRES ET TARDIGRADES, par C. ZELINKA. | ENCÉPHALE DES PINNIPÈDES, par BRACHET. |
| PHYLLOPODES, par HÉROUARD. | PINNIPÈDES (<i>Biologie</i>), par E. G. RACOVITZA. |
| OSTRACODES, par G. W. MÜLLER. | *PINNIPÈDES (<i>Systématique</i>), par |
| COPÉPODES, par W. GIESBRECHT. | E. BARRETT-HAMILTON Frs 4,00 |
| CIRRIPÈDES, par P. P. C. HOEK. | BACTÉRIES DE L'INTESTIN DES ANIMAUX ANT- |
| CRUSTACÉS ÉDRYOPHTHALMES, par J. BONNIER. | ARCTIQUES, par J. CANTACUZÈNE. |
| SCHIZOPODES ET CUMACÉS, par H. J. HANSEN. | |

VOLUME X.

ANTHROPOLOGIE.

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

REMARQUES. — Par la suite plusieurs autres mémoires s'ajouteront à cette liste.

Il ne sera éventuellement mis en vente que cinquante collections complètes des mémoires. Ceux-ci pourront être acquis, séparément, aux prix indiqués sur la présente couverture :

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