

Eigendom van het
Westvlaams Economisch Studiebureau
Brugge. Reeks ✓ Boek

**SVENSKA
HYDROGRAFISK-BIOLOGISKA KOMMISSIONENS
SKRIFTER**

Ny serie: Hydrografi. I.



P419

N:o 1. *VILHELM I. PETTERSSON*: Étude de la Statistique Hydrographique du Bulletin Atlantique du Conseil International pour l'Exploration de la Mer.

ÉTUDE DE LA STATISTIQUE HYDROGRAPHIQUE DU BULLETIN ATLANTIQUE DU CONSEIL INTERNATIONAL POUR L'EXPLORATION DE LA MER.

DISCOURS TENU A LA RÉUNION DU CONSEIL LE 4 SEPTEMBRE 1925 À COPENHAGUE
PAR V. PETTERSSON.



P. 119

INTRODUCTION.

LE Conseil International pour l'Exploration de la Mer a publié, en 1919, dans le Bulletin Atlantique, les résultats des observations de la température de surface de l'Atlantique Nord dans certains carrés marqués sur la carte ci-jointe, (Pl. I) pour la période de 14 années: de 1900 à 1914.

Dans l'introduction de ce Bulletin Atlantique (p. 5—7), se trouve une courte relation de l'origine de ce travail important qui, en effet, peut être regardé comme une continuation des investigations précédentes depuis l'année 1870 où apparut l'ouvrage de Petermann sur le Gulfstream, suivi successivement des traités de H. N. Dickson, O. Pettersson, P. T. Cleve, G. Ekman, J. Petersen, H. Liepe, B. Helland-Hansen et F. Nansen et tout récemment de celui de C. Ryder (1).

Le mandat pour le commencement du travail a été donné par la conférence de Bornö dans l'été 1915, convoquée par le ci-devant président O. Pettersson. Les détails de publication des tableaux et de la graphique, dressés par feu M. Gehrke sous la direction de M. M. Knudsen, ont été finalement réglés à la conférence de Copenhague en mai 1918.

Mon présent travail, dont ce discours va donner un exposé, se base en conséquence sur les chiffres du Bulletin pour la période de 14 années de 1900 à 1914, complétées en ce qui concerne les mois de Juin, de Juillet et d'Août pour la période de 1914 à 1924. C'est grâce aux soins de M. van Everdingen que le «Koninklijk Nederlandsch Meteorologisch Instituut» a mis très aimablement ce matériel à ma disposition.

A une exception près, dont je ferai mention plus tard, j'ai abandonné la méthode consistant en l'usage des variations calculées sur la base des moyennes de la température mensuelle et me suis mis à l'étude des variations annuelles mêmes. Cette méthode sert à diminuer le défaut d'exactitude en basant les calculs sur les moyennes d'un très grand nombre d'observations.

Dans ce but, j'ai choisi parmi les carrés d'observation, marqués sur la carte de l'Atlantique Nord, ceux qui, pendant la période entière, ont été sujets à une étude permanente, et

qui sont situés dans la région de la grande circulation de surface autour de la Mer des Sargasses aussi bien que dans la partie plus au Nord de l'Atlantique entre Terre-Neuve et l'Irlande.

Une telle investigation méthodique donnera peut-être la clef de la solution de certains phénomènes météorologiques. J'ai donc poursuivi mes études dans les domaines de la météorologie afin d'y chercher une sorte de corrélation quelconque entre la température de surface de l'Atlantique et le climat des régions côtières avoisinantes. Cette corrélation je l'ai cherchée en comparant la température de la mer, à la fois à celle de l'atmosphère dans de certaines îles océaniques, et à la statistique des pluies de l'Europe Nord-Ouest. A cet égard, je me suis servi, en premier lieu, de la statistique des pluies en Irlande et dans les Iles Britanniques du «Royal Meteorological Institution», laquelle a été aimablement mise à ma disposition par l'entremise de M. Glasspole et sur la prière de M. H. R. Mill. Le R. M. I. m'a aussi très aimablement fourni des chiffres de température de l'atmosphère à Madère et aux Bahamas.

Le Bulletin Atlantique nous donnant toutes les valeurs en chiffres qui ont servi de base à l'exposé ci-après, il est inutile de reproduire ici ces tableaux. Je me bornerai, par conséquent, à une représentation graphique des variations de la température à la surface de la mer et dans l'air ainsi que des écarts constatés dans les tombées de pluies. Ce discours ne doit être regardé comme une œuvre isolée mais comme un commentaire du Bulletin,

Dans la partie purement hydrographique de mon travail, je citerai, parmi le grand nombre de traités excellents de l'Atlantique et de ses courants, l'ouvrage de M. Wüst: «Florida und Antillenstrom» (2), dans lequel j'ai puisé bien des renseignements de la plus grande importance.

Il faut remarquer qu'en parlant des variations quelconques, j'entends toujours des écarts annuels d'une moyenne de la période même. Pour les chiffres de la statistique des pluies, les variations sont exprimées en centaines de la moyenne pour la période calculée à cent.

I. L'ATLANTIQUE NORD A L'EST DE LA MER DES SARGASSES:

LES CARRÉS D₃ ET D₂ AINSI QUE LE CARRÉ ÉQUATORIAL D₁ EN VUE D'UNE COMPARAISON

Si nous examinons d'abord les conditions régnant à l'est de la Mer des Sargasses, nous trouverons que les courbes des écarts de la température de surface correspondent partiellement entre elles dans les différents endroits d'observations (voir les carrés D₂ et D₃). Le carré D₃ est alors situé en dehors du détroit de Gibraltar à 900 minutes environs au Nord du carré D₂ (et celui-ci, à son tour, à 1200 minutes au Nord du carré équatorial D₁), mais nous voyons comment — jusqu'à l'année 1907 — les courbes de température de l'eau passent assez parallèles les unes aux autres. Après cette époque, la similitude devient moindre.

Il y a à cela deux causes probables. Soit que cette influence est causée ou par le même courant transportant successivement les eaux par ces deux carrés, ou par une influence directe solaire se faisant sentir sur de grandes régions d'une mer où l'amas des nuages et l'humidité de l'air sont

presque homogènes. On n'en pourra juger qu'après des périodes d'observations minutieuses beaucoup plus longues et en y comparant la courbe du constant solaire dans ces régions.

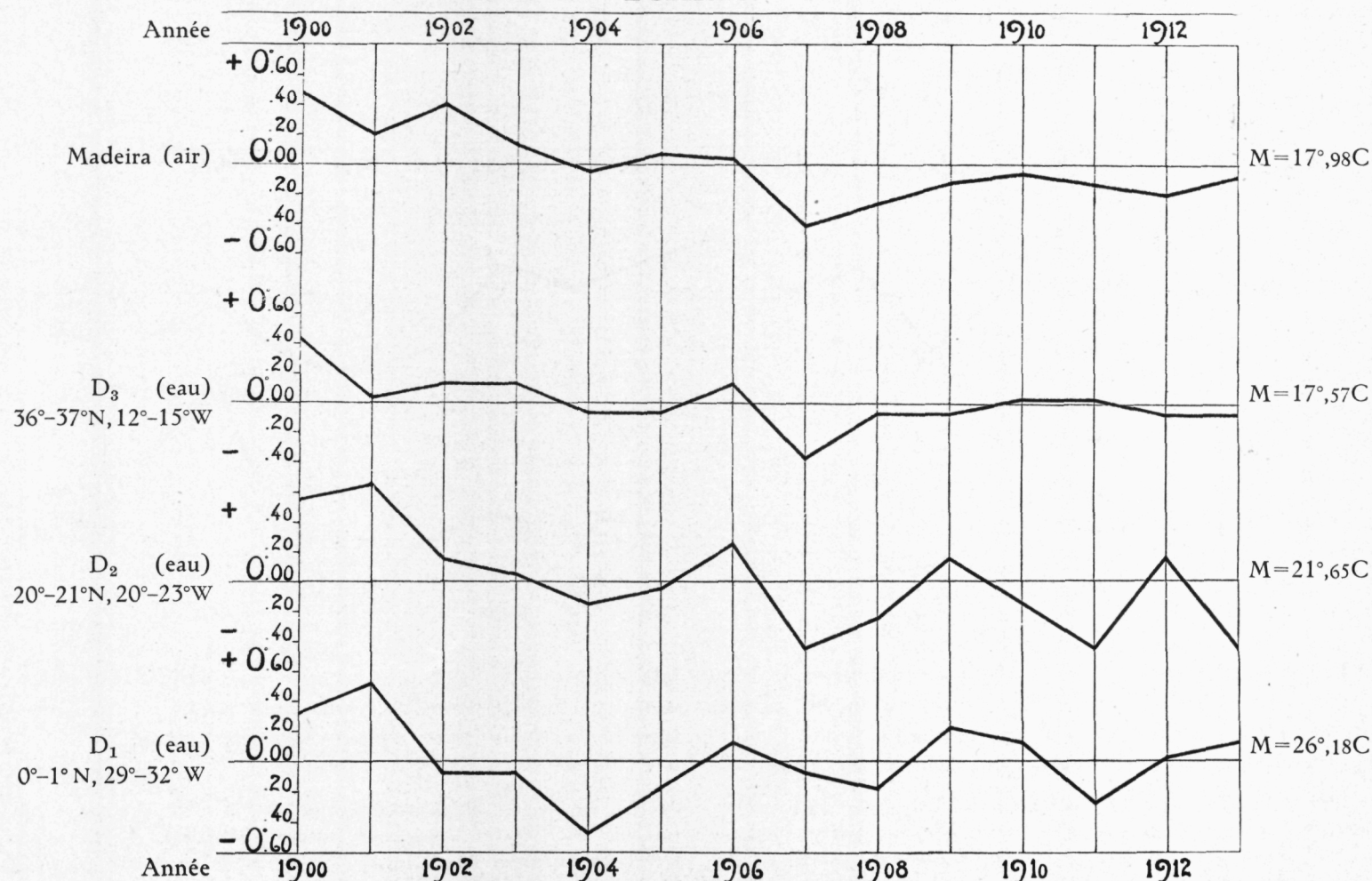
En cette occurrence, il est intéressant d'étudier comme, par exemple, la courbe de la température de l'air à Madère se comporte à l'égard de la température de l'eau de surface dans notre carré D₃, situé à 250 minutes au nord de cette île. Quoique nous trouvions que les deux courbes ne se présentent pas d'une manière complètement identique, nous pouvons néanmoins constater entre elles une corrélation assez évidente permettant de dire que le climat de Madère est d'un caractère vraiment maritime, le coefficient de corrélation entre Madère et D₃ étant

$$r = + 0,858 \pm 0,070$$

et entre D₃ et D₂

$$r = + 0,674 \pm 0,146.$$

ÉCARTS.



Les valeurs exactes des écarts et des moyennes représentés dans ce diagramme se trouvent dans les tables des corrélations p. 13 et 14.

II. LA MER DES SARGASSES

LA mer des Sargasses est pour le moment une mer presque inexplorée pour l'hydrographie, mais on peut espérer qu'elle cessera bientôt d'être aussi peu connue. Outre certains sondages exécutés par l'expédition de Challenger ainsi que par celle de Valdivia, on peut mentionner également les recherches effectuées, plus récemment, par l'expédition norvégienne, en 1910, avec le Michael Sars, dirigée par le Dr. Hjort et Sir John Murray (3), et, plus tard, par les expéditions danoises sous la direction du Dr. Johannes Schmidt et du groupe de savants qui accompagnait les expéditions avec le Thor, la Margarete et la Dana (4). On n'a reçu de toutes ces dernières expéditions que des informations fragmentaires sur les résultats hydrographiques que l'on est maintenant en train de publier; par contre, les brillants résultats biologiques obtenus sur le développement et les migrations de l'anguille sont connus du monde entier.

Cependant, ce qui constitue un manque sérieux pour la science, c'est qu'on ne possède pas de séries d'observations sur la température de l'eau autour des Iles des Bermudes, le seul point d'observation qui se trouve au milieu de la mer des Sargasses. On ne possède pas davantage de telles observations provenant des Iles de Bahama.¹⁾

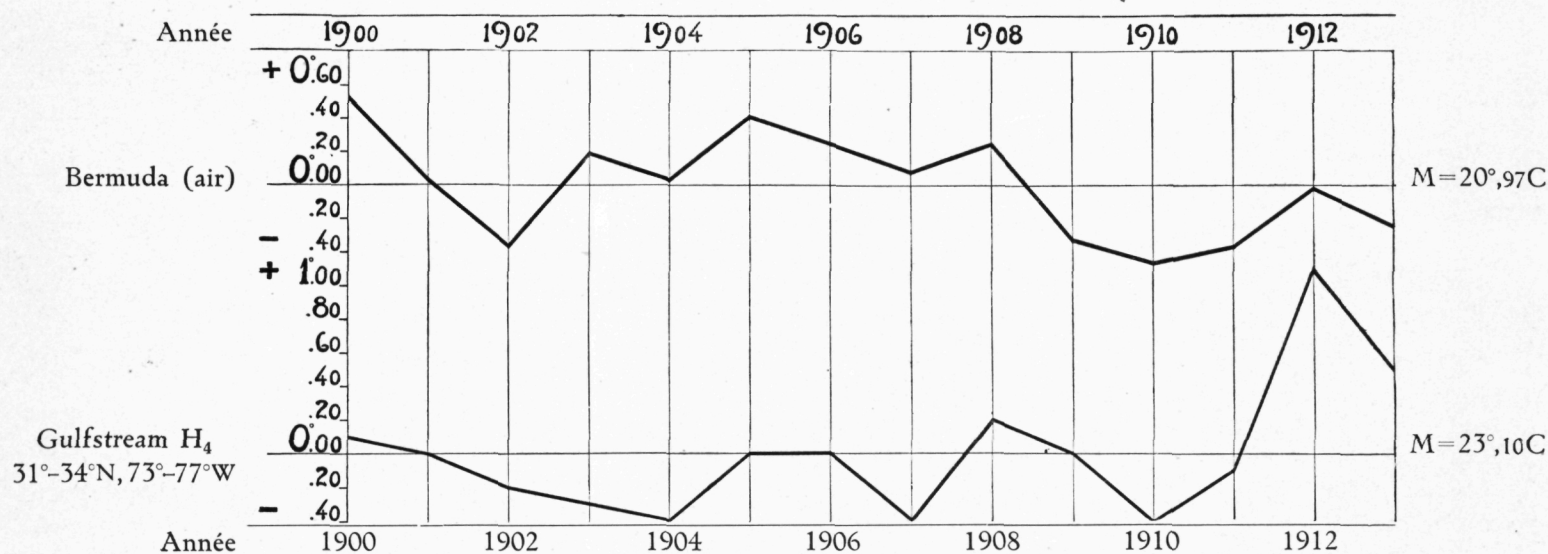
Les changements annuels de la température de l'air sur les Bermudes, au cours des années 1901—1914, sont représentées par le diagramme ci-après, lequel a été dressé d'après les données aimablement mises à ma disposition par le Meteorological Office à Londres.

Il serait intéressant d'étudier la corrélation existant entre les variations de la température de l'air aux Bermudes et celles de la mer des Sargasses, comme nous venons de le faire pour Madère et les carrés D₃ et D₂. Les matériaux nécessaires à cette étude manquent. Cependant, d'une manière indirecte, nous pouvons conclure que même la température de surface de la mer des Sargasses n'est pas constante, mais change d'une année à l'autre. C'est que la température de l'air sur les Bermudes, laquelle (ex analogia avec Madère D₃) devait réfléchir les variations de l'immense surface de l'eau avoisinante, présente des variations tout à fait remarquables, lesquelles, du moins, sont assez parallèles à celles du Gulfstream, la période de 1906 à 1913 y incluse.

L'allure des deux courbes présente une analogie assez frappante, mais un calcul de la corrélation, embrassant toutes les années 1900—1914, a donné un résultat négatif:

$$r = -0,03 \pm 0,27.$$

ÉCARTS



Le régime de température du Gulfstream dépend de deux causes variables: le Courant Equatorial qui fournit la plus grande partie de ses eaux et l'injection de l'eau plus chaude et plus saline qui, d'après Wüst, vient de la mer des Sargasses.

Il semble possible que le caractère prononcé de ceci puisse donner à l'allure des deux courbes une apparence de simultanéité, bien que la corrélation formelle manque.

¹⁾ La résolution prise par les hydrographes à leur conférence à Amsterdam cette année de recommander aux gouvernements et aux institutions scientifiques de la Grande Bretagne et de l'Espagne d'organiser un service régulier d'observations quotidiennes de la température de l'eau

aux îles océaniques: aux Bermudes, à St. Hélène, à Madère, aux Canaries, aux îles Scilly et à St. Kilda en conformité avec les séries d'observations instituées aux côtes de Norvège et du Danemark, est donc bien fondée.

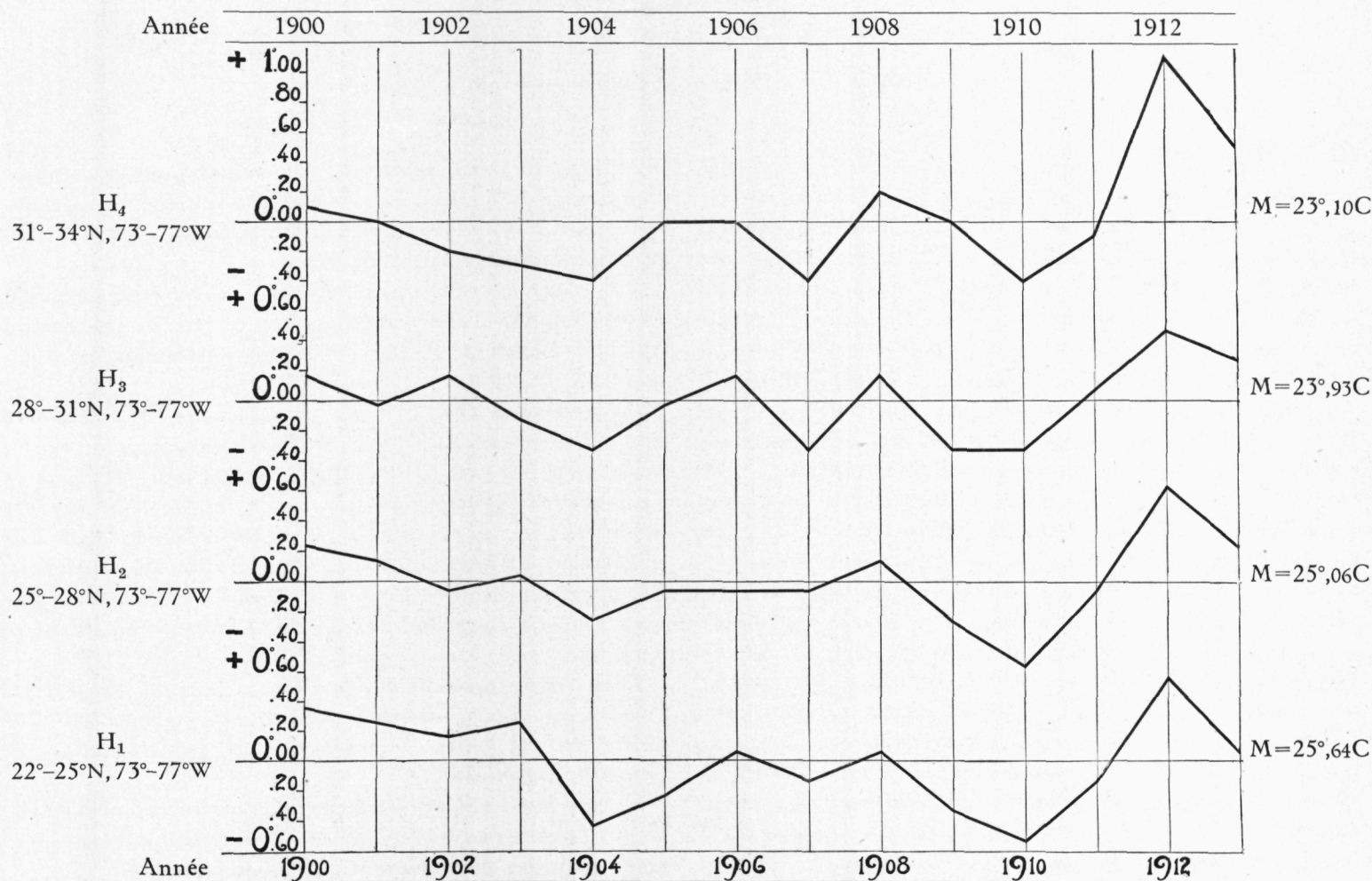
III. L'ATLANTIQUE NORD A L'OUEST DE LA MER DES SARGASSES:

LES CARRÉS H_1 , H_2 , H_3 , H_4 : LE GULFSTREAM PROPRE

LES deux branches du Gulf-stream, le courant de Floride et le courant des Antilles, sont représentés dans le Bulletin Atlantique par les carrés H_1 , H_2 , H_3 , H_4 . Les variations de la température de ces grands courants océaniques sont démontrées graphiquement dans le diagramme ci-après. Il en ressort que la température de surface du Gulf-stream est sujette à des variations annuelles. C'est que l'amplitude ne dépasse guère un degré, mais ces petits changements sont tellement distincts et clairs que l'on ne peut les négliger. De plus,

on trouve que les variations dans les quatre carrés se manifestent d'une manière très similaire dans les deux courants et dans toute l'étendue du Gulf-Stream, des côtes des Bahamas à 22° jusqu'au 34° de lat. N. Le nombre moyen des observations sur toute cette étendue d'environ 800 milles dépassant dans les tableaux du Bulletin 600—1000 par an, démontre que la température de surface du Gulf-Stream, au cours de diverses années, a oscillé entre $0,6$ environ, au-dessous (voir p. ex. 1910) et de $0,6$ à $0,90$, au-dessus de la valeur moyenne (voir p. ex. 1912).

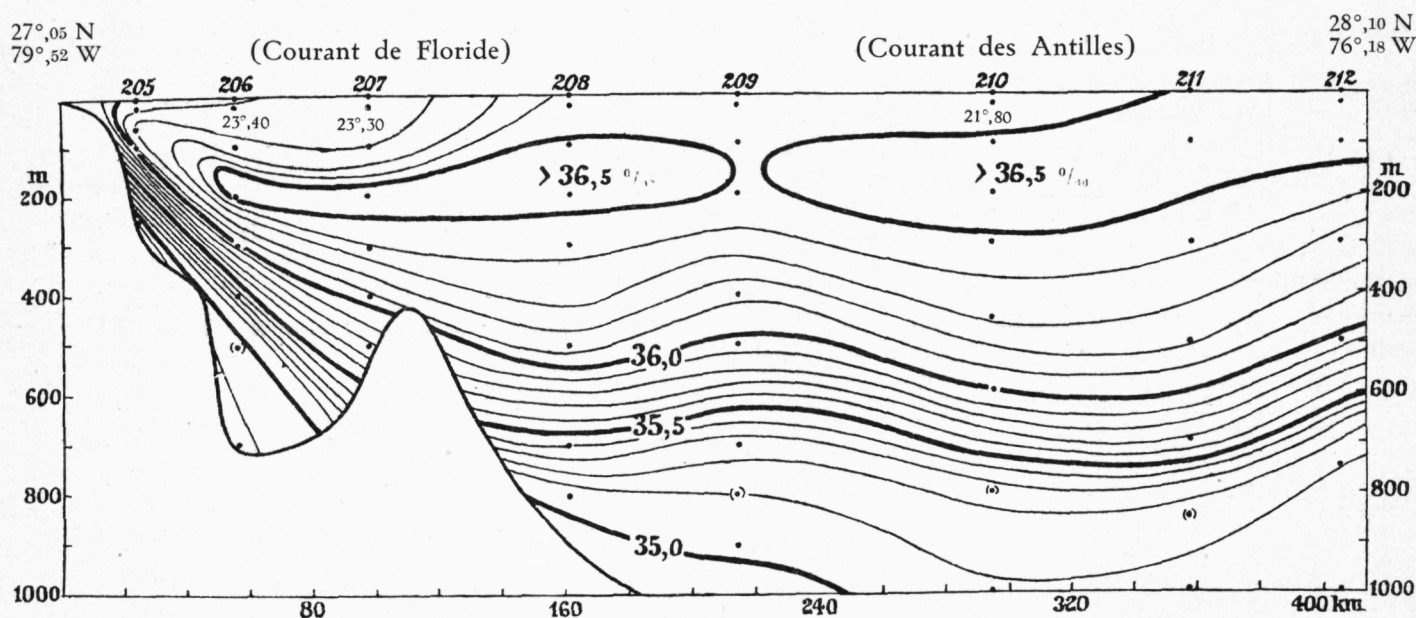
ÉCART



Voici une section tirée de l'œuvre précitée de M. Wüst, marquée sur la carte par un trait oblique, au travers du courant des Antilles et du courant de Floride, qui démontre que dans les deux courants l'eau est visiblement disposée en couches, la couche de surface à partir de 0 m. jusqu'à une profondeur d'environ 500 m. étant presque homogène et contenant dans son milieu les noyaux des deux courants d'eau chaude et salée, lesquels, un peu plus au nord, coulent ensemble vers le courant puissant que l'on a appelé le Gulf-Stream.

Cette importante conclusion que M. Wüst a tirée de son examen des sondages exécutés par la croisière d'un vaisseau américain Bache a été récemment confirmée par l'hydrographe M. Nielsen de l'expédition danoise sous la direction du Docteur Johannes Schmidt (4).

Quoiqu'une variation annuelle d'un degré ou deux au plus dans la température moyenne de la mer des Sargasses et du Gulf-Stream, semble être assez insignifiante, cette oscillation, en ce qui concerne la capacité de chaleur et l'effet



Section tirée de l'œuvre «Florida und Antillenstrom» de M. Wüst.

Il est digne de remarque que la salinité ($>36,5 \text{ ‰}$) et la température sont les mêmes dans le courant de Floride, venant du Golfe des Caraïbes et du Golfe Mexicain, et dans le courant des Antilles qui passe en dehors et à l'est des Antilles et des bancs des Bahamas, ce qui démontre l'existence d'une origine commune de l'eau chaude et salée provenant de la couche supérieure des deux courants lesquels jusqu'à leur rencontre avaient suivi des cours si différents.

L'explication se trouve dans l'exposé du Professeur Wüst contenu dans son ouvrage: «Florida und Antillenstrom». Le Gulf-Stream, dans sa totalité, forme une continuation du Courant Equatorial sud, lequel dirige une branche au dehors, entre les îles des Indes Occidentales et dans le Golfe des Caraïbes et le Golfe du Mexique, cette branche ressortant de là comme courant de Floride, pendant qu'une autre branche passe en dehors de ces îles, branche que nous reconnaissons comme le courant des Antilles. Cependant, la mer des Sargasses émet dans un certain niveau (à environ 50—200 m.) un sous-courant d'eau chaude et d'une salinité concentrée vers l'ouest. C'est à cette injection de l'eau échauffée des Sargasses que les deux courants dont la réunion forme ensuite le Gulf-Stream doivent leur haute température et la salinité excessive ($36,5 \text{ ‰}$) de leurs eaux. C'est donc l'influence de la mer des Sargasses qui domine le Gulf-Stream.

calorifique de l'eau, représente cependant pour les régions plus froides où le Gulf-Stream emporte ses eaux et spécialement pour la fonte des glaces à Terre-Neuve, une provision de chaleur d'extrême importance.

Il est bien possible que ce phénomène, inconnu jusqu'ici, de la communication existant entre la Mer des Sargasses, le Golfe Mexicain et le Gulfstream expliquera aussi un problème biologique.

Au sud et à l'est des îles de Bermuda, M. Johannes Schmidt a trouvé les régions de ponte de l'anguille américaine. Un peu plus à l'est il a trouvé la place de ponte de l'anguille européenne. De ces régions-là, dans la mer des Sargasses, les deux espèces de *Leptocéphalides* font leur émigration, les unes vers l'ouest dans le Golfe du Mexique et les fleuves du continent américain, qu'ils atteignent en une année, les autres vers les parages de l'Europe qu'ils atteignent après trois ans.

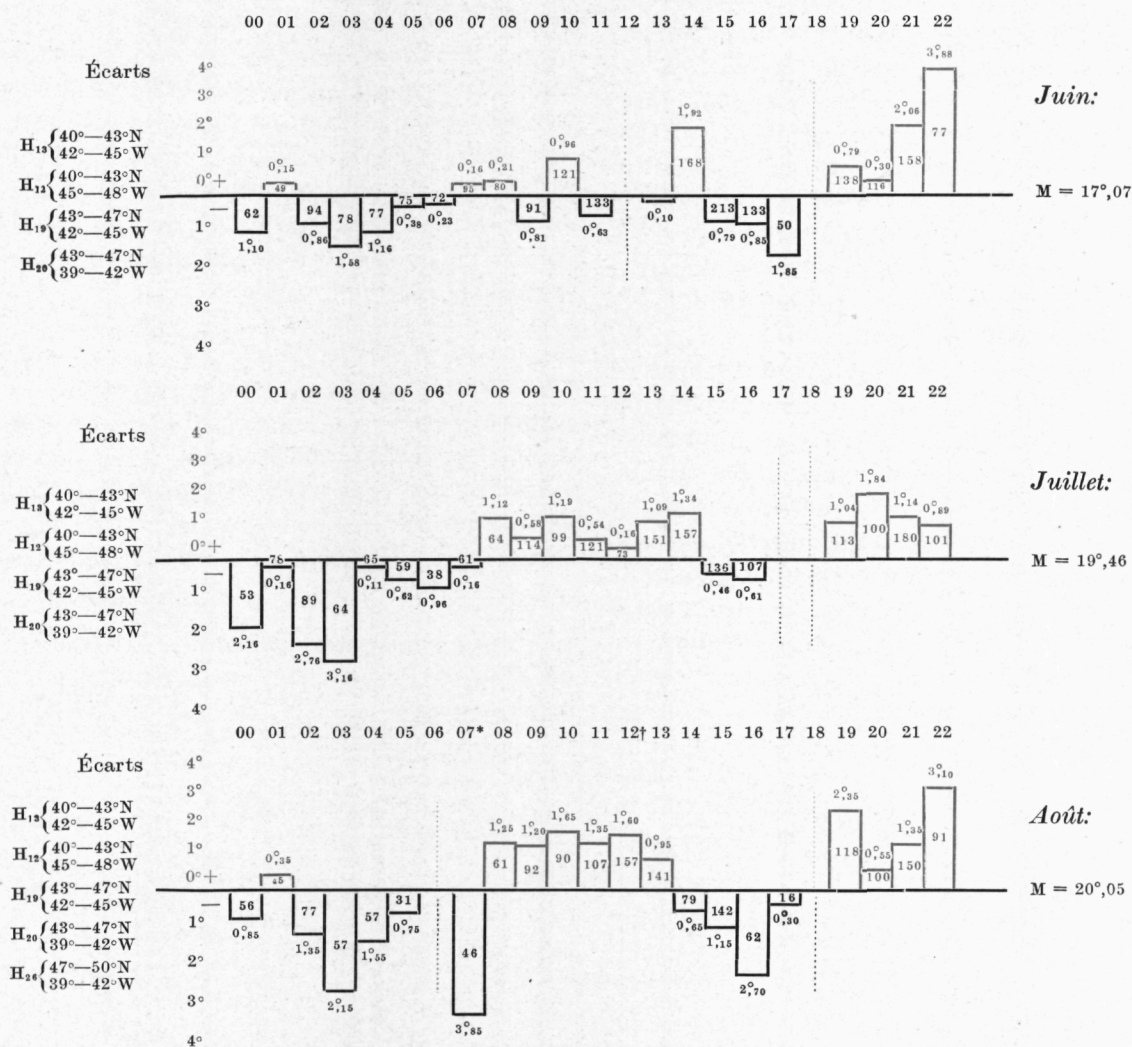
Il me semble probable que le débit de l'eau des Sargasses à l'ouest vers la côte américaine dans les niveaux de 100—300 mètres sert de moyen de transport aux *Leptocéphalides* de l'anguille américaine.

C'est là une tentative de la part de l'hydrographie d'éclaircir un phénomène biologique qui maintenant est considéré comme un des plus énigmatiques et mystérieux.

IV. LA RENCONTRE DU GULF-STREAM AVEC LE COURANT DE LABRADOR AUTOUR DES BANCs DE TERRE-NEUVE.

LES CARRÉS:

H_{12} 40°—43° N, 45°—48° W
 H_{13} 40°—43° N, 42°—45° W
 H_{19} 43°—47° N, 42°—45° W
 H_{20} 43°—47° N, 39°—42° W
 H_{26} 47°—50° N, 39°—42° W



Nous arrivons maintenant au champ de combat entre le Gulf-stream et le courant de Labrador, c'est à dire: à la région de l'océan au sud et à l'est de Terre-Neuve. La fonte de glace autour des bancs de Terre-Neuve est un phénomène irrégulier et difficile à enregistrer par des observations scientifiques. Plusieurs tentatives ont été faites par les hydrographes à évaluer le débit annuel d'icebergs et des glaces flottantes amenées dans les mois de mars-juin par le courant de Labrador et signalées dans les livres de bord des navires passant par cette région. On soupçonnait que l'abondance plus ou moins grande de la glace fondue

eût quelque influence sur la température du Gulf-stream et de sa continuation dans l'Atlantique Nord et peut-être indirectement sur le climat de l'Europe (voir les traités de Meinardus, Mecking (5) et d'autres).

Je me suis servi d'une autre méthode, en mesurant la température moyenne de l'eau de surface qui entoure les régions de fonte, représentées par les 5 carrés H_{12} , H_{13} , H_{19} , H_{20} , H_{26} , après la période de fonte, c'est à dire: dans les mois de juin, juillet et août. Dans ce but, il était désirable de pouvoir discuter sur une plus longue série d'observations que celle contenue dans les annales du bulletin Atlantique,

dont toutes les dates sont tirées des archives de l'Institut Météorologique de Bilt en Hollande. Grace à l'obligeance des directeurs de cet Institut j'ai obtenu la continuation de la série des observations de 1914 jusqu'à 1923. J'ai calculé la moyenne des températures observées pendant 23 années dans les dits mois et les écarts annuels de cette moyenne.

Les diagrammes nous donnent l'aspect de la situation au cours des mois de juin, juillet et août pendant les différentes années de l'époque de 1900 à 1922. La température moyenne de l'eau dans tous ces carrés calculés ensemble était alors:

En Juin	En Juillet	En Août
17°,04	19°,46	20°,05

Les chiffres encadrés donnent le nombre des observations. On trouve que le mois d'août se distingue par un maximum de chaleur apportée par le Gulf-stream. Cependant il n'est possible, ni pour ce mois ni pour les deux autres, de fixer parmi les variations quelque forme distincte de corrélation avec les courbes annuelles des carrés H_1 — H_4 du Gulf-stream tropical. Néanmoins, bien que les conditions dans cette région entière de la fonte des glaces soient incertaines à cause des eaux polaires se mêlant avec celles du courant méridional, on peut y trouver une tendance vers une périodicité dans les fluctuations de la température de surface que nous retrouverons ensuite dans les carrés d'observations plus à l'Est et au Nord-Est, c'est-à-dire dans l'Atlantique boréal (voir p. 9).

La fonte de glace amène donc une variation considérable d'une année à l'autre dans l'état thermique d'une grande aire de l'Atlantique Nord à l'est de Terre Neuve et qu'on est accoutumé à considérer comme l'origine du grand courant de dérive («Drift-current») ordinairement appelé «le Courant Atlantique» (alias «le Gulf-stream»), dont l'influence sur notre climat est incontestable. Il semble donc naturel d'attribuer les vicissitudes de notre climat aux phénomènes hydrographiques qui se manifestent chaque été dans ce coin de

l'Atlantique — un vrai «centre d'action» de l'océan. Cependant si l'on conserve cette manière de voir, on est confronté par des expériences qui, à première vue, apparaissent paradoxales.

A.

Les rapports existant entre l'amasement des glaces et des icebergs à Terre Neuve ne vont guère de pair avec les figures de notre tableau à la page précédente.

L'année 1909 est caractérisée dans les Rapports de l'Institut Météorologique Danois comme une année de glaces abondantes. Les chiffres du Bulletin de cette année nous donnent au contraire l'aspect d'une année d'une température élevée au-dessus de la moyenne, ce que démontrent aussi les diagrammes des variations mensuelles de l'été. D'après les mêmes «ice-reports», l'année 1912 (celle du désastre du «Titanic») aurait été d'une sévérité extrême aux parages de Terre Neuve. (Selon le «Nautisk Meteorologisk Aarbog» le nombre des glaces signalées dans le mois de Mai excédait 1100.) Néanmoins, si nous regardons la température de la mer environnante comme exposant de l'intensité de la fonte des glaces, l'influence de l'eau méridionale dans cette année-là doit avoir été dominante.

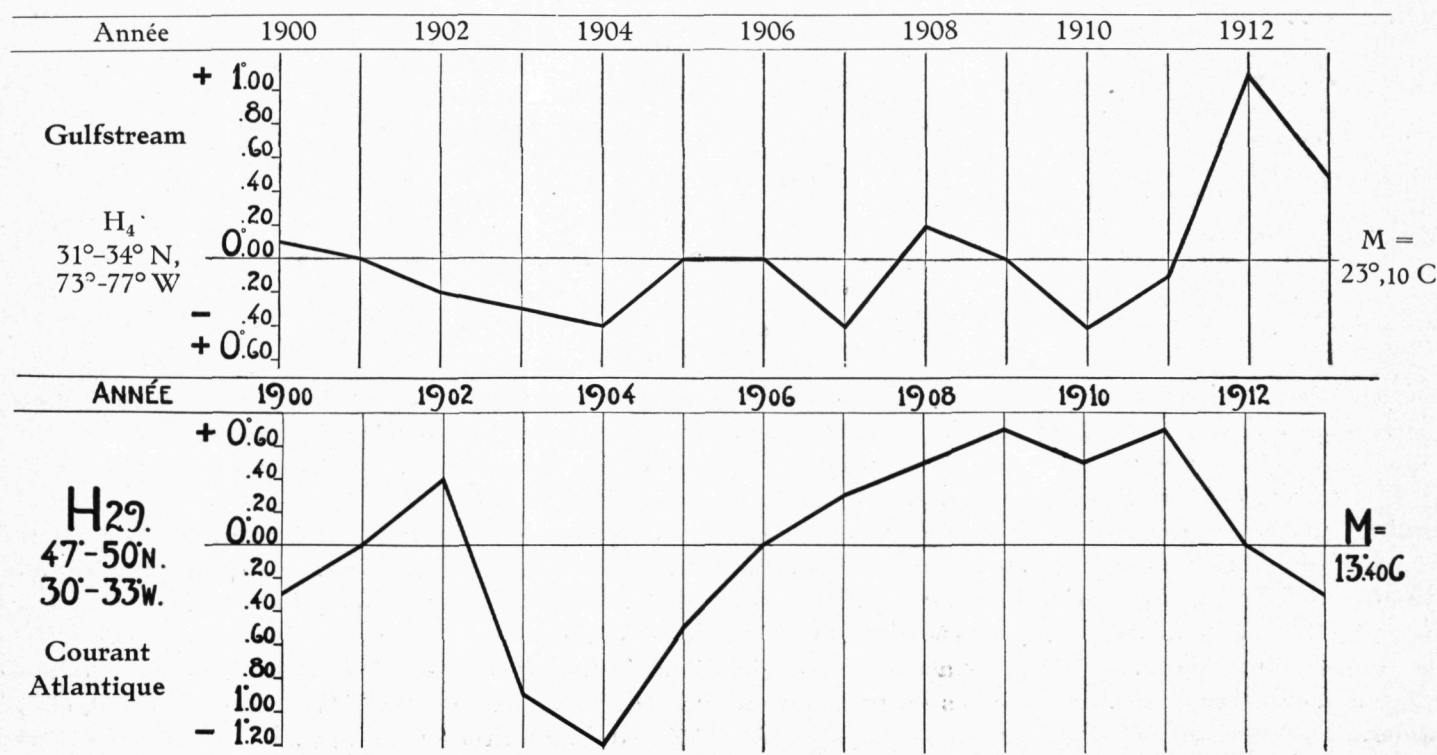
B.

Il n'existe aucune corrélation entre les variations de la température moyenne annuelle du Gulfstream propre (représentés par la courbe H_4 de la figure suivante) et les variations annuelles des eaux de l'Atlantique au Nord du 50° degré de latitude (représentés par la courbe H_{29} du diagramme suivant). Le coefficient de corrélation étant:

$$r = + 0,10 \pm 0,26$$

Néanmoins il serait prématuré de conclure que les eaux du Gulf-stream tropical ne pénètrent pas au dehors des tropiques, car:

ÉCARTS



C.

La région de fonte des glaces autour de Terre-Neuve est entourée d'une zone d'eau chaude qui dérive du Gulf-stream.

Cette conclusion est basée sur un examen des figures contenues dans les tableaux suivants.

Considérons d'abord les moyennes de la température dans les carrés H_{25} , H_{26} , H_{27} , H_{28} , H_{29} situés entre

Lat. N 47° — 50° H_{25} H_{26} H_{27} H_{28} H_{29}
Long. O 42° — 45° 39° — 42° 36° — 39° 33° — 36° 30° — 33°

Août	$13^{\circ},6$	$16^{\circ},8$	$16^{\circ},4$	$16^{\circ},2$	$16^{\circ},1$
Septembre ..	$13^{\circ},8$	$16^{\circ},6$	$16^{\circ},0$	$15^{\circ},5$	$15^{\circ},3$
Octobre	$12^{\circ},0$	$14^{\circ},9$	$14^{\circ},6$	$14^{\circ},3$	$14^{\circ},0$
Novembre....	$10^{\circ},0$	$13^{\circ},8$	$13^{\circ},5$	$13^{\circ},1$	$12^{\circ},7$
Décembre	$7^{\circ},6$	$12^{\circ},3$	$12^{\circ},3$	$11^{\circ},8$	$11^{\circ},8$
Janvier	$6^{\circ},6$	$11^{\circ},5$	$11^{\circ},7$	$11^{\circ},1$	$11^{\circ},3$

et ensuite les carrés situés entre

Lat. N 43° — 47° H_{19} H_{20} H_{21} H_{22} H_{23}
Long. O 42° — 45° 39° — 42° 36° — 39° 33° — 36° 30° — 33°

Juillet	$18^{\circ},1$	$18^{\circ},4$	$17^{\circ},6$	$17^{\circ},3$	$17^{\circ},0$
Août	$18^{\circ},4$	$19^{\circ},9$	$18^{\circ},8$	$18^{\circ},6$	$17^{\circ},9$
Janvier	$8^{\circ},6$	$13^{\circ},0$	$13^{\circ},1$	$13^{\circ},0$	$12^{\circ},9$

Les observations dans les carrés situés entre les latitudes 40° — 43° se bornent aux figures suivantes:

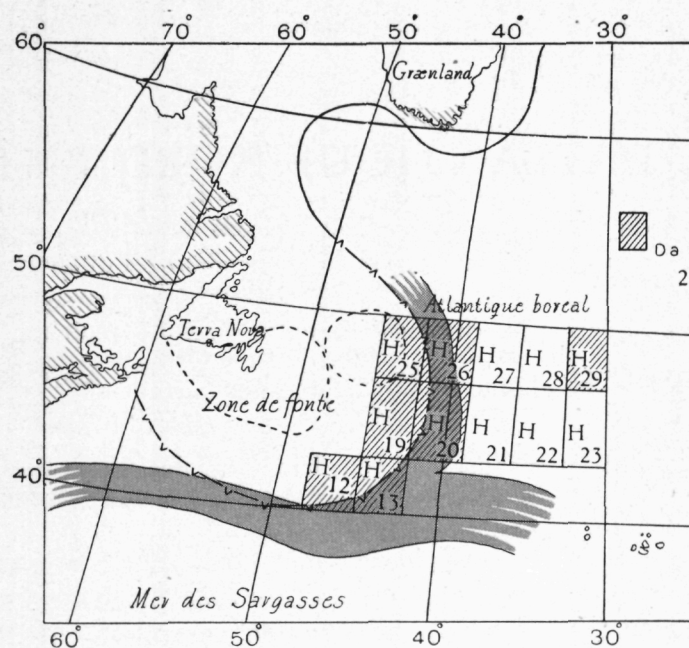
Lat. N 40° — 43° H_{12} H_{13}
Long. O 45° — 48° 42° — 45°

Août	$21^{\circ},5$	$22^{\circ},0$
Janvier	$14^{\circ},1$	—
Février	$13^{\circ},2$	$15^{\circ},5$

L'explication de ce phénomène étrange, c'est-à-dire: l'existence d'une zone d'eau chaude autour de la région de fonte pendant plusieurs mois de l'année, se trouve dans le traité

«On the influence of ice-melting on the Oceanic Circulation» (6).

Les glaces polaires attirent une partie des eaux du Gulf-stream vers la région de fonte au sud et à l'est de bancs de Terre Neuve. L'eau chaude qui se meut vers la glace est — grâce à sa température élevée — en état de fournir à la glace fondante l'énergie nécessaire pour sa transformation en eau. La quantité d'eau tropicale ainsi déviée de sa course normale, le long du 40° degré de latitude, vers les latitudes plus boréales, varie selon la quantité de glace apportée par le Courant de Labrador. Conséquemment, on trouve, après la saison des fontes, la température de la mer autour de la région de fonte d'ordinaire plus élevée si la quantité de glace a été abondante, fait naturel si l'on tient compte des courants que la fonte de la glace dans l'eau de mer met en action dans la surface et dans les profondeurs de la mer.



C'est la course d'un tel courant d'eau chaude que j'ai tracée à travers les carrés H_{13} , H_{20} et H_{26} par le maximum de la température moyenne observé en été et en automne dans les carrés pendant 22 ans.

Ce courant est le premier rameau émis par le Gulf-stream vers la partie boréale de l'Atlantique Nord. Cet affluence de la mer tropicale dont les racines se trouvent dans le Courant Equatorial et dans la Mer des Sargasses est variable avec la saison. Il atteint à la fin de l'été et en automne dans les mois d'août, septembre, octobre et novembre son maximum d'intensité et s'évanouit en décembre et janvier quand le maximum de température des carrés H_{26} et H_{20} s'efface. On retrouve ce trait caractéristique d'une périodicité chez toutes les ramifications du Gulf-stream dans l'Atlantique boréale et arctique. Ce phénomène fut observé pour la première fois par les hydrographes suédois qui en 1890 (1) avaient constaté l'accroissement en automne (novembre) du sous-courant d'une eau d'une salinité au-dessus de 35‰ dans le Skagerak, dont l'affluence exerce une grande influence sur les migrations des poissons et les pêches maritimes. Ces auteurs l'ont appelé la systole et la diastole de la mer (1).

Sur l'esquisse ci-dessus, les régions de la côte de l'Amérique du Nord où l'on rencontre l'anguille américaine (*Anguilla brevirostris*) sont marquées par traits rouges (7). D'après le Docteur Johannes Schmidt, l'anguille américaine se rencontrerait également sur la côte sud grénlandaise.

Le lieu de ponte de cette espèce est la mer des Sargasses, et le rameau du Gulf-stream, dont le cours a été dessiné par moi sur la carte, sert de véhicule pour le transport de leurs leptocéphalides et des alevins (voir p. 5).

La température de la mer après la saison de fonte, c'est-à-dire dans les mois de juillet, août, septembre, etc., dépend de plusieurs causes variables comme: la quantité et la température initiale de l'eau tropicale et la quantité d'eau et de glace apportée par le courant de Labrador, conséquemment, on ne peut tracer une corrélation directe entre la température du Gulf-stream propre au sud du 40° degré de latitude et le courant de l'Atlantique boréale au nord du 50° degré de latitude (voir p. 7).

V. L'ATLANTIQUE NORD ENTRE TERRE-NEUVE ET L'IRLANDE

LES CARRÉS H_{12} , H_{13} , H_{19} , H_{20} , H_{26} ET Da_2 .

PASSONS maintenant à l'étude des conditions hydrographiques plus stabilisées existant dans notre cinquième région, c'est-à-dire dans la partie de l'Atlantique au delà du 45° degré Nord à l'est de la limite pour la fonte des glaces à Terre Neuve que nous appellerons ici l'Atlantique boréale.

La courbe I (p. 10) montre dans une autre forme que celle du diagramme à la p. 6 les variations de température en août autour de la zone de fonte des glaces. Cette courbe représente, selon la méthode que j'ai suivie, l'effet total de la fonte des glaces chaque année dans la région de l'océan que l'on peut considérer comme l'origine du grand courant de dérive qui épand ses eaux en éventail sur l'Atlantique boréale jusqu'aux côtes de l'Europe. Elle montre de grandes variations de température d'une année à l'autre qui en de certaines années atteignent une amplitude de 4° à 6° comme on pouvait s'y attendre en considérant la nature violente du processus qui se développe chaque printemps dans la mer avoisinante. A côté de ces variations annuelles, en août, on a des variations de température de longue durée comme l'abaissement pendant les trois années 1903 à 1905 et les cinq années de maximum 1907 à 1911. Ces fluctuations n'ont rien de commun avec les oscillations de température du Gulf-stream propre (voir les carrés H_1 , H_2 , H_3 , H_4 p. 4), mais on les retrouve dans la partie boréale de l'océan au nord du 45° degré de latitude amoindries et retardées au fur et à mesure que le mouvement lent des eaux à l'Est-Nord-Est s'étend d'une latitude à une autre.

Comme première étape, nous choisirons le carré Da_2 , dont j'ai dessiné la courbe des variations dans le diagramme II, situé au milieu de l'océan à environ 700 minutes de distance des carrés du groupe I. La similitude des courbes I et II est frappante, en tenant compte de la retardation de l'effet. On trouve qu'un effet qui se produit en août 1901 dans l'aire I ne se fait nullement sentir en Da_2 à la latitude 55° N pendant la même année mais 6 à 7 mois après, c'est-à-dire au cours de l'année suivante (1902). Si l'on veut s'en assurer par calcul mathématique on doit calculer le coefficient de corrélation entre la température moyenne de 1901 en I et de 1902 en II etc., ce qui donne le résultat:

$$r = 0,45 \pm 0,21$$

On peut conclure de cela que l'effet de la fonte des glaces polaires autour des bancs de Terre Neuve, grâce à la grande capacité calorifique de l'eau, se conserve en son caractère

propre pour plusieurs mois après. Au bout de cette époque nous retrouverons les mêmes eaux transportées avec le courant de dérive de la région de fonte, au coin S.W. de l'Atlantique boréal, au travers de l'océan (9), où l'effet se fait sentir dans l'année suivante par un écart positif ou négatif de la température moyenne de l'eau de surface de l'océan. L'effet d'un tel transport amène aussi une évaporation plus ou moins grande qu'à l'ordinaire. La température moyenne annuelle de la surface en Da_2 fût trouvée = 9°,67 et les écarts en ont oscillé entre 8°,79, et 10°,79, ce qui correspond à une différence, dans la tension moyenne de la vapeur de l'eau, de 14 % entre une année tempérée comme 1902 et une année froide comme 1904. On sait que le débit de la mer à l'atmosphère dépend presque exclusivement de l'évaporation. La chaleur est cédée de l'eau à l'air en forme de chaleur latente de l'eau évaporée.

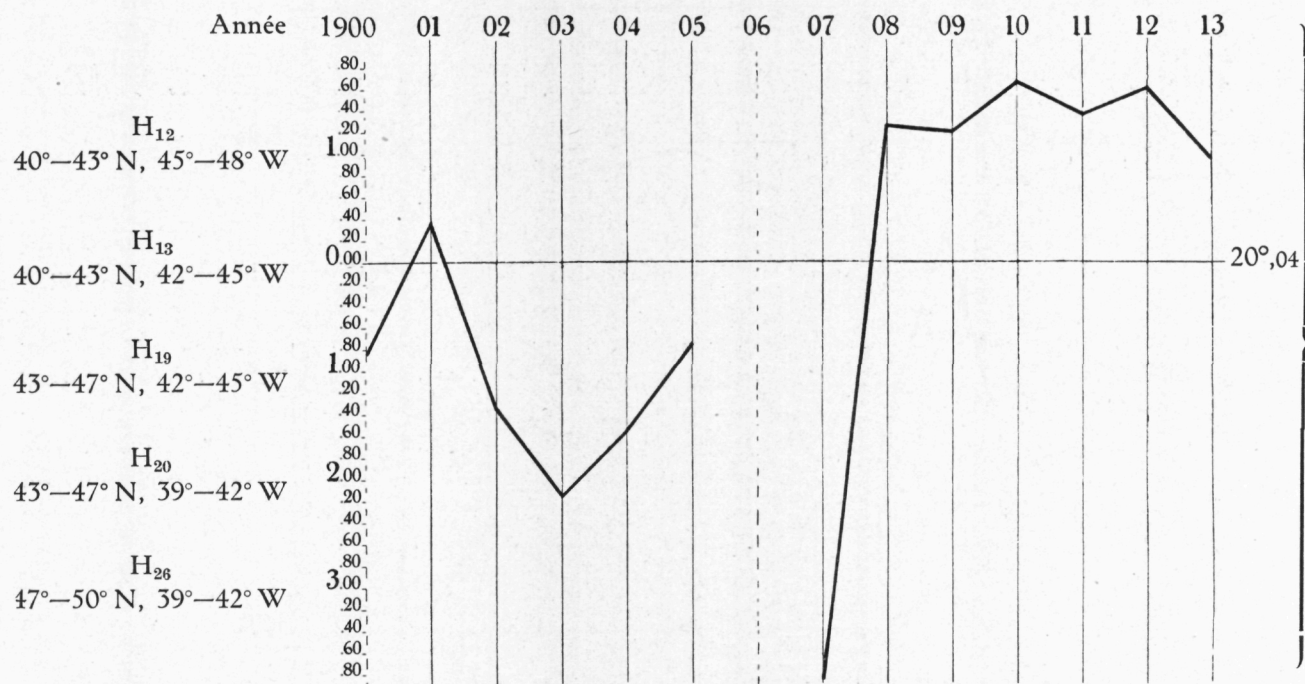
On ne connaît pas la vitesse du mouvement de l'eau. Si l'on l'estime à 4 minutes par jour (11) dans la direction S.W. à E.N.E., l'eau qui en août se trouvait dans la région des carrés du groupe I doit arriver à la région II (Da_2) au printemps de l'année suivante et l'effet calorifique d'un tel transport doit apparaître environ 10 ou 12 mois après en Europe.

Ayant constaté cet état de chose comme probable, nous tournerons vers la partie finale de notre étude, la corrélation éventuelle existante entre les conditions hydrographiques de la mer Atlantique et le climat des régions côtières de l'Europe.

Nous nous occuperons alors, en premier lieu, de la climatologie de l'Irlande comme la partie la plus exposée à une influence maritime. Mais une comparaison directe de la température de l'atmosphère avec celle de la surface de la mer ne donnera guère de résultat positif. L'Irlande, à l'encontre de Madère, est sujette à bien d'autres influences que celle d'une mer tiède seulement, et surtout aux vents froids du côté polaire. Mais l'air échauffé et humide apporté par les vents de l'Ouest peut très bien exercer une influence importante sur les variations annuelles *des pluies* en Irlande. La statistique des pluies en Irlande donnera-t-elle par conséquent dans ses variations annuelles une corrélation avec nos courbes de température de surface?

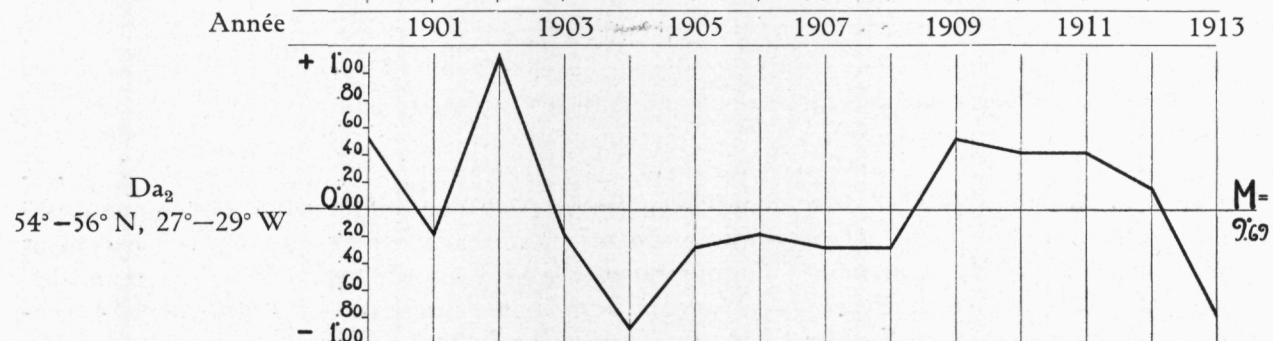
Nous avons ici devant nous les courbes annuelles des pluies en Irlande ainsi qu'en Grande Bretagne, auxquelles j'ai ajouté la courbe analogue pour la partie au sud de la Suède, le «Götaland» d'après la statistique de M. E. Hamberg (8).

ÉCARTS



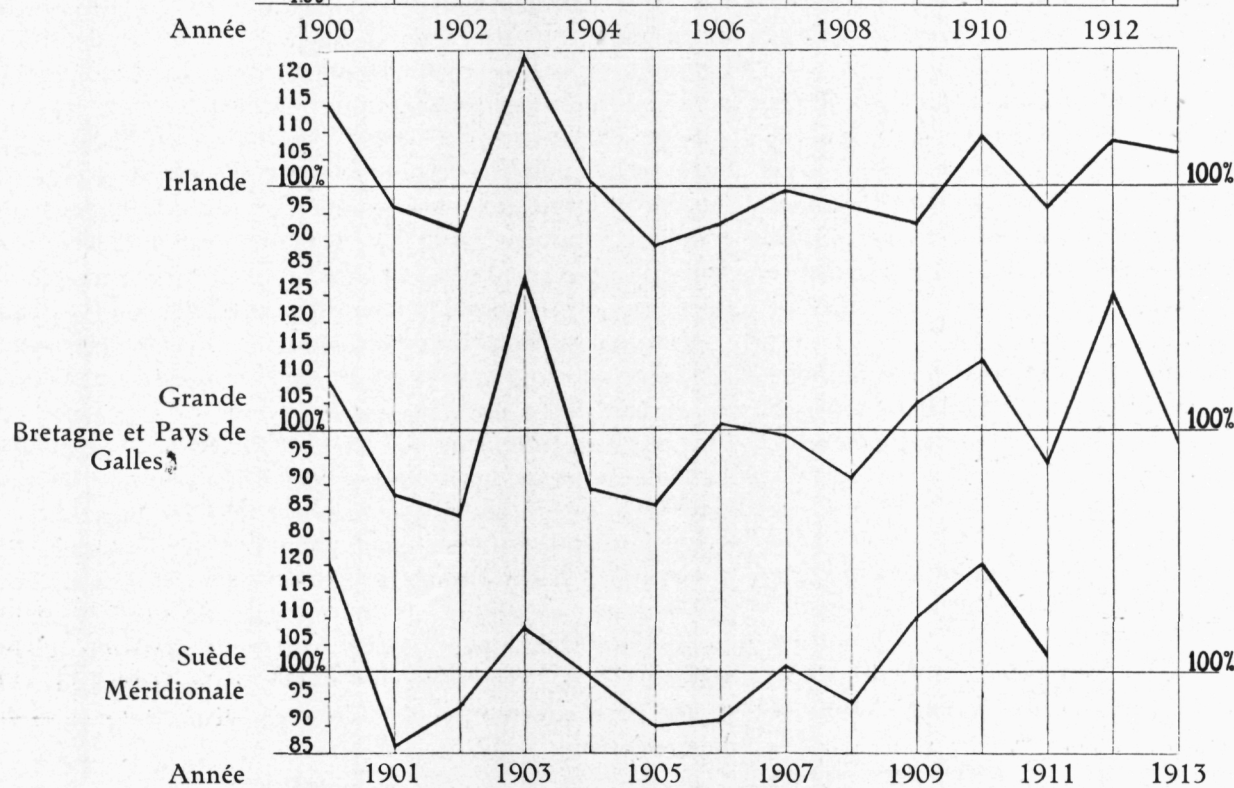
I
ÉCARTS
de la température
moyenne de la mer
en août

CORRÉLATION
entre I et II
 $r = 0,46 \pm 0,21$



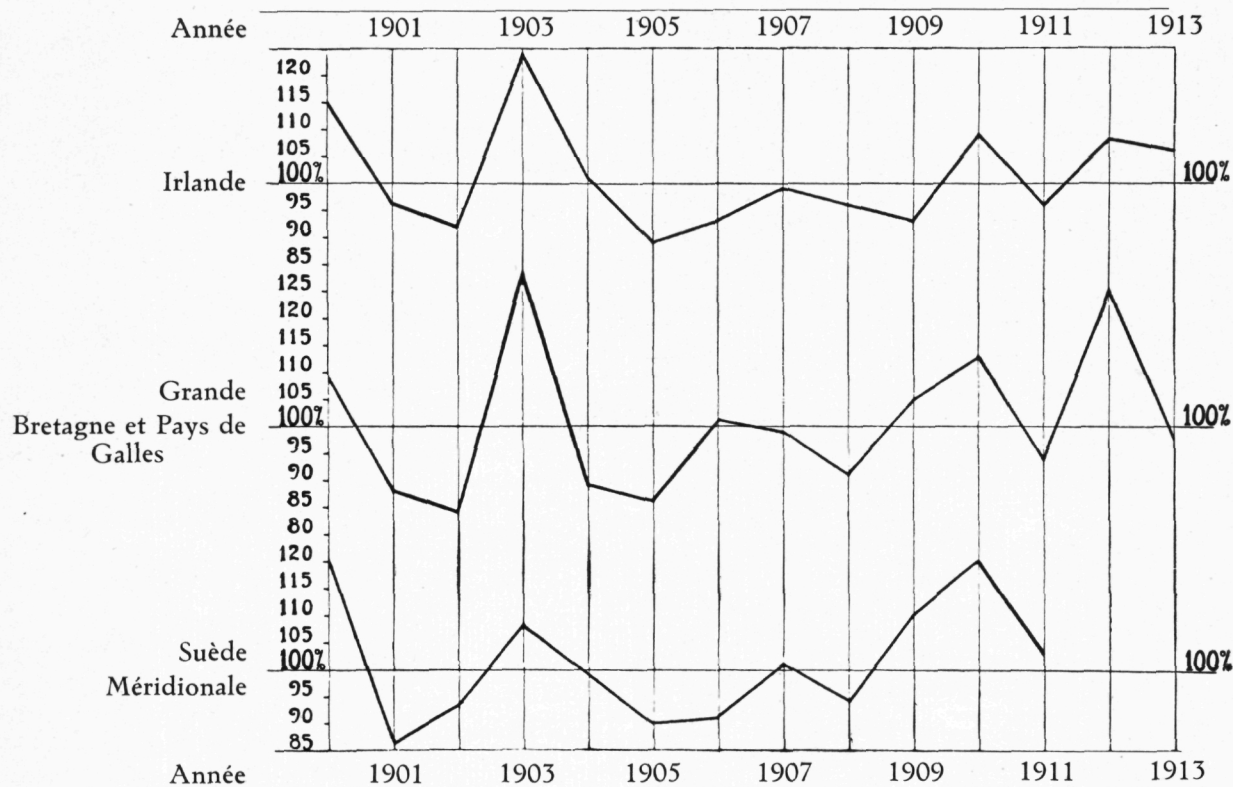
II
ÉCARTS
de la température
moyenne annuelle
de la mer

CORRÉLATION
entre II et III
 $r = 0,64 \pm 0,15$



III
ÉCARTS
annuelles des pluies
en centaines

PLUIES



Le régime des pluies dans l'Europe d'après M. Glasspole et E. Hamberg.

Bien que la quantité de pluie tombée dans les différentes contrées de l'Europe varie beaucoup avec la localité et la saison, on trouve que le régime annuel des pluies est commun pour la partie nord-ouest du continent et que ce régime dépend de l'état de l'Atlantique boréale dont les variations pendant les 14 premières années de ce siècle sont représentées dans le tableau à la p. 10.

Si l'on applique les courbes ci-dessus au-dessous de la courbe II du carré Da_2 à la p. 10 comme exposant de l'état calorifique de la partie centrale de l'Atlantique boréale nous n'y trouvons aucune similitude. Mais avec une année de retard comme entre la courbe I et II on arrive à une corrélation positive entre Da_2 et la courbe des pluies en Irlande:

$$r = + 0,64 \pm 0,16$$

qui paraît assez significative. Car en se basant sur la méthode de corrélation de M. le Professeur C. V. L. Charlier (9) on peut considérer ce résultat d'un point de vue mathématique comme assez probant.

Le but pratique de l'Hydrographie et de la Météorologie de notre temps est de trouver la clef du problème des prédictions à longue échéance concernant le climat, l'agriculture et la pêche maritime. Pour les contrées de l'Europe les fluctuations du climat et pour les récoltes de l'agriculture et

pour les pêcheries sont d'un intérêt vital. Les organisateurs de la recherche internationale de la mer¹⁾ qui connaissaient l'intime rapport qui existe entre ces groupes de phénomènes, en formant le premier paragraphe du programme de la conférence à Stockholm en 1899, ainsi que je l'ai cité à la fin de ce traité, ont pris soin de fonder, dans les Bulletins du, Conseil, des archives pour les observations hydrographiques dont j'ai fait usage dans l'étude précédente.

Pour l'Hydrographie aussi bien que pour la Météorologie un tel matériel le plus complet et surtout le plus homogène possible doit sans doute être regardé comme une condition vraiment vitale. Le Bulletin peut donc être considéré comme un ouvrage de la première importance pour les études hydrographiques ainsi que pour la Météorologie,

L'un des résultats de cette étude de la période 1900—1913 est que le régime de pluies en Europe occidentale est préfixé à un certain degré deux années en avance du côté opposé de l'océan, où la lutte entre les glaces polaires et les eaux chaudes du Gulf-stream se répète chaque printemps, résultat dont on peut juger la probabilité par le calcul de corrélation.

La probabilité qu'on peut atteindre par l'examen des observations faites durant la période 1900—1914 dont l'expression mathématique est fournie par des coefficients de corrélation comme $r = + 0,64 \pm 0,16$ etc. apparaît dans le tableau suivant contenant les chiffres des écarts I, II, III p. 10, tirés des tables de corrélation (voir les x et y des deux dernières tables p. 14).

¹⁾ La statistique la plus complète existante des pluies est celle du *British Rainfall*, journal fondé par Sabine et Symons et continuée et élargie par H. R. Mill et ses successeurs Glasspole (10). Les figures dont j'ai fait usage en traçant la graphique du régime de pluies en Suède sont tirées de l'œuvre de E. Hamberg (8).

¹⁾ Cleve, Ekman, Drechsel, Herwig, Krümmel, Knudsen, Murray, Nansen et Pettersson.

Excès (+) ou défaut (—) de température de l'eau autour de la zone de fonte à Terre Neuve en août	Excès (+) ou défaut (—) de température de l'eau de surface au milieu de l'Océan Atlantique l'année suivante	Excès (+) ou défaut (—) de pluie en Irlande l'année d'après en centaines
1900 $\Delta t^{\circ} = -0^{\circ}.85$	1901 $\Delta t^{\circ} = -0^{\circ}.18$	1902 $\Delta = -8\%$
1901 » $= +0^{\circ}.35$	1902 » $= +1^{\circ}.12$	1903 » $= +24\%$
1902 » $= -1^{\circ}.35$	1903 » $= -0^{\circ}.18$	1904 » $= +1\%$ ¹⁾
1903 » $= -2^{\circ}.15$	1904 » $= -0^{\circ}.88$	1905 » $= -11\%$
1907 » $= -3^{\circ}.85$	1908 » $= -0^{\circ}.28$	1909 » $= -7\%$ ²⁾
1908 » $= +1^{\circ}.25$	1909 » $= +0^{\circ}.52$	1910 » $= +9\%$
1910 » $= +1^{\circ}.6$	1911 » $= +0^{\circ}.42$	1912 » $= +8\%$

Pour approfondir cette probabilité nous avons besoin d'un matériel d'observations minutieuses et exactes pendant des périodes suffisantes. Mais les observations doivent être indépendantes de l'observateur et devenir pour ainsi dire une méthode mécanique.

Dans ce but, j'ai fait construire un instrument photographique d'enregistrement automatique des températures de surface. L'instrument peut être installé à bord des navires d'observations et les films après chaque voyage seraient expédiés directement au Bureau pour y être développés et le résultat publié.

La méthode admet une exactitude à deux décimaux d'un degré près, ce qui, d'après ce que nous venons de constater, peut être considéré désirable, vu que les variations elles-mêmes ne sont pas grandes, d'autant plus que dans l'Atlan-

tique, comme on le sait, la température dans ses variations est en même temps un exposant de la salinité.

Il est absolument nécessaire de continuer les observations du Bulletin et les rendre encore plus complètes en leur faisant embrasser encore d'autres régions, résultat qu'on ne peut atteindre que par une coopération internationale centralisée et bien conduite, comme celle établie par le Bureau de Copenhague.

Un Bureau International coopérant avec les Instituts de Bilt en Hollande, de Hambourg, de Copenhague, des îles Açores et autres lieux, publiant à de courts intervals des rapports exacts sur la température de surface, par exemple de certaines lignes transocéaniques, sera d'une grande importance pour l'Hydrographie aussi bien que pour la Météorologie et la Biologie.

LITTÉRATURE

- 1) Der Golfstrom und Standpunkt der thermometrischen Kenntniss des Nord-Atlantischen Oceans und Landgebiets im Jahre 1870 (Petermanns Mitteilungen, 1870).
H. N. Dickson. The circulation of the surface waters of the North Atlantic Ocean (Phil. Trans. Series A, vol. 196, London 1901).
P. T. Cleve, G. Ekman, O. Pettersson. Les variations annuelles de l'eau de surface de l'Océan Atlantique (Göteborg 1901).
H. Liepe. Temperaturschwankungen der Meeres-Oberfläche von Ouessant bis St. Pauls-Fels (Ann. d. Hydr. 1911).
J. Peterssen. Unperiodische Temperaturschwankungen im Golfstrom und deren Beziehung zu der Luftdruckverteilung (Ann. d. Hydr. 1910).
Helland-Hansen und Fridtjof Nansen. Temperaturschwankungen des Nordatlantischen Ozeans und in der Atmosphäre (Videnskapsselskapets Skrifter, I. Math.-Naturv. Klasse 1916 N:o 9, Christiania).
- 2) *Georg Wüst.* Florida und Antillenstrom (Veröffentl. des Instituts f. Meereskunde, Neue Folge, H. 12, 1925, Berlin).
- 3) *John Murray and Johan Hjort.* The Depths of the Ocean (1912, London).
- 4) *J. N. Nielsen.* Golfstrømmen. Geografisk Tidsskrift I. 1925.
- 5) *L. Mecking.* Die Eistrift aus dem Bereich der Baffin Bay (Veröffentl. des Instituts f. Meereskunde H. 7, 1905, Berlin).
- 6) *O. Pettersson.* On the influence of ice-melting upon oceanic Circulation (Svenska Hydrografisk Biologiska Kommissionens Skrifter II).
- 7) *J. Schmidt.* Danske Undersøgelser i Atlanterhavet og Middelhavet over Ferskvandsaalsens Biologi (Skrifter udgiv. af Dansk Kommission for Havundersøgelser).
- 8) *H. E. Hamberg.* Les pluies en Suède 1860—1910 (Bihang till Meteorolog. Iakttagelser i Sverige, Vol. 52, 1910).
- 9) *C. V. L. Charlier.* Einführung in d. Mathem. Statistik (Scientia publ., Lund).
- 10) Meteorological Magazine 1923.
- 11) The Marine Observer 1926 (March) contient deux cartes de courants donnant les vitesses moyennes du courant de dérive Atlantique au 50° degré de Lat. N. = env. 3.8—4 milles en 24 hrs en direction Ouest, au mois de Février, ce qui est une confirmation imprévue et importante des données page 9.

¹⁾ En 1904 on avait en Angleterre et le pays de Galles un excès de pluie de 11,5 %.

²⁾ Les observations en 1906 étaient incomplètes.

TABLES DES CORRÉLATIONS

Pour arriver à une plus grande certitude possible à l'égard des différentes conclusions tirées de mon matériel, j'ai prié M. Martens, premier assistant à la Commission Hydro-Biologique Suédoise de soumettre les différents calculs de mon ouvrage à un examen mathématique. M. Martens a très aimablement mis à ma disposition la table ci-dessous contenant le résultat de ses critiques, basée sur l'ouvrage de M. le Professeur C. V. L. Charlier.

A. Température de l'air à Madère à l'égard de celle de la surface de la mer à D₃ (Ecart annuels).

$$r = + 0.86 \pm 0.07$$

B. Température de surface de D₂ à l'égard de celle de D₃ (Ecart annuels). $r = + 0.67 \pm 0.15$

C. Température de surface de H₄ à l'égard de celle de H₂₉ (Ecart annuels). $r = + 0.10 \pm 0.26$

D. Température de l'air aux Bermudes à l'égard de celle de H₄ (Ecart annuels). $r = - 0.03 \pm 0.27$

E. Température de surface de H₂₉ à l'égard de celle de Da₂ avec un an de retard (Ecart annuels).
 $r = + 0.50 \pm 0.20$

F. Température de surface de H₁₂-H₂₆ (mois d'août) à l'égard de celle de Da₂ (toute l'année) avec un an de retard.
 $r = + 0.46 \pm 0.21$

G. Température de surface de Da₂ à l'égard de celle de la pluie en Irlande avec un an de retard.
 $r = + 0.64 \pm 0.16$

Table de corrélation entre la température de l'air à Madère et celle de la surface de la mer à D₃.

Moyenne prelim.: Année	Madère 17.98 x	D ₃ 17.57 y	x ²	xy	y ²	x+y	(x+y) ²
1900.....	+ 0.46	+ 0.43	0.2116	+ 0.1978	0.1849	+ 0.89	0.7921
1901.....	+ 0.18	+ 0.09	0.0324	+ 0.0162	0.0081	+ 0.27	0.0729
1902.....	+ 0.38	+ 0.13	0.1444	+ 0.0494	0.0169	+ 0.51	0.2601
1903.....	+ 0.11	+ 0.13	0.0121	+ 0.0143	0.0169	+ 0.24	0.0576
1904.....	- 0.03	- 0.07	0.0009	+ 0.0021	0.0049	- 0.10	0.0100
1905.....	+ 0.05	- 0.07	0.0025	- 0.0035	0.0049	- 0.02	0.0004
1906.....	+ 0.02	+ 0.13	0.0004	+ 0.0026	0.0169	+ 0.15	0.0225
1907.....	- 0.43	- 0.37	0.1849	+ 0.1591	0.1369	- 0.80	0.6400
1908.....	- 0.28	- 0.07	0.0784	+ 0.0196	0.0049	- 0.35	0.1225
1909.....	- 0.14	- 0.07	0.0196	+ 0.0098	0.0049	- 0.21	0.0441
1910.....	- 0.08	+ 0.03	0.0064	- 0.0024	0.0009	- 0.05	0.0025
1911.....	- 0.15	+ 0.03	0.0225	- 0.0045	0.0009	- 0.12	0.0144
1912.....	- 0.22	- 0.07	0.0484	+ 0.0154	0.0049	- 0.29	0.0841
1913.....	- 0.10	- 0.07	0.0100	+ 0.0070	0.0049	- 0.17	0.0289
	- 0.23	+ 0.18	0.7745	+ 0.4829	0.4118	- 0.05	2.1521

Moyenne exacte: 17.96 17.58
Contrôle: $- 0.23 + 0.18 = - 0.05$; $0.7745 + 2 \times 0.4829 + 0.4118 = 2.1521$
 $r = + 0.86 \pm 0.07$

Table de corrélation entre les températures de la surface de la mer à H₄ et à H₂₉.

Moyenne prelim.: Année	H ₄ 23.10 x	H ₂₉ 13.40 y	x ²	xy	y ²	x+y	(x+y) ²
1900.....	- 0.29	- 0.3	0.0841	0.087	0.09	- 0.59	0.3481
1901.....	+ 0.03	0.0	0.0009	0.000	0.00	+ 0.03	0.0009
1902.....	- 0.17	+ 0.4	0.0289	- 0.068	0.16	0.23	0.0529
1903.....	- 0.27	- 0.9	0.0729	0.243	0.81	- 1.17	1.3689
1904.....	- 0.37	- 1.2	0.1369	0.444	1.44	- 1.57	2.4649
1905.....	+ 0.03	- 0.5	0.0009	- 0.015	0.25	- 0.47	0.2209
1906.....	+ 0.03	0.0	0.0009	0.000	0.00	0.03	0.0009
1907.....	- 0.37	+ 0.3	0.1369	- 0.111	0.09	- 0.07	0.0049
1908.....	+ 0.23	+ 0.5	0.0529	0.115	0.25	0.73	0.5329
1909.....	+ 0.03	+ 0.7	0.0009	0.021	0.49	0.73	0.5329
1910.....	- 0.37	+ 0.5	0.1369	- 0.185	0.25	0.13	0.0169
1911.....	- 0.07	+ 0.7	0.0049	- 0.049	0.49	0.63	0.3969
1912.....	+ 1.13	0.0	1.2769	0.000	0.00	1.13	1.2769
1913.....	+ 0.53	- 0.3	0.2809	- 0.159	0.09	0.23	0.0529
	+ 0.10	- 0.1	2.2158	+ 0.323	4.41	0.00	7.5796

Moyenne exacte: 23.11 13.39
Contrôle: $+ 0.10 - 0.1 = 0.00$; $2.2158 + 2 \times 0.323 + 4.41 = 7.5796$
 $r = + 0.10 \pm 0.26$

Table de corrélation entre les températures de la surface de la mer à D₂ et à D₃.

Moyenne prelim.: Année	D ₂ 21.65 x	D ₃ 17.57 y	x ²	xy	y ²	x+y	(x+y) ²
1900.....	+ 0.55	+ 0.43	0.3025	0.2365	0.1849	+ 0.98	0.9604
1901.....	+ 0.65	+ 0.09	0.4225	0.0585	0.0081	+ 0.74	0.5476
1902.....	+ 0.15	+ 0.13	0.0225	0.0195	0.0169	+ 0.28	0.0784
1903.....	+ 0.05	+ 0.13	0.0025	0.0065	0.0169	+ 0.18	0.0324
1904.....	- 0.15	- 0.07	0.0225	0.0105	0.0049	- 0.22	0.0484
1905.....	- 0.05	- 0.07	0.0025	0.0035	0.0049	- 0.12	0.0144
1906.....	+ 0.25	+ 0.13	0.0625	0.0325	0.0169	+ 0.38	0.1444
1907.....	- 0.45	- 0.37	0.2025	0.1665	0.1369	- 0.82	0.6724
1908.....	- 0.25	- 0.07	0.0625	0.0175	0.0049	- 0.32	0.1024
1909.....	+ 0.15	- 0.07	0.0225	- 0.0105	0.0049	+ 0.08	0.0064
1910.....	- 0.15	+ 0.03	0.0225	- 0.0045	0.0009	- 0.12	0.0144
1911.....	- 0.45	+ 0.03	0.2025	- 0.0135	0.0009	- 0.42	0.1764
1912.....	+ 0.15	- 0.07	0.0225	- 0.0105	0.0049	+ 0.08	0.0064
1913.....	- 0.45	- 0.07	0.2025	+ 0.0315	0.0049	- 0.52	0.2704
	0.00	+ 0.18	1.5750	+ 0.5440	0.4118	+ 0.18	3.0748

Moyenne exacte: 21.65 17.58
Contrôle: $0.00 + 0.18 = 0.18$; $1.5750 + 2 \times 0.5440 + 0.4118 = 3.0748$
 $r = + 0.67 \pm 0.15$

Table de corrélation entre la température de l'air aux Bermudes et celle de H₄.

Moyenne prelim.: Année	Ber- mudes 20.97 x	H ₄ 23.10 y	x ²	xy	y ²	x+y	(x+y) ²
1900.....	+ 0.7	- 0.29	0.49	- 0.203	0.0841	+ 0.41	0.1681
1901.....	- 0.2	+ 0.03	0.04	- 0.006	0.0009	- 0.17	0.0289
1902.....	- 0.9	- 0.17	0.81	+ 0.153	0.0289	- 1.07	1.1449
1903.....	+ 0.1	- 0.27	0.01	- 0.027	0.0729	- 0.17	0.0289
1904.....	- 0.2	- 0.37	0.04	+ 0.074	0.1369	- 0.57	0.3249
1905.....	+ 0.4	+ 0.03	0.16	+ 0.012	0.0009	+ 0.43	0.1849
1906.....	+ 0.2	+ 0.03	0.04	+ 0.006	0.0009	+ 0.23	0.0529
1907.....	- 0.1	- 0.37	0.01	+ 0.037	0.1369	- 0.47	0.2209
1908.....	+ 0.2	+ 0.23	0.04	+ 0.046	0.0529	+ 0.43	0.1849
1909.....	- 1.0	+ 0.03	1.00	- 0.030	0.0009	- 0.97	0.9809
1910.....	- 1.1	- 0.37	1.21	+ 0.407	0.1369	- 1.47	2.1409
1911.....	- 0.9	- 0.07	0.81	+ 0.063	0.0049	- 0.97	0.9409
1912.....	- 0.3	+ 1.13	0.09	- 0.339	1.2769	+ 0.83	0.6889
1913.....	- 0.6	+ 0.53	0.36	- 0.318	0.2809	- 0.07	0.0049
	- 3.7	+ 0.10	5.11	- 0.125	2.2158	- 3.6	7.0758

Moyenne exacte: 20.70 23.11
Contrôle: $- 3.7 + 0.10 = - 3.6$; $5.11 - 2 \times 0.125 + 2.2158 = 7.0758$
 $r = - 0.03 \pm 0.27$

Table de corrélation entre les températures de la surface de la mer à H_{29} et à Da_2 avec un an de retard.

Moyenne prelim.: Année	H_{29} 13.40 x	Année	Da_2 9.69 y	x^2	xy	y^2	x+y	$(x+y)^2$
1900.....	- 0.3	1901	- 0.18	0.09	+ 0.054	0.0324	- 0.48	0.2304
1901.....	0.0	1902	+ 1.12	0.00	0.000	1.2544	+ 1.12	1.2544
1902.....	+ 0.4	1903	- 0.18	0.16	- 0.072	0.0324	+ 0.22	0.0484
1903.....	- 0.9	1904	- 0.88	0.81	+ 0.792	0.7744	- 1.78	3.1684
1904.....	- 1.2	1905	- 0.28	1.44	+ 0.336	0.0784	- 1.48	2.1904
1905.....	- 0.5	1906	- 0.18	0.25	+ 0.090	0.0324	- 0.68	0.4624
1906.....	0.0	1907	- 0.28	0.00	0.000	0.0784	- 0.28	0.0784
1907.....	+ 0.3	1908	- 0.28	0.09	+ 0.084	0.0784	+ 0.02	0.0004
1908.....	+ 0.5	1909	+ 0.52	0.25	+ 0.260	0.2704	+ 1.02	1.0404
1909.....	+ 0.7	1910	+ 0.42	0.49	+ 0.294	0.1764	+ 1.12	1.2544
1910.....	+ 0.5	1911	+ 0.42	0.25	+ 0.210	0.1764	+ 0.92	0.8464
1911.....	+ 0.7	1912	+ 0.16	0.49	+ 0.112	0.0256	+ 0.86	0.7396
1912.....	0.0	1913	- 0.78	0.00	0.000	0.6084	- 0.78	0.6084
	+ 0.2		- 0.40	4.32	+ 1.992	3.6184	- 0.20	11.9224

Moyenne exacte: 13.42

9.66

Contrôle: $+ 0.2 - 0.40 = - 0.20$; $4.32 + 2 \times 1.992 + 3.6184 = 11.9224$

$r = + 0.50 \pm 0.20$

Table de corrélation entre les températures de la surface de la mer à $H_{12}-H_{26}$ et à Da_2 avec un an de retard

Moyenne prelim.: Année	$H_{12}-H_{26}$ (août) 20°,05 x	Année	Da_2 9°,69 y	x^2	xy	y^2	x+y	$(x+y)^2$
1900.....	- 0.85	1901	- 0.18	0.7225	+ 0.1530	0.0324	- 1.03	1.0609
1901.....	+ 0.35	1902	+ 1.12	0.1225	+ 0.3920	1.2544	+ 1.47	2.1609
1902.....	- 1.35	1903	- 0.18	1.8225	+ 0.2430	0.0324	- 1.53	2.3409
1903.....	- 2.15	1904	- 0.88	4.6225	+ 1.8920	0.7744	- 3.03	9.1809
1904.....	- 1.55	1905	- 0.28	2.4025	+ 0.4340	0.0784	- 1.83	3.3489
1905.....	- 0.75	1906	- 0.18	0.5625	+ 0.1350	0.0324	- 0.93	0.8649
1906.....	-	1907	- 0.28	-	-	-	-	-
1907.....	- 3.85	1908	- 0.28	14.8225	+ 1.0780	0.0784	- 4.13	17.0569
1908.....	+ 1.25	1909	+ 0.52	1.5325	+ 0.6500	0.2704	+ 1.77	3.1329
1909.....	+ 1.20	1910	+ 0.42	1.4400	+ 0.5040	0.1764	+ 1.62	2.6244
1910.....	+ 1.65	1911	+ 0.42	2.7225	+ 0.6930	0.1764	+ 2.07	4.2849
1911.....	+ 1.35	1912	+ 0.16	1.8225	+ 0.2160	0.0256	+ 1.51	2.2801
1912.....	+ 1.60	1913	- 0.78	2.5600	- 1.2480	0.6084	+ 0.82	0.6724
	- 3.10		- 0.12	35.1850	+ 5.1420	3.5400	- 3.22	49.0090

Moyenne exacte: 19°,79

9°,68

Contrôle: $35.1850 + 2 \times 5.1420 + 3.5400 = 49.0090$

$r = + 0.46 \pm 0.21$

Table de corrélation entre la température de la surface de la mer à Da_2 et la pluie en Irlande avec un an de retard.

Moyenne prelim.: Année	Da_2 9.69 x	Année	Irlande 100 y	x^2	xy	y^2	x+y	$(x+y)^2$
1900.....	+ 0.52	1901	- 4	0.270	- 2.08	16	- 3.48	12.110
1901.....	- 0.18	1902	- 8	0.032	+ 1.44	64	- 8.18	66.912
1902.....	+ 1.12	1903	+ 24	1.254	+ 26.88	576	+ 25.12	631.014
1903.....	- 0.18	1904	+ 1	0.032	- 0.18	1	+ 0.82	0.672
1904.....	- 0.88	1905	- 11	0.774	+ 9.68	121	- 11.88	141.134
1905.....	- 0.28	1906	- 7	0.078	+ 1.96	49	- 7.28	52.998
1906.....	- 0.18	1907	- 1	0.032	+ 0.18	1	- 1.18	1.392
1907.....	- 0.28	1908	- 4	0.078	+ 1.12	16	- 4.28	18.318
1908.....	- 0.23	1909	- 7	0.078	+ 1.96	49	- 7.28	52.998
1909.....	+ 0.52	1910	+ 9	0.270	+ 4.68	81	+ 9.52	90.630
1910.....	+ 0.42	1911	- 4	0.176	- 1.68	16	- 3.58	12.816
1911.....	+ 0.42	1912	+ 8	0.176	+ 3.36	64	+ 8.42	70.896
1912.....	+ 0.16	1913	+ 6	0.026	+ 0.96	36	+ 6.16	37.946
1913.....	- 0.78	1914	+ 8	0.608	- 5.46	64	+ 7.22	52.128
	+ 0.12		+ 10	3.884	+ 42.82	1154.0	+ 10.12	1241.964

Moyenne exacte: 9.66

Contrôle: $+ 0.12 + 10 = 10.12$; $3.884 + 2 \times 42.82 + 1154.0 = 1241.964$

$r = + 0.64 \pm 0.16$

EN VUE D'UN CONTRÔLE

Dans les tables précédentes j'ai donné sous x et y les chiffres des écarts sur lesquels les représentations graphiques sont fondées. Les écarts ainsi que les moyennes annuelles de la température de l'eau se trouvent dans les tableaux

du Bulletin Atlantique. Quant aux températures de l'air, on aura recours aux tableaux contenues dans les publications de la Société Météorologique Anglaise: Meteorological Magazine 1923.

ÜBERSICHT

In diesem Vortrage habe ich einen Versuch gemacht die Zahlen der hydrographischen Statistik des Nordatlantischen Ozeans die in dem Bulletin Hydrographique des Central-Ausschusses der Internationalen Meeresforschung enthalten sind mit den entsprechenden der meteorologischen Statistik über Lufttemperaturen und Regenmengen zu vergleichen um festzustellen, ob ein gemeinsamer Verlauf der respektiven Kurven in der Hauptsache bestehe. Zu diesem Zweck habe ich die jährliche Temperaturdurchschnitte des Oberflächenwassers in den verschiedenen Feldern (siehe Karte) die in den Tabellen des Bulletin Atlantique enthalten sind sowie die entsprechenden meteorologischen Daten (der Symons's Meteorological Magazine und anderer) berechnet und zusammengestellt.

Ich habe es als zweckmässig erkannt die jährlichen vielmehr wie die monatlichen Durchschnitte zu vergleichen um damit der Untersuchung wegen eine 10 bis 12 Mal erweiterte Unterlage von Tatsachen zu erhalten, obwohl eine ähnliche Verallgemeinerung verschiedene interessante Umstände unserer Aufmerksamkeit entziehen werde. Wir müssen uns überhaupt dazu beschränken nur die allerwichtigsten Veränderungen des ozeanischen Kreislaufes zu erfassen.

Endlich müssen wir uns damit befriedigen, nur insofern zu einem zuverlässigen Erfolg zu gelangen als dieser in der Form einer mathematischen Korrelation sich feststellen lässt, ungeachtet dass die zu ziehenden Schlussfolgerungen einer Anzahl von verschiedenen Hunderttausenden von Einzelbeobachtungen entstammen.¹⁾

Die Diagramme wiedergeben die ganzen Abweichungen x und y vom Jahresdurchschnitt — in einem Fall nur vom Durchschnitt des Monats — woraus der Koeffizient r ebenso wie die Dispersion berechnet sind.

Die wichtigsten Schlussfolgerungen für den untersuchten Zeitabschnitt der 14 Jahre (1900—1913) sind die folgenden.

I. *Es besteht ein deutlicher Zusammenhang unter der Durchschnittstemperatur der Luft in ozeanischen Inseln wie Madeira und der Oberfläche des umgebenden Ozeans. Der Verlauf der Kurven beider Temperaturreihen ist gleichartig, nur dass die Temperatur des Wassers immer höher ist als die der Luft.*

Ein ähnlicher Vergleich wie unter Madeira und dem Felde D_3 ist für die Bermudasinseln und das Sargassomeer nicht durchführbar auf Grund des Mangels an regelmässigen Beobachtungen im letzteren. Ein Vergleich der Wärmeschwankungen des Sargassomeeres mit denen des eigentlichen Golfstromes ergibt sich als negativ. Hier wurde eine direkte Übereinstimmung von dem grössten Interesse gewesen sein weil die Untersuchung Wüsts auf Grund amerikanischer Tiefnotungen als eine Tatsache — neulich wieder bestätigt von dem dänischen Hydrographen Nielsen a. b.

SUMMARY

In this lecture I have endeavoured to compare the hydrographic statistics from the N. Atlantic contained in the Hydrographic Bulletin of the international Council (surface-temperature observations of 14 years 1900—1913) with simultaneous meteorological statistics of air temperatures and rainfall in order to ascertain the correlations existing between both kinds of phenomena. I have calculated the annual mean surface-temperature of each square (see the chart) from the tables in the Bulletin Atlantique (1900) and the corresponding meteorological data from the Meteorological Journal, the Meteorological Magazine a. O.

I have found it preferable to compare annual rather than monthly means in order to obtain a larger (10 to 12 times greater) basis of facts for the scrutiny, although by this generalisation a number of interesting details will escape our attention and we must content ourselves with a bird's-eye view of the most prominent changes in the oceanic circulation and its effects upon the climate.

Moreover we must, although the following conclusions are derived from a material of some hundred thousands of individual observations, renounce from the pretention of certainty¹⁾ and content ourselves with such a degree of probability as afforded by the mathematical scrutiny through the method of correlation.

The diagrams give in extenso the departures x and y from the annual (in a certain case from the monthly) means from which the coefficient r of correlation and the «dispersion» are computed.

The main results are for the period of 14 years investigated (1900—1913), the following:

I. *There exists a fair relation between the average air-temperature of oceanic islands as Madeira and the surface-temperature of the surrounding ocean. The trend of both curves is similar, the mean temperature of the water always being higher than that of the air (Madeira).*

A comparison between the Bermuda Islands and the Sargasso Sea similar to that between Madeira and D_3 turned out to be impossible on account of the lack of systematic observations from the Sargasso Sea. If we compare the variations of temperature of the Sargasso Sea with those of the Gulfstream proper the result obtained is a negative one. A direct comparability would here have been of special interest because professor Wüsts discussion of American deep-soundings bears out the fact — recently confirmed by the hydrographer Dr. Nielsen of the Dana expedition — that there exists an influx of hot and salt water from the Sargasso Sea westwards towards the eastern shelf of the N. American continent which accounts for the extraordinarily high temperature and salinity of the waters of the Gulfstream.

¹⁾ Die hauptsächliche Ursache hierzu ist die Kurze des Zeitabschnittes (14 Jahre) der den Beobachtungen zu Grunde liegt.

¹⁾ Principally on account of the short space of time (14 years) which the observations embrace.

der »Dana« — ergeben hat, dass ein Ausfluss von warmem und salzem Wasser aus der Sargassosee gegen den östlichen Kontinentalabsatz von Nordamerika bestehen muss wovon die ausserordentlich hohe Temperatur sowie Salzgehalt des Golfstromwassers herzuleiten ist.

II. Dieser Ausfluss der Sargassosee die der Laichplatz des amerikanischen Aales (*Anguilla brevirostris*) ist, dient als Beförderungsmittel der Larven und Jungen dieser Fischart nach der amerikanischen Küste.

III. Der eigentliche Golfstrom ist gekennzeichnet durch Temperaturschwankungen von dem einem Jahr zum anderen. Weil aber keine Ähnlichkeit besteht unter diesen und den entsprechenden des Atlantischen Ozeans nördlich der 45 Parallele (eine Korrelationsrechnung ergibt Null) können wir nicht hoffen vermittels Temperaturbeobachtungen des Golfstromes etwaige Voraussagen betreffend dem Klima Europas zu erhalten.

IV. Es lässt sich jedoch feststellen dass ein grosser Teil des Golfstromwassers die grosse nordatlantische Wassertrift nach Osten erreicht und davon aufgenommen wird.

Am Ende der Eisschmelzung d. h. nach dem Zeitraum März—Juni, finden wir die Schmelzungszone östlich von New-Foundland von einem Gürtel dem Golfstrom entstammenden warmen Wasser umgeben. Dies ist tatsächlich der erste Zweig jenes Stromes, der bis weit nördlich in den grossen nordatlantischen Bassin hervordringt, während das Übrige sich östlich der 40 Latitude verbreitet.

V. Dieser nördliche Zweig des Golfstromes ist durch eine jährliche Anschwellung im Sommer gekennzeichnet. Seine Ebbezeit ist im Januar, wo der Temperaturzuwachs seines Wassers im Verhältnis zu dem umgebenden Ozean sich wieder ausgleicht. (Siehe H_{12} , H_{13} , H_{19} , H_{20} , H_{26}).

Die weltumspannenden Untersuchungen des Dr J. Schmidt über die Lebensentwicklung und die Wanderungen der verschiedenen Arten des Aals haben eine bemerkenswerte Tatsache ans Licht gezogen, die dazu geeignet ist das Interesse der Hydrographen zu erwecken.

VI. Die Art — *Anguilla brevirostris* — die in den Küstengebieten und Flüssen des östlichen Nordamerikas heimisch ist und seine Laichstätte in der westlichen Sargassosee hat, ist nicht nur bis in den Flüssen der Labradorküste gefunden worden sondern auch im südlichen Teil von Grönland, während der Aal bei Island einer anderen Art, der europäischen (*Anguilla vulgaris*) gehört. Die einzige Erklärung hierzu muss sein, dass die Larven beider von ihrer Entstehungsstelle in der Sargassosee aus, verschiedenen Zweigen des Golfstromes verfolgen, die eine Art nach den westlichen Küstengebieten Europas, die andere nach der Ostküste Nordamerikas. Stimmt diese Behauptung, ist es wahrscheinlich dass der den gezeichneten Feldern durchziehende Zweig des Golfstromes den Weg der amerikanischen Aallarven nach Labrador und Grönland kennzeichnet.

Die Zersplitterung des eigentlichen Golfstromes südlich von New-Foundland ist verursacht durch den Zusammenstoss mit dem Labradorstrom. Nach der Eisschmelzungstheorie von O. Pettersson, entsteht wenn Eis im Meereswasser schmilzt ein Heranziehen von warmem Wasser. In diesem Fall wird das Golfstromwasser herangezogen und zwar nach Norden und Westen hin mit einer Kraft gross

II. This influx from the Sargasso Sea, which is the birth-place of the american species of eel, *Anguilla brevirostris*, serves as means of transport for the *Leptocephalides* of this species to the American shores.

III. The Gulfstream proper shows variations of temperature from one year to another, but as the correlation of these variations with the temperature-changes of the boreal part of the Atlantic north of the 45th Latitude is nil, we can not hope to obtain forecasts as to the effect of the Atlantic current upon the climate of Europe from observations made in waters of the Gulfstream proper.

Nevertheless it can be shown that a great part of the water of the Gulfstream passes over and merges into the great Atlantic drift-current (part IV contains a study of the effect of the encounter of the Gulfstream with the Labrador Current).

IV. After the close of the ice-melting season which lasts from March to July we find the melting zone east of Newfoundland surrounded by a belt of warm water from the Gulfstream. This is in fact the first branch of that stream which takes a northerly course and penetrates into the great North Atlantic basin while the remainder pursues its easterly (and southerly) course south of the 40th Latitude.

V. This northerly branch of the Gulfstream in the boreal part of the Atlantic has a seasonal flow in summer, since it ebbs out in January when its surplus of temperature (see squares H_{12} , H_{13} , H_{19} , H_{20} , H_{26}) over the surrounding areas ceases (see p. 8 C).

During the world-wide research started by Dr Johannes Schmidt on the life-cycle and the migrations of the different species of eel in the ocean a remarkable fact has been discovered which is apt to attract the attention of hydrographers:

VI. The species *Anguilla brevirostris* which inhabits the estuaries and rivers of the east coast of N. America and has its breeding place in the western part of the Sargasso Sea, is found not only in the rivers of the Labrador coast but also in the southernmost part of Greenland while the eel of Iceland belongs to another species: the European eel, *Anguilla vulgaris*. The only explanation of this is that the *Leptocephalides* of both species from their common birth place in the Sargasso Sea, follow different branches of the Gulfstream, one species to the shores of Europe and Iceland, the other to the coast of the U.S., Canada and Greenland. If this supposition should prove to be right, it seems probable that the branch of the Gulfstream which passes through the squares marked with red on the chart p. 8 is the pathway of the American eel to Labrador and Greenland.

The cleavage of the Gulfstream south of Newfoundland is caused by its encounter with the Labrador current. According to the theory propounded by O. Pettersson the melting process of ice in sea-water exerts an attraction on the warm water current which in this case deviates its water in a northerly and westerly direction, thus overcoming the impulse of the Earth's rotation. From this point of view it seems evident that the amount of Gulfstream-water deviated to the North in spring and summer must stand in proportion to the quantity of ice carried southwards by the Labrador current.

VII. In part IV I have tried to introduce a new method to

Carte bathymetrique

Profondeurs:



Limite des glaces

en derive:



Carrés sous discussion



Carrés non discutés

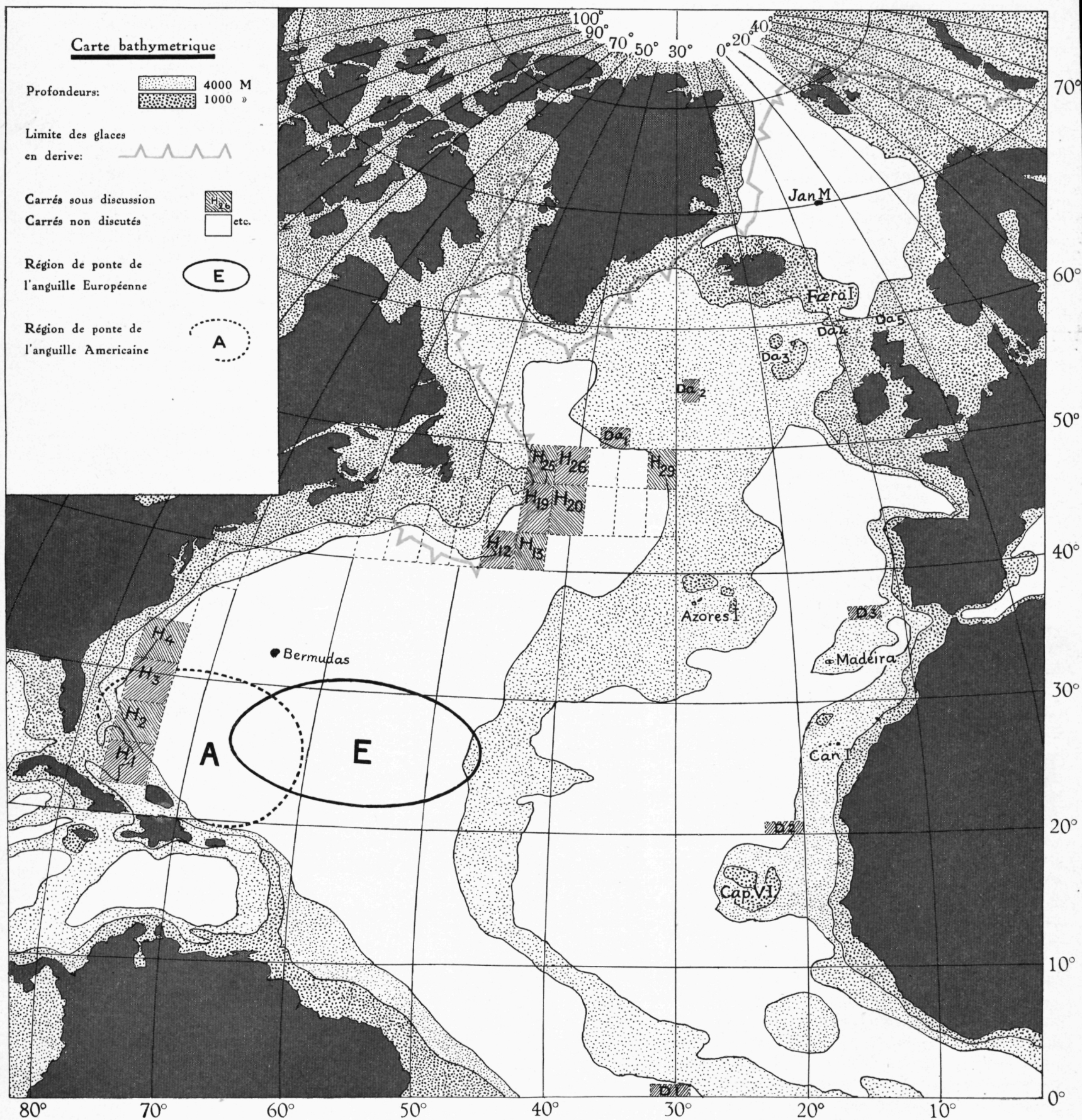


etc.

Région de ponte de
l'anguille Européenne



Région de ponte de
l'anguille Américaine



genug um die der Erddrehung zu überwinden. Aus diesem Gesichtspunkt scheint es einzuleuchten, dass die Masse vom Golfstromwasser die im Frühling und während der Sommerzeit nach der Eisschmelzungszone hin herangezogen wird.

Ich habe eine teilweise Schätzung des Effekts bei dem Eisschmelzungsprozess versucht, durch Berechnung der Abweichungen der Oberflächentemperaturen vom Durchschnitt in den Feldern H_{12} , H_{13} , H_{19} , H_{20} , H_{26} , während der Monate Juni, Juli, August. In der Meeresgegend um New-Foundland findet sich folgentlich im Sommer sowie im Herbst an der Oberfläche und zwar nördlich bis an der Grenze der Schmelzzone Wasser von vom Jahr zum anderen verschiedenen Temperaturen verbreitet. Dieses Wasser wird mit der grossen nordatlantischen Trift quer über dem Ozean nach Osten hin geführt. Nehmen wir den Monat August, der immer die höchste Temperatur aufweist, als ausschlaggebend, können wir versuchen eine Korrelation zwischen der Oberflächentemperatur des Gesamtfeldes H_{12} , H_{13} u. s. w. für diesen Monat und der durchschnittlichen Jahrestemperatur mitten im Ozean zwischen der Eisschmelzungszone und der Westküste Irlands festzustellen, um welchen Zweck wir die Beobachtungszahlen des Feldes Da_2 heranziehen.

VII. Das Diagramm Seite 10 ergibt dass der Einfluss einer besonders hoher bzw. niedriger Temperatur der Oberfläche an der Schmelzungszone erst im Laufe des folgenden Jahres an dieser Stelle mitten im Ozean bemerkbar ist. Es entsteht alsdann die Frage: Wann wird jener Einfluss die europäische Küste erreichen?

Die Antwort dieser Frage habe ich in der Weise gesucht, dass ich die Wassertemperatur in Da_2 an ihren Jahresabweichungen vom Mittel mit den Regenfällen von Irland, England und Südschweden verglichen habe. Das Ergebnis dieser Untersuchung findet sich im Diagramm p. 10.

Weil die Zuverlässigkeit der Schlussfolgerungen zu der Länge des untersuchten Zeitabschnittes — hier nur 14 Jahre — in direktem Verhältnis steht, muss man dringend nach einer Fortsetzung der Untersuchung verlangen und zwar unter Verwendung von modernen selbstregistrierenden Instrumenten, worüber bald eine Mitteilung erscheinen wird.

Das Endziel einer Untersuchung dieser Art muss sein, Voraussagungen auf langer Sicht von klimatischen Veränderungen eingreifender Bedeutung zu ermöglichen gemäss dem Programm der internationalen Konferenz in Stockholm im Juni 1899, ausgearbeitet von den Urhebern der internationalen Meeresforschung.

“——— 6. Gegenstand der Untersuchung sollten also nicht nur die rein hydrographischen Verhältnisse sein sondern auch

a) die Beziehungen zu der Meteorologie. In den letzten Jahren ist der Zusammenhang zwischen den hydrographischen und den meteorologischen Phänomenen klarer hervorgetreten. Die genauen Temperaturserien, welche bei einer hydrographischen Durchforschung der Meere gleichzeitig an verschiedenen Stationen genommen werden, bilden ein äußerst wertvolles Observationsmaterial für das Verständnis der klimatischen Veränderungen von kurzer Periode in Nordeuropa. Auch ist es von Wichtigkeit, gleichzeitige Beobachtungen der gewöhnlichen meteorologischen Daten: Luftdruck, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit u. s. w. auf dem offenen Meer zu verschiedenen Jahreszeiten anzustellen...“

estimate the effect of the yearly ice-melting process, by measuring the average departure of the water-temperature in the areas H_{12} , H_{13} , H_{19} , H_{20} , H_{26} from the mean temperature in June, July and August.

In the sea off Newfoundland there will be found in summer and in autumn a region of warmer or colder surface-water spread over a great area bordering the ice-melting zone. This mass of water will be carried eastward with the Atlantic drift-current across the ocean. If we take the month of August which always shows the highest temperature for an exponent, we can try to find a correlation between the surface temperature of the area H_{12} , H_{13} etc. . . . in this month and the mean annual temperature of the water in the square Da_2 situated midway in the ocean between the ice-melting zone and the coast of Ireland.

VIII. The diagram on p. 10 shows that the influence of a high (or low) water-temperature found in August in the bordering zone appears, not in the course of the same year, but in the course of the next one, in the midst of the ocean. The question then arises: when will the influence of this water-transport reach Europe? And what will be the effect?

I have tried to find an answer to these questions by correlating the water-temperatures in Da_2 with the rainfall in Ireland, England and Sweden with the result shown in the diagram p. 10 (see also p. 11 & 12).

The uncertainty of conclusions based upon a series of observations of only 14 years demands urgently a continued research and the necessity of accurate measurements of the small differences in the water-temperature requires the introduction of new and automatically recording instruments of which a description will soon appear.

The ultimate aim of researches of this kind is to arrive at long-range forecasts of imminent changes in the climate according to the program laid down at the conference of Stockholm in June 1899 by the founders of the international study of the sea.

Extract from:

»Programme for the hydrographical and biological work in the Northern parts of the Atlantic Ocean, the North Sea, the Baltic and adjoining Seas.

A. The hydrographical work.

I.

The hydrographical researches shall have for their object: the distinction of the different water-strata, according to their geographical distribution, their depths, their temperature, salinity, gas-contents, plankton and currents, in order to find the fundamental principles not only for the determination of the external conditions of the useful marine animals, but also for weather-forecasts for extended periods in the interests of agriculture.»

Mezāta