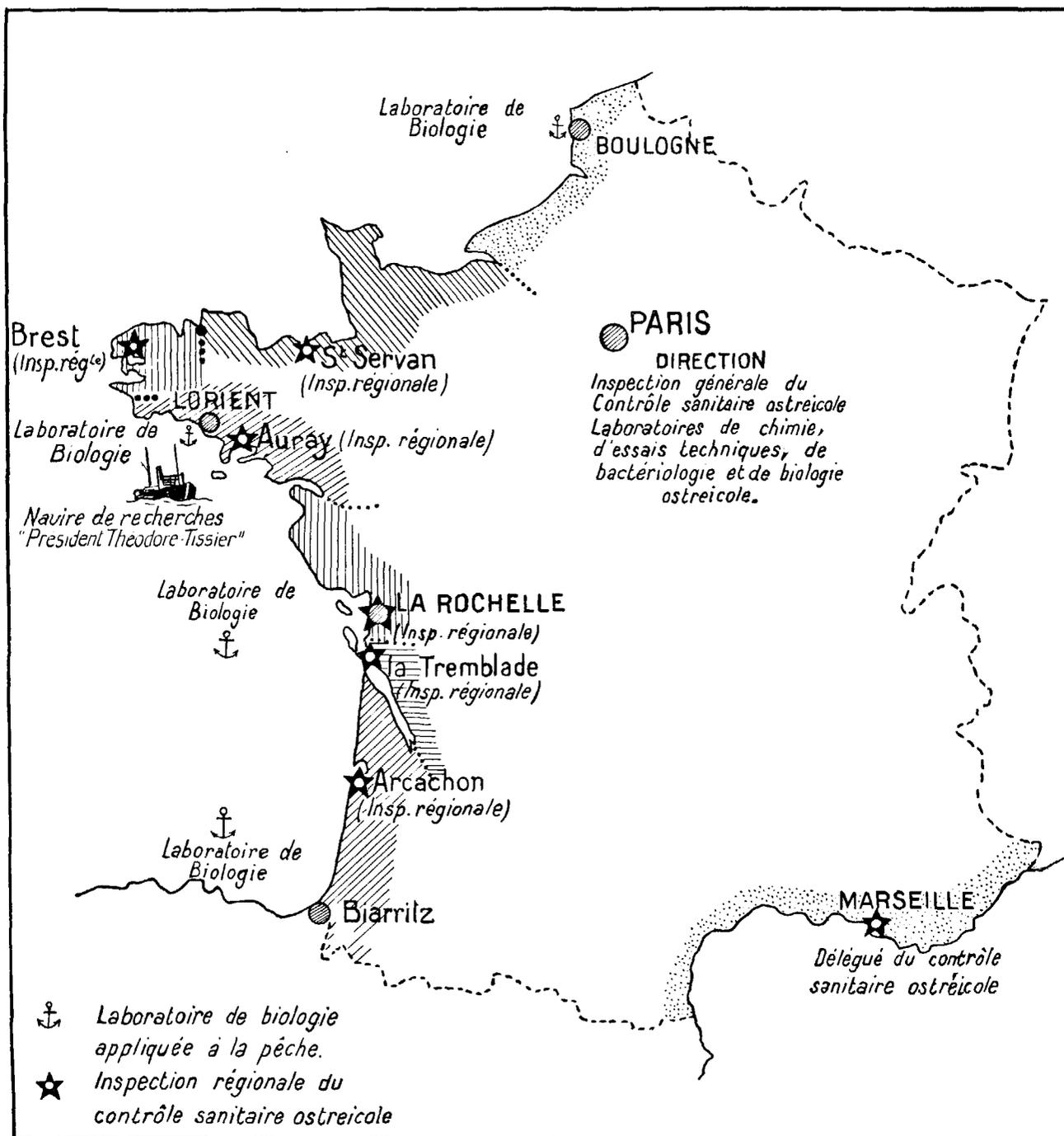


ED. LE DANOIS

Docteur ès Sciences

Directeur de l'Office Scientifique et Technique des Pêches Maritimes

/ LES TRANSGRESSIONS OCÉANIQUES. /



Pour tous Renseignements concernant

la Pêche et l'Ostréiculture...

ADRESSEZ-VOUS

**Aux Représentants de l'Office des Pêches
 à Paris ou sur la Côte**

REVUE DES TRAVAUX
DE L'OFFICE DES PÊCHES MARITIMES.

Tome VII. — Fascicule 4.

N° 28.

SOMMAIRE.

Ed. LE DANOIS. — Les transgressions océaniques.

PRÉFACE	373
INTRODUCTION.....	375

CHAPITRE PREMIER.

Les eaux atlantiques.

A. Principe de l'immixibilité des eaux.....	381
B. Classification des eaux atlantiques	383
C. Distribution des diverses eaux atlantiques.....	386

CHAPITRE II.

Les mouvements des eaux atlantiques.

A. Les transgressions océaniques.....	391
B. Causes et périodicité des transgressions.....	402
C. Courants marins.....	412

CHAPITRE III.

Les transgressions dans la partie orientale de l'Atlantique nord.

A. Zone subtropicale de l'ancien continent	416
B. Zone des eaux ibériques occidentales.....	424
C. Zone du golfe de Gascogne	428
D. Zone du sud-ouest des Iles Britanniques.....	436
E. Zone du nord des Iles Britanniques et Mer du Nord.....	448
F. Zone des mers boréales européennes.....	452

TABLE DES FIGURES.

	Pages.
Fig. 1. Une carte ancienne du Gulf-Stream, par B. FRANKLIN	377
— 1 bis. Une carte nouvelle du Gulf-Stream ou Courant de Floride.....	377
— 2. La mer sans oxygène du Pacifique (d'après Johs. SCHMIDT).....	382
— 3. Coupe schématique du nord au sud de l'Atlantique, montrant la distribution des diverses catégories d'eaux de cet océan (inspiré de Wüstr)	Hors-texte.
— 4. Exemple de stabilisation hivernale (coupe N. S. le long du 6°30' W. G. en avril 1922, de l'Irlande au bord du plateau continental).....	393
— 5. Les transgressions, au moment de leur maximum d'extension.....	394
— 6. Les transgressions, au moment de leur maximum de rétraction	395
— 7. Répartition des salinités à la surface de l'Océan Atlantique (d'après SCHOTT)	397
— 8. Situation d'une borne d'eaux à 11° dans la première quinzaine d'août 1927.....	399
— 9. Situation de la même borne dans la seconde quinzaine d'août 1927.....	399
— 10. Variation des axes transgressifs au sud-ouest des Iles Britanniques.....	400
— 11. Schéma général de la périodicité des transgressions	405
— 12. Schéma de la périodicité des transgressions de 1885 à 1939	406
— 13. Rapports des ondes de 93 et de 111 années de période	409
— 14. Rythme périodique des glaciations pléistocènes.....	410
— 15. Disposition des bancs et archipels de la zone subtropicale de l'ancien continent	417
— 16. Commencement du mouvement transgressif autour des îles Canaries, 50 mètres, janvier 1925.....	418
— 17. Centre de résistance des îles Salvages à l'avance des transgressions, 300 mètres, janvier 1925.....	419
— 18. Continuation du même phénomène en été, 250 mètres, juin 1926 (d'après R. DE BUEN)	420
— 19. Mouvement transgressif au large du Maroc (décembre 1933), 50 mètres. Salinités. (Croisière du <i>Président Théodore Tissier</i>)	421
— 20. Mouvement transgressif au large du Maroc (décembre 1933), 100 mètres. Salinités. (Croisière du <i>Président Théodore Tissier</i>).....	422
— 21. Mouvement transgressif au large du Maroc (décembre 1933), 100 mètres. Températures. (Croisière du <i>Président Théodore Tissier</i> .)	423
— 22. Isohalines du détroit de Gibraltar (d'après SCHOTT)	425
— 23. Isothermes du détroit de Gibraltar (d'après SCHOTT)	425
— 24. Position des eaux transgressives et méditerranéennes devant le détroit de Gibraltar (août 1929) d'après RAMALHO	426
— 25. Section du Portugal au Maroc, montrant la position des eaux méditerranéennes appliquées contre la pente du golfe de Cadix. (Août 1929), d'après RAMALHO.....	427
— 26. Salinités et températures au large de la côte de Portugal, 50 mètres, mai 1923.....	429
— 27. Comparaison entre les transgressions en août des années 1921, 1922, 1923, 1927 dans le golfe de Gascogne (d'après BELLOC).....	430
— 28. Nappe salée persistante du golfe de Gascogne, 50 mètres, 1922.....	431
— 29. Pénétration de la transgression dans le golfe de Gascogne (mai 1926, 50 mètres)	432
— 30. Section nord-sud le long du 9° degré W. G., auprès de la côte d'Espagne, février 1928	433
— 31. Entrée de la transgression dans le golfe de Gascogne, juin 1922, 50 mètres	433
— 32. La transgression dans le golfe de Gascogne en août 1921, 25 mètres.....	434
— 33. La transgression dans le golfe de Gascogne en août 1921, 50 mètres.....	435
— 34. Carte schématique de la ligne des anciens rivages submergés dans la région du sud-ouest des Iles Britanniques	438
— 35. Zone sud-ouest des Iles Britanniques. Salinités à 50 mètres, février 1927	440

Fig. 36. Zone sud-ouest des Iles Britanniques. Salinités à 50 mètres, mai 1927	440
— 37. Positions successives de la transgression en direction de la mer d'Irlande.....	441
— 38. Communication de l'Atlantique avec la Manche occidentale du point de vue thermique, octobre 1922, 50 mètres	442
— 39. Températures à 25 mètres, au sud-ouest des Iles Britanniques, en août 1926	443
— 40. Températures à 50 mètres, au sud-ouest des Iles Britanniques, en août 1926	444
— 41. Salinités à 50 mètres, au sud-ouest des Iles Britanniques, en août 1926.....	445
— 42. Coupe nord-sud, à l'est du 6° degré W. G. en août 1926. Températures.....	446
— 43. Coupe nord-sud à l'est du 6° degré W. G. en août 1926. Salinités.....	446
— 44. Coupe du banc de La Chapelle à l'île de Wight, montrant la zone neutre des îles Sorlingues.....	447
— 45. Distribution des salinités en surface, dans la Manche, en février 1904 (d'après MATTHEWS).....	447
— 46. Mouvement transgressif au nord de l'Écosse	449
— 47. Distribution normale des salinités en août dans la mer du Nord (d'après les travaux de la Deutsche Seewarte)	450
— 48. Jonction des eaux atlantiques dans la mer du Nord dans les années de fortes transgressions (1909 et 1922)	451
— 49. La transgression en mer de Barentz (septembre 1927), d'après Bruno SCHULZ, profondeur.....	454
— 50. La transgression en mer de Barentz (septembre 1927), d'après Bruno SCHULZ, surface.....	454

PRÉFACE.

En octobre 1922, M. le Professeur Louis JOUBIN, membre de l'Institut de France, présentait devant cette savante assemblée une note sur l'hydrologie de l'Atlantique nord, où la circulation océanique était interprétée d'une façon bien différente de celle faisant jusque là autorité.

Je tiens à ce propos à le remercier tout particulièrement de l'amicale confiance qu'il voulut bien témoigner à mes recherches, en ayant le courage de faire connaître au monde scientifique une théorie qui paraissait paradoxale, au sens exact du mot, puisqu'elle allait à l'encontre de toutes les théories alors admises.

Cette nouvelle conception était celle des « transgressions atlantiques ». Elle valut alors à son auteur et à celui qui l'avait présentée de nombreuses critiques; mais les années passèrent, chacune d'elles apportant des observations nouvelles qui confirmaient entièrement l'idée première.

Dans les régions les plus diverses de l'Atlantique Nord, mes collaborateurs de l'Office des Pêches maritimes : MM. BELLOC, LE GALL et BEAUGÉ, apportaient graduellement leurs constatations et tiraient de celles-ci des conclusions qui étaient vérifiées pratiquement. Le mot « transgressions » fut d'abord adopté par les pêcheurs qui y trouvèrent une explication de leur expérience empiriquement acquise; puis quelques hommes de science, commencèrent à tenir compte de cette interprétation nouvelle de nombreux phénomènes océanographiques; et le mot « transgression » est actuellement compris dans les Conseils internationaux pour l'Exploration de la Mer, en Europe et en Amérique du Nord, sans nécessiter maintenant une définition complémentaire.

De plus, depuis 1929, un des principes fondamentaux servant de base à la théorie des transgressions, celui de leur périodicité s'appuie maintenant sur une vérification d'ordre mathématique et astronomique.

La théorie des transgressions est si vaste et si fertile en conséquences que dans ce mémoire, n'est examinée qu'une partie de cette théorie. Je n'y étudie en effet les modalités de ces phénomènes que du côté oriental de l'Atlantique, c'est-à-dire dans la partie de cet Océan, où ils jouent un rôle prépondérant. Je renvoie provisoirement pour la région occidentale, notamment pour les régions du Banc de Terre-Neuve et du Groënland, aux travaux publiés par le Commandant BEAUGÉ et moi-même dans la *Revue des Travaux de l'Office*. Enfin, je réserve pour l'avenir une étude détaillée de l'influence des transgressions sur la biologie et les migrations des poissons comestibles, qui constituera la deuxième partie de ce travail d'ensemble.

ED. LE DANOIS, Dr. Sc.

INTRODUCTION.

Dans l'enseignement de l'océanographie, la théorie du Gulf-Stream est un dogme. Les enfants sont bercés avec l'histoire de ce fameux courant; leurs yeux sont obsédés par de magnifiques cartes en couleur où des lignes d'un bleu sombre précisent, sans erreur possible, l'itinéraire du fleuve marin. Tous ceux qui ont voyagé, capitaines, pêcheurs, passagers, tous ont vu de leurs yeux le Gulf-Stream. Toute la côte de l'Europe occidentale reconnaît devoir sa température clémente aux eaux chaudes que lui envoie spécialement le Golfe du Mexique.

J'ai eu beaucoup de regrets le jour où le doute sur l'existence, dans l'Atlantique orientale, des branches de ce bienfaisant courant, m'entra dans l'esprit. Cinq années de séjour au Laboratoire de Roscoff, la région privilégiée entre toutes, avaient fait naître mon scepticisme. Deux voyages polaires avec le Commandant CHARCOT à la Terre de Jan Mayen, affirmèrent mon hétérodoxie. Je n'osai pourtant, à cette époque, exposer publiquement mon incrédulité, et puis, je niais sans remplacer la théorie admise par un système nouveau; ce sont les croisières du chalutier « Tanche » et en particulier celle de 1921, année exceptionnelle, permettant de saisir sur le vif, avec une grande amplitude, des phénomènes habituellement moins distincts, qui me donnèrent enfin l'audace d'attaquer franchement l'opinion universellement acceptée.

Le Gulf-Stream, tel qu'on le figure ou le décrit, a fait l'objet de découvertes successives.

Tous les manuels d'océanographie racontent que ce courant était observé très anciennement par les habitants de l'Écosse et des pays scandinaves auxquels il se chargeait de procurer les objets les plus variés venus d'Amérique, des bois flottés, des graines, des noix exotiques, etc. Il est même vraiment surprenant que ce fleuve marin n'ait pas amené la découverte de l'Europe par les Américains.

La première découverte historique est attribuée à l'Espagnol PONCE DE LÉON. Ce conquistador, se promenant en 1513 dans le Golfe de la Nouvelle-Espagne, eut l'imprudence de tremper sa main dans l'eau et fut frappé de sa température qui lui rappela celle des marmites mises en usage dans le pays par la Sainte Inquisition.

Mais l'étude historique contribue à illustrer le nom de FRANKLIN. C'est ce dernier qui figura le premier le Gulf-Stream sur une carte, restée à juste titre célèbre, où le fameux courant donne bien l'aspect du fleuve marin aux eaux bleues, chaudes et impétueuses qui fut tant de fois décrit. Le lieutenant MAURY, de la Marine américaine, dans sa carte des vents et des courants, jette cependant quelque trouble sur l'authenticité de la première figuration du Gulf-Stream. Voici le texte de MAURY : « FRANKLIN consulta donc à son tour un baleinier du Nantucket, alors à Londres, le capitaine FOLGER. FOLGER, à la demande du Docteur, traça sur une carte le trajet du Gulf-Stream, depuis la passe de la Floride, et en donna connaissance aux capitaines des paquebots, qui n'en tinrent aucun compte. Le plus curieux dans ceci est que ce trajet et ces limites ainsi tracés de mémoire par le capitaine baleinier, puis reproduits sur les cartes hydrographiques, y ont été maintenus, on peut dire jusqu'à ce jour, sans que personne songeât à les rectifier ».

Le récit de MAURY nous évoque avec puissance cette entrevue de Benjamin FRANKLIN et du capitaine FOLGER. Il est facile de se représenter devant le bon docteur, gras et philosophique, la silhouette racornie

sous un tricorné usé, du baleinier américain, dont le pouce laissa sur la carte une trace visible devenue scientifique. Quoi qu'il en soit, le Docteur FRANKLIN utilisait peu après le trajet fixé par FOLGER pour venir demander au roi de France des subsides et des hommes pour soutenir la jeune république américaine.

Le même MAURY voulut remédier aux inconvénients du système FOLGER et entreprit une étude par le moyen de collations de registres de bord dans lesquels les capitaines notaient leurs vitesses de traversée, le temps, les courants. Ce groupe de documents a fourni la carte actuelle du Gulf-Stream. De l'étude de MAURY, il ressort que dans le canal de Floride, le Gulf-Stream a une grande vitesse, 6 ou 8 milles à l'heure, une largeur de 80 kilomètres et une épaisseur de près de 1.000 mètres; vers la longitude de Terre-Neuve, la vitesse a bien diminué; à 500 milles dans l'Est, elle est à peine perceptible, mais la largeur a si considérablement augmenté qu'on ne sait si l'on peut la fixer à 1.200 ou 1.800 kilomètres. Ce Gulf-Stream, remarquablement large et remarquablement lent, vient cependant se diviser en branches multiples dans l'Atlantique oriental.

Ainsi MAURY, doué d'esprit scientifique, après avoir douté de la valeur des indications de FOLGER et de FRANKLIN, arrivait à confirmer leur théorie et à la développer dans tout le Nord Atlantique.

Quand l'océanographie devint une science, les recherches pour préciser la direction du Gulf-Stream recurent une vogue nouvelle; ce fut le beau temps des flotteurs.

Le Prince de Monaco, du pont de l'« Hirondelle » ou de la « Princesse Alice » en lança un nombre considérable, appartenant aux modèles les plus variés; on en retrouva quelques-uns, et une nouvelle carte du Gulf-Stream, plus complexe et plus ramifiée, fut mise à jour en cette circonstance. Imitant l'exemple princier, des sociétés locales, comme la Société d'océanographie du Golfe de Gascogne, jetèrent des flotteurs à leur tour pour retrouver le courant de Rennell, sorte de branche récurrente du Gulf-Stream qui longeant la côte Nord d'Espagne, remontait vers la côte française vers le nord ou le nord-ouest. Cette dernière expérience eut l'immense avantage de faire retrouver près de Lisbonne les flotteurs qu'on recherchait du côté de Lorient ou d'Ouessant.

L'Allemand KRUMMEL entreprit « méthodiquement » une carte de dérive des épaves, mais ces flotteurs de gros modèles furent encore moins précis que les petites bouteilles océanographiques; KRUMMEL dut avouer que la dérive n'échappait pas à l'influence des vents constants comme les alizés, et que si certaines épaves ont traversé l'Atlantique (un seul exemple cité) la majorité d'entre elles ont vagabondé en effectuant des voyages très compliqués, en revenant sur leur chemin, en se retrouvant même à leur point de départ, et tout cela sans le souci d'observer une loi aussi fondamentale que le dogme du Gulf-Stream.

La guerre arriva; les mines remplacèrent les flotteurs de verre et accrurent le nombre des épaves. Le Prince de Monaco retrouva dans leurs trajets la dérive de ses flotteurs et publia une carte concluante; mais cette carte peut s'interpréter de façon différente et semble être contraire à la théorie du Gulf-Stream. Les mines lancées sur les côtes d'Europe se sont rassemblées en effet, sensiblement au nord des Açores; elles ont donc suivi une route absolument inverse de la direction supposée des branches du Gulf-Stream.

Pour expliquer ce trajet insolite, le Prince n'hésita pas à les faire entraîner par le courant des Canaries, puis le courant équatorial, à leur faire faire le tour du Golfe du Mexique et à contourner par le Nord la mer des Sargasses pour venir se placer sagement au Nord des Açores. Il est malheureux qu'aucune mine n'ait été vue au cours de ce majestueux périple, et qu'en aucun cas on n'ait signalé, comme justification de leur passage, l'explosion de quelque cargo faisant route dans la mer des Antilles, car il est difficile d'admettre que ces mines-flotteurs, en vue d'observer une bienveillante neutralité, n'aient explosé que dans les mers fréquentées par les belligérants.



Fig. 1. — Une carte ancienne du Gulf Stream, par B. Franklin.

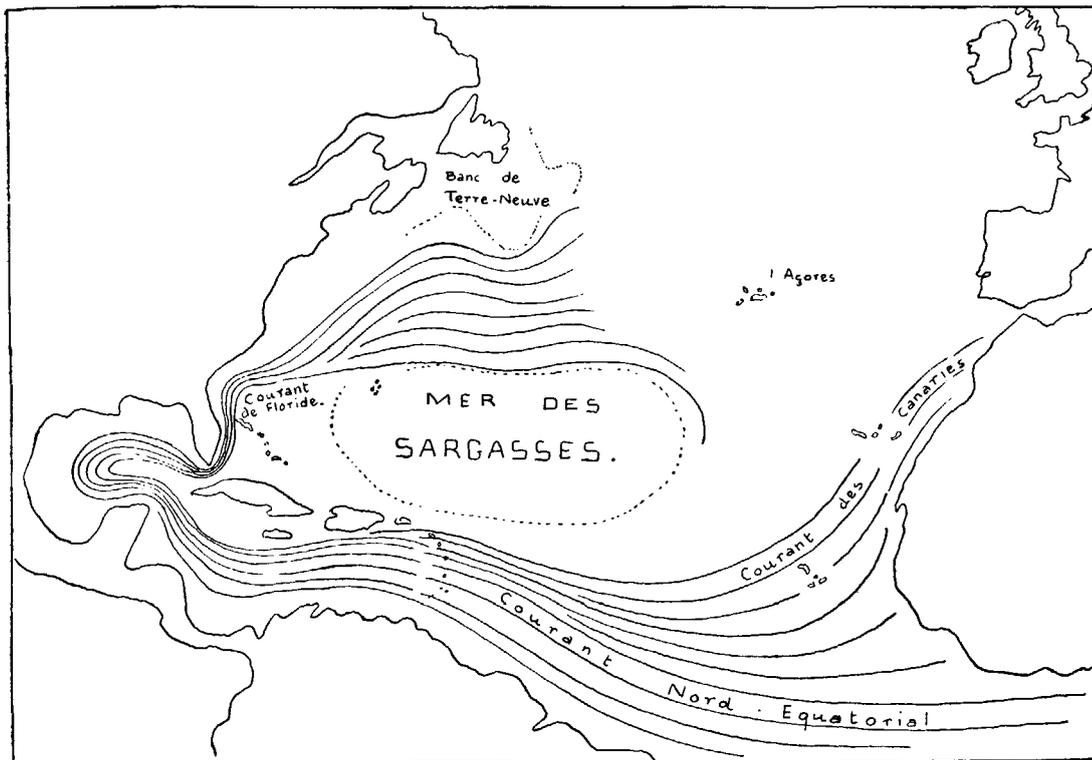


Fig. 1 bis. — Une carte nouvelle du Gulf Stream ou Courant de Floride.

Ainsi une succession de traditions, des expériences de flotteurs et des interprétations scientifiques ont fait naître la théorie du Gulf-Stream.

Ceux qui l'ont étudié, et en particulier MAURY, HAUTREUX et le PRINCE DE MONACO, étaient de grands savants et des esprits impartiaux; leurs observations étaient bonnes, mais leurs interprétations douteuses. Confiants dans la sagacité de leurs prédécesseurs, ils n'ont jamais osé nier la base du système et ils l'ont inconsciemment affirmé. L'extension du Gulf-Stream dans l'Atlantique oriental est le résultat d'une erreur collective, faite de bonne foi par des esprits réellement scientifiques. Je sais que j'encourrai la critique de nombreux collègues en déniaut aux flotteurs une valeur probante pour la direction des courants: ils savent pourtant comme moi que les modèles de flotteurs les plus perfectionnés, même ceux qui donnent peu de prise aux vents, sont cependant soumis à leur action par l'intermédiaire de la houle. Dans les régions à vents constants, dans la zone des alisés, la houle obéit au vent jusqu'à une profondeur qui dépasse dix mètres. Que peut-on donc expliquer par la dérive d'un flotteur?

J'ai dit qu'au moment où pour la première fois j'ai heurté de front la théorie du Gulf-Stream, on m'avait fait dire dans la presse ce que je n'avais jamais dit. Je n'ai jamais nié l'existence du courant qui, sortant du Golfe du Mexique, passe entre la Floride et Cuba et contourne l'archipel des Bahamas par le Nord; après cela il s'étale en un large éventail dont les branches se limitent entre le sud du Banc de Terre-Neuve et le nord de la Mer des Sargasses. Ce que j'ai nié c'est qu'il aille plus loin; le courant de Floride, nom plus local et mieux adapté, que je propose pour la désignation du vrai Gulf-Stream ne dépasse pas à l'Est le 40° degré de longitude ouest; en un mot il n'atteint pas les Açores. Je place ici une petite carte qui, je l'espère, remplacera dans les écoles celle actuellement en usage.

Il me reste encore à donner quelques explications complémentaires sur la non-existence du grand courant de l'Atlantique dans la partie orientale et septentrionale de cet océan.

Les détections des océanographes ont mis en valeur, dans l'Atlantique nord, une ligne de séparation nette entre des eaux de caractères différents: des eaux froides et peu salées et des eaux chaudes à salure élevée. Cette ligne de démarcation est bien marquée et indiscutable; elle est variable suivant les saisons; on l'a considérée comme la limite nord du Gulf-Stream. A-t-on jamais trouvé sa limite sud? Dans l'Atlantique oriental, jamais. Aussi a-t-on dû recourir à cet ingénieux moyen de donner au grand courant une largeur invraisemblable, impossible à préciser.

De plus il est admis que le Gulf-Stream est un courant de surface; ce courant se déplace sans cesse vers le Nord, et, fort lentement dès qu'on a franchi le 40° degré ouest. Il subit le refroidissement nocturne et sa progression septentrionale ne lui permet guère de récupérer de nouvelles calories. Il est vrai qu'un des plus spirituels journalistes français, dans un article qu'il voulut bien publier à propos de ma première note sur cette question, faisait remarquer que: «les défenseurs du Gulf-Stream peuvent dire qu'un glaçon c'est de l'eau chaude qui a trop longtemps voyagé». Il est certain que le beau courant d'eau chaude, arrivé près du Spitzberg doit être singulièrement refroidi.

On a fait du Gulf-Stream un phénomène positif: l'envahissement par un courant d'eau chaude des régions septentrionales de l'Atlantique, alors qu'on avait devant soi un phénomène négatif: la place laissée libre par la grande dérive glaciaire aux eaux venues du Sud. C'est, je l'ai dit, dans un de ces jours sans fin des régions polaires, près de la terre de Jan Mayen, que j'ai eu l'intuition de la réalité de ce phénomène. Suivant les heures et la rapidité de la dérive de la banquise arctique, les eaux libres se rétrécissaient ou gagnaient du terrain. Tout apport venu du Nord leur faisait perdre la place conquise; a glace et les eaux froides, entraînées par cette immense dérive, obéissant à la loi prépondérante et

cosmique de la rotation de la terre qui applique vers l'Ouest tous les éléments pesants de la masse océanique, formaient un ensemble compact, véritable entité hydrologique, contre lequel les eaux légères ne pouvaient lutter mais étaient simplement réduites à emplir l'espace laissé libre par ce drift cohérent et irrésistible.

Telles sont les critiques que nous formulons contre l'extension du Gulf-Stream dans l'Atlantique oriental et septentrional, contre la théorie qui admet qu'il y a « transport d'eaux réel » du Golfe du Mexique vers les côtes d'Europe. Nous ne nions pas l'existence du courant de Floride ; mais il doit être ramené à ses justes proportions à savoir un mélange du courant de marées du Golfe du Mexique et du retour du courant équatorial. Rapidement mêlé aux eaux océaniques, il ne dépasse pas vers l'Est, le 40° degré ouest. L'ancienne théorie avait donné d'heureux résultats pour des explications faciles de certains phénomènes tels que les conditions climatiques exceptionnelles de l'Europe occidentale ; il m'a donc fallu remplacer le système ancien par une interprétation nouvelle ; j'ai l'espoir que l'exposé du système des transgressions atlantiques permettra un facile ajustement de dogmes archaïques et erronés.

CHAPITRE I.

LES EAUX ATLANTIQUES.

Il est très certain que les phénomènes transgressifs ne s'appliquent pas seulement à l'Océan Atlantique, mais aussi aux autres océans : Océan Pacifique, Océan Indien, Océan Austral. Dans les comptes rendus des remarquables expéditions du « *Dana* » et du « *Meteor* », j'ai retrouvé des indications qui pourraient être facilement reliées aux déplacements des transgressions. La côte américaine du Pacifique est le témoin du même phénomène, mais l'insuffisance d'observations directes dans ces océans lointains me force à limiter l'étude à l'Océan Atlantique et en particulier à l'Atlantique nord.

A. — PRINCIPE DE L'IMMIXIBILITÉ DES EAUX.

Des eaux de températures et de salures différentes ne se mélangent pas entre elles quand elles sont en grande masse.

Ce principe doit être considéré comme un postulat pour comprendre les transgressions océaniques. Il ne faut pas évidemment le prendre absolument à la lettre, car sur leurs bords, les grandes masses des eaux que renferment les océans, par friction et brassage, sont susceptibles d'un certain mélange ; mais ce mélange n'intéresse que des quantités restreintes de ces masses d'eaux. En général, ainsi que l'a démontré supérieurement BJOERKNES, ces rencontres d'eaux différentes provoquent un courant, et celui-ci est déterminé quant à son importance et à sa direction, par la célèbre équation de ce savant.

En dehors de ces phénomènes spéciaux provoqués sur leurs bords, les grandes masses océaniques gardent leur individualité absolue. J'ai soutenu en 1923, que c'est par une rupture des continents qui bordaient la mer Eocène que pour la première fois, les eaux différentes des régions polaires et de la zone équatoriale étaient entrées en contact, et qu'entraînées par l'influence des grands phénomènes cosmiques elles continuaient, après des millénaires, le heurt de leur première rencontre.

Je ne savais pas alors si bien dire : une découverte sensationnelle due à la fois aux expéditions du « *Dana* » et du « *Meteor* » a montré qu'il existait dans la région équatoriale, dans le Pacifique et dans l'Atlantique, une énorme couche d'eau absolument privée d'oxygène. Cette masse d'eau se trouve en fait placée du côté oriental de ces océans, car, dans ces secteurs, elle s'est partiellement trouvée protégée contre l'influence de la rotation de la terre.

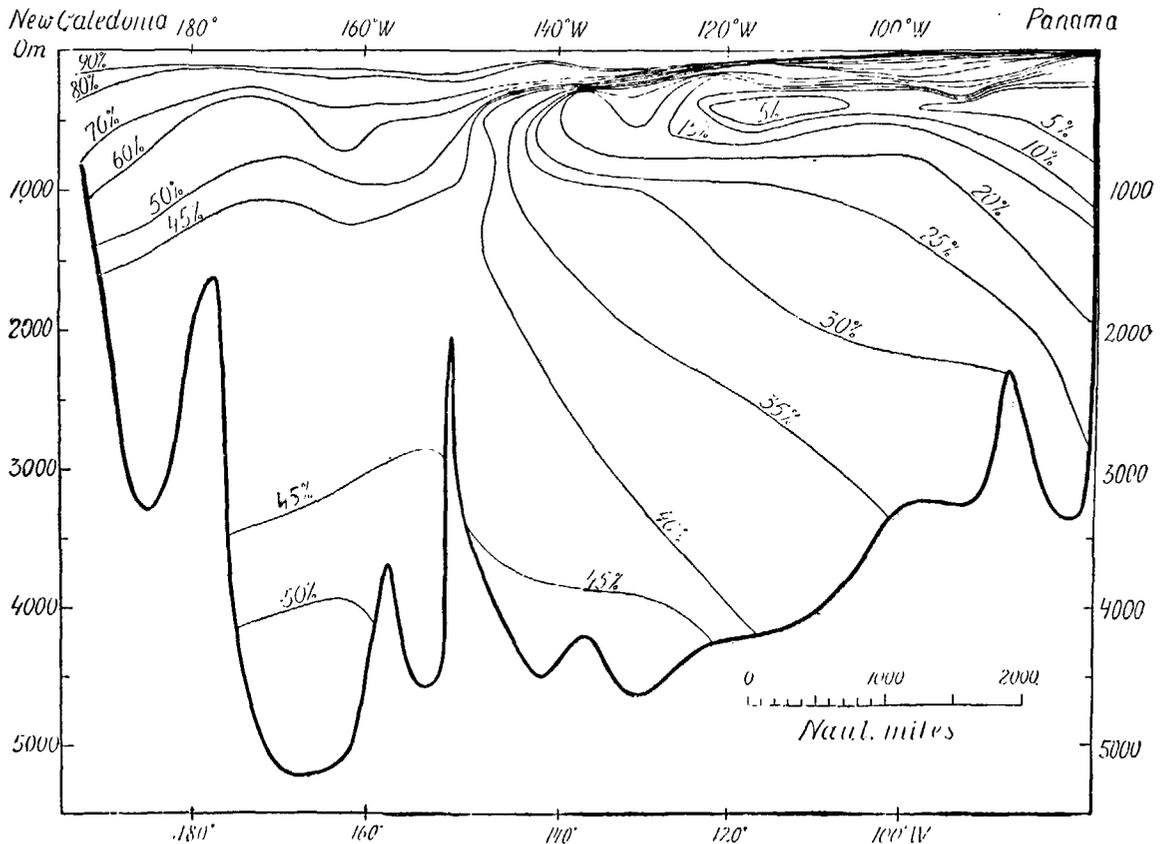


Fig. 2.

La mer sans oxygène du Pacifique (d'après Johs. Schmidt).

On peut supposer, en effet, qu'à l'origine, cette couche d'eau formait autour de notre planète une ceinture totale dans la région de l'Équateur. L'influence des grands courants terrestres plus sensible dans les parties occidentales des océans, a rompu partiellement cette ceinture. Dans l'Atlantique, ces eaux privées d'oxygène se localisent au large de la côte d'Afrique de part et d'autre de l'Équateur; dans le Pacifique elles forment une nappe importante au large de Panama.

Elles correspondent donc exactement à la zone des grands effondrements et l'on peut supposer leur continuité aux temps géologiques par l'ancienne mer Darienne qui séparait les deux Amériques.

Les océanographes attribuent pour la plupart cette absence d'oxygène à l'absorption de ce gaz par le plankton des couches supérieures. Je me permettrai de ne point les suivre dans cette conception et de considérer les mers privées d'oxygène comme de véritables mers fossiles ayant perdu leurs qualités nourricières de la vie, et restées figées sur place comme d'antiques témoins survivant au monde animal qu'elles avaient entretenu dans leur sein dans les âges géologiques. Cette persistance millénaire est à mon sens la plus belle démonstration du principe de l'immixibilité des eaux.

Il est probable que ces masses d'eaux ont un rôle spécial par leur inertie même dans les phénomènes transgressifs, et doivent servir de centre et de support à ces phénomènes, constituant dans les différents océans de véritables *centres transgressifs*.

A l'appui du même principe, on doit citer les intéressantes expériences de J. V. SANDSTRÖM montrant les conséquences de la fusion de la glace sur la circulation océanique; ce savant suédois, par un système d'eaux différemment colorées a, en effet, démontré l'immixibilité des eaux de fusion glaciaire par rapport à une eau d'une température de 8 degrés.

B. — CLASSIFICATION DES EAUX ATLANTIQUES.

Dès que l'hydrologie devint une science, les savants qui s'y consacrèrent abandonnèrent rapidement, devant la réalité des faits, la méthode puérile et archaïque qui consistait à diviser les eaux de l'Atlantique en deux groupes : celles du Gulf-Stream et les autres.

Dès 1909, dans leur remarquable travail sur la mer de Norvège, NANSÉN et HELLAND-HANSEN, s'associant aux vues du Professeur OTTO PETERSSON, divisent les eaux de cette région en :

- a. Eaux atlantiques, d'une salinité supérieure à 35 p. 1.000;
- b. Eaux côtières, d'une salinité inférieure à 35 p. 1.000.

Parmi ces dernières, ils reconnaissent :

1° Les eaux côtières d'Europe, soumises aux variations dues aux pluies et à l'apport des fleuves;

2° Les eaux côtières d'Asie et d'Amérique, ou eaux polaires, procédant des variations de la grande banquise arctique.

Dans ce dernier groupe, les savants scandinaves distinguent encore une eau de surface, une eau intermédiaire et une eau profonde, ayant chacune leurs caractères propres.

En 1919, à la suite de l'exploration des eaux canadiennes, entreprise sous la direction du Professeur JOHAN HJORT, J. W. SANDSTRÖM sépare les eaux de la région de Terre-Neuve, de la façon suivante :

- a. Eaux côtières d'une salure inférieure à 30 p. 1.000;
- b. Eaux intermédiaires, entre 30 et 32 p. 1.000;
- c. Eaux des Bancs, de 32 à 33 p. 1.000;
- d. Eaux des pentes, de 33 à 35 p. 1.000;
- e. Eaux atlantiques, au-dessus de 35 p. 1.000.

En 1923, dans notre premier travail sur l'hydrologie de l'Atlantique nord, et nous basant sur l'origine des divers groupes des eaux de l'Océan Atlantique, nous les classions en :

- 1° Eaux d'origine boréale, froides et d'une salure inférieure à 35 p. 1.000;
- 2° Eaux d'origine équatoriale, chaudes et d'une salure supérieure à 35 p. 1.000.

Nous rattachions au premier groupe :

a. Les eaux arctiques ;

b. Les eaux abyssales ;

c. Les eaux continentales, et donnions au second groupe le nom d'eaux atlantiques proprement dites.

En 1928, Georg Wüst dans son travail sur l'origine des eaux atlantiques publié dans le volume jubilaire de la Société de Géographie de Berlin, fournit une classification ingénieuse des eaux de l'Océan :

EAUX.	SALINITÉ ‰	TEMPÉRATURE.	PROFONDEUR.
1) Eaux tropicales.....	36,7 - 35,5	20-10	200-700
2) Eaux intermédiaires subpolaires :			
a. subantarctiques.....	34,9 - 34,0	10-4	vers 1.000
b. subarctiques.....	34,9 - 34,5	10-4	vers 1.000
3) Eaux nordatlantiques profondes.....	35,5 - 35,0	10-4	1.000-2.000
4) Eaux abyssales :			
a. nordatlantiques.....	35,0 - 34,85	4-2	2.000-fond.
b. antarctiques.....	34,8 - 34,65	< 2	1.000-fond.
c. arctiques.....	34,92 - 34,88	< 2	500-fond.

L'étude de Georg Wüst démontre en outre un conflit marqué entre les eaux nord-atlantiques et sud-atlantiques et isole complètement les eaux dites tropicales.

Cette étude attire d'autre part l'attention sur la diversité de la disposition des couches marines dans la partie ouest et dans la partie est de l'Atlantique. Les travaux de l'expédition du « *Meteor* » permirent, en effet, de pratiquer dans l'Atlantique, du Nord au Sud, deux immenses sections dont l'une, à l'Ouest, suivait au large la côte américaine, du Groënland jusqu'au continent antarctique, et l'autre à l'Est, partie du même continent remontait à quelque distance des côtes d'Afrique et d'Europe, jusqu'au Spitzberg. Ces deux remarquables coupes hydrologiques, pratiquées de chaque côté de la grande crête centrale sous-marine, qui sépare les fonds de l'Atlantique oriental de ceux de l'Atlantique occidental, ont fourni des résultats de premier ordre sur le régime des eaux de cet océan.

En tenant compte de ces découvertes récentes, nous proposerons la classification suivante des eaux de l'Océan Atlantique :

I. Eaux d'origine tropicale.

Ces eaux ont une salinité supérieure à 35,0 p. 1.000. Elles remplissent, dans l'Atlantique, une sorte de cuvette formée par les eaux des autres groupes. Dans leur plus grande profondeur un peu au nord de l'Équateur, elles peuvent dépasser une épaisseur de 2.500 mètres.

Au Nord et au Sud cette épaisseur s'amoin-drit et varie essentiellement suivant les saisons. Elles peuvent atteindre au Sud le 40° de latitude et au Nord dépasser largement le 70°.

On peut y reconnaître deux groupes :

1. Eaux *équatoriales*, d'une salure supérieure à 35,5 p. 1.000 ;
2. Eaux *atlantiques*, d'une salure supérieure à 35 p. 1.000.

Ces groupes correspondent aux eaux tropicales et aux eaux profondes nord-atlantiques de Wüst.

II. *Eaux d'origine polaire.*

Nous avons dit, en 1923, que nous considérons que les eaux tropicales représentaient la survivance de l'ancienne mer Eocène et de la ceinture thalassique de l'antique Mesogée. Cette mer, de dimensions restreintes, ne constitue plus qu'une petite part dans l'énorme Océan Atlantique, mais a gardé ses caractères de température et de salinité. Elle s'est rétrécie au centre de l'Océan et est environnée maintenant des eaux d'origine polaire, venues du Nord comme du Sud, qui l'enserrent en formant autour d'elle une cuvette d'eaux froides à faible salure.

Il y a à la fois continuité et lutte entre ces eaux venues des deux pôles. La continuité s'établit par les eaux continentales qui bordent, d'une couche régulière et presque uniforme dans ses caractères, les faibles profondeurs des terres émergées. Cette bordure, bien développée dans les zones tempérées, se restreint au niveau de l'Équateur, là où les eaux tropicales gardent encore leur hégémonie.

La lutte entre les eaux d'origines différentes, venues du pôle boréal et du pôle austral, se traduit en profondeur. Le pôle sud est un pôle continental susceptible de condenser sous forme d'énormes glaciers les eaux douces de cette partie du monde. Le pôle nord est un pôle marin et la banquise elle-même se forme sur un océan profond; aussi est-il logique de concevoir que les eaux arctiques sont plus nettement marines que les eaux antarctiques; et que les eaux qui proviennent du nord de l'Atlantique sont plus salées que celles qui proviennent du sud de cet océan.

Il importe donc de reconnaître l'individualité de ces eaux polaires, même dans leur extension abyssale et, en conséquence, on peut diviser comme suit le deuxième groupe des eaux de l'Océan Atlantique :

- 1° *Eaux continentales*, de salinité variable ;
- 2° *Eaux polaires arctiques*, de 35 à 33 p. 1.000 ;
- 3° *Eaux polaires antarctiques*, de 34,8 à 33 p. 1.000 ;
- 4° *Eaux abyssales d'origine arctique*, de 34,9 à 34,8 p. 1.000 ;
- 5° *Eaux abyssales d'origine antarctique*, de 34,8 à 34,6 p. 1.000.

C. — DISTRIBUTION DES DIVERSES EAUX ATLANTIQUES.

I. — Eaux d'origine tropicale.

1° *Eaux équatoriales.*

Les eaux équatoriales, d'une salure supérieure à 35,5 p. 1.000, occupent la région centrale de l'Atlantique, en surface. Leur profondeur maxima vers le 25° degré nord, n'excède pas 500 mètres. Dans l'hémisphère boréal, elles dépassent à l'Ouest, du côté de l'Amérique le 40° degré nord, qu'elles atteignent à peine du côté oriental de cet océan. Vers le Sud, les eaux à 35,5 p. 1.000 arrivent jusqu'au 40° degré de latitude.

2° *Eaux atlantiques.*

Les eaux atlantiques, d'une salure variant de 35,5 p. 1.000 à 35 p. 1.000, atteignent, dans le centre de l'Océan, vers le 30° degré de latitude nord, une épaisseur qui varie entre 2.000 et 2.500 mètres. Ces eaux se laminent au Nord comme au Sud.

Au Nord, du côté de l'Amérique, les eaux à 35 p. 1.000 sont arrêtées par la grande dérive glaciaire vers le sud du Banc de Terre-Neuve, et ne franchissent guère le 50° degré de latitude. Du côté de l'ancien continent, elles pénètrent au contraire en surface, fort largement, atteignent l'Islande et la dépassent à l'Est, remontant vers le Spitzberg, fréquemment jusqu'au 75° degré nord. Il y a donc une différence remarquablement marquée dans l'extension des eaux atlantiques dans la partie ouest et dans la partie est du bassin septentrional de l'Océan. Dans l'hémisphère austral, les eaux atlantiques à 35 p. 1.000 atteignent normalement en surface le 40° degré sud avec une très faible épaisseur.

II. — Eaux d'origine polaire.

1° *Eaux continentales.*

Ces eaux sont d'une salinité extrêmement variable et remplissent tous les hauts fonds de l'Océan Atlantique. L'influence des pluies, les apports des grands fleuves tributaires, la fonte des glaces, leur donnent, suivant les localités, des caractères extrêmement variés. Dans les régions polaires, elles sont en liaison directe avec les eaux abyssales, et en général, de salure plus faible, par suite de la proximité immédiate des glaciers ou de la banquise en fusion. Dans les mers intérieures, comme la mer Blanche, la mer Baltique, leur salinité est presque nulle. Cette salinité varie entre 32 et 34 p. 1.000 en mer du Nord et en Manche.

Dans la région du Banc de Terre-Neuve, elles comprennent les eaux côtières, les eaux intermédiaires, les eaux des bancs et les eaux des pentes, telles que les a définies SANDSTROM.

Sous les tropiques, elles sont réduites à une mince bande, et leur salinité descend rarement au-dessous de 34 p. 1.000, sauf à l'embouchure des très grands fleuves. Ces eaux continentales, ont, au point de vue température, un régime très spécial, essentiellement variable, car leur faible salinité leur permet de s'échauffer et de se refroidir *in situ* avec la plus grande rapidité. Ces phénomènes sont particulièrement marqués sur le Banc de Terre-Neuve où l'eau des Bancs se réchauffe si vite qu'on a pu croire, avant les études précises de la valeur des salinités, que les Bancs eux-mêmes étaient parfois complètement envahis par les eaux chaudes atlantiques.

Des processus semblables amènent en Manche des variations considérables de température. Les eaux continentales constituent, à proprement parler, la seule partie de l'Océan qui réagisse directement sous l'influence thermique de l'atmosphère.

2° *Eaux polaires arctiques.*

Ainsi que l'a définitivement démontré NANSEN, à la suite de la glorieuse dérive du « *Fram* » l'Océan glacial Arctique, dans sa configuration générale, est constitué par une vaste cuvette excédant par places des profondeurs de 3.000 mètres. Les travaux du grand savant norvégien et de son distingué collaborateur HELLAND HANSEN ont montré qu'il y avait peu d'homogénéité dans les eaux de la cuvette polaire. Elles varient suivant leur position en longitude et suivant leur profondeur.

C'est en se basant sur le fameux exemple que donna la triste aventure de la « *Jeannette* », que NANSEN entreprit l'expédition du « *Fram* » participant ainsi avec son navire à la dérive de la banquise qui transporte celle-ci de l'Est vers l'Ouest, sous l'influence de la rotation de la terre. La grande masse glaciaire constituée au nord de la Sibérie, vient s'écraser et fondre contre le Groënland et les icebergs se canalisent avec peine dans le détroit de Danemark pour venir flotter jusqu'aux accores du Banc de Terre-Neuve. Aussi dans cette région nord-ouest de l'Atlantique se produit-il une fusion massive de la glace polaire et on ne doit point être surpris de trouver, de la surface au fond, des salinités faibles, variant de 33 p. 1.000 en surface à 34,4 p. 1.000 à 2.000 mètres.

Du côté de l'ancien continent, le phénomène est différent. Les eaux gardent un caractère plus salé; en surface on ressent l'influence des eaux atlantiques à 35 p. 1.000; en profondeur comme peu de glace a fondu, on trouve encore une salinité, vers 3.000 mètres, de 34,9 p. 1.000.

Cette salinité de 34,9 p. 1.000 caractérise du reste, les grands fonds de l'Océan boréal. NANSEN expliqua que cette salinité devait être due à une branche profonde du Gulf-Stream, mais il indiqua, par ailleurs, avec juste raison, que la formation de la glace en surface provoque une augmentation de salinité en profondeur. Il calcula que, dans une mer ayant 100 mètres de profondeur avec de l'eau d'une salinité moyenne de 34,4 p. 1.000, cette salinité s'élèverait à 35 p. 1.000 dès qu'il y aurait en surface une couche de glace de 2 mètres d'épaisseur. Au moment de sa congélation, l'eau de mer en effet, se sépare en ses éléments primordiaux; la solidification n'atteint guère que de l'eau douce et le sel tombe au fond; c'est cette chute du sel dans les profondeurs qui explique la salinité élevée des eaux des grands fonds de l'Océan boréal, beaucoup mieux qu'une branche hypothétique du Gulf-Stream. Le bassin polaire garde une individualité propre par suite de sa limitation due à la crête de Davis, à l'Islande, et à la crête Wyville-Thomson.

3° *Eaux polaires antarctiques.*

Le sol sous-marin de l'Atlantique sud forme une sorte de cuvette assez imparfaitement limitée par le continent antarctique, l'Amérique du Sud, et une crête transversale s'étendant du Rio de la Plata au Sud de l'Afrique et formée de deux parties, la crête de Rio Grande et la crête de Walfish Bay. Cette cuvette contient les eaux polaires antarctiques proprement dites. Elles sont assez homogènes, tout autour du continent et, sauf en surface, où leur salinité est plus faible, elles présentent une salure de 34,65 à 34,70 p. 1.000. Cette salinité se retrouve jusque par des fonds dépassant 6.000 mètres. La fonte des glaciers du continent et de la banquise du pôle sud amène dans le Sud atlantique une masse énorme d'eaux de faible salure, mais très froide, et cette eau se répand sous forme d'une immense nappe dans toute la partie méridionale de l'Océan. A partir du 40° degré sud, elle rencontre en surface les eaux atlantiques et équatoriales et la température de celles-ci les rendant plus légères, l'eau polaire antarctique se trouve contrainte à s'enfoncer; aussi en résulte-t-il une immense couche de salure faible qui remonte vers le Nord, au delà de l'Équateur, entre 500 et 2.000 mètres.

Nous verrons-ci-dessous pourquoi cette nappe d'eau ne peut s'enfoncer plus profondément et joindre les eaux proprement abyssales.

4° *Eaux abyssales d'origine arctique.*

Elles se caractérisent par une salinité variant de 34,9 à 34,8 p. 1.000.

On peut dire, en fait, qu'elles occupent presque à elles seules, la zone abyssale de l'Océan Atlantique; ce qui laisse supposer qu'au moment du creusement de cet océan, l'arrivée des eaux d'origine arctique précéda celle des eaux d'origine antarctique. Du côté de l'ancien continent elles règnent jusqu'à la crête de Walfisch Bay; par contre, du côté américain, elles sont obligées de faire place, dans les très grands fonds, aux eaux abyssales d'origine antarctique mais atteignent entre 2.000 et 4.000 mètres de profondeur le 40° degré sud. C'est la présence de ces eaux froides mais d'une salure supérieure à 34,8 p. 1.000 qui empêche la nappe des eaux polaires antarctiques, dont nous avons parlé au paragraphe précédent, de descendre plus profondément vers les abysses. Serrées entre les eaux atlantiques et équatoriales en surface et les eaux abyssales d'origine arctique en profondeur, ces eaux polaires venues du Sud se maintiennent en équilibre dans la couche intermédiaire que nous avons ci-dessus décrite.

5° *Eaux abyssales d'origine antarctique.*

Elles sont caractérisées par une salinité de 34,8 à 34,6 p. 1.000. Leur extension est assez faible. Du côté de l'Afrique elles ne dépassent pas la crête de Walfish Bay, mais du côté américain, elles se glissent sous les eaux abyssales d'origine arctique, dans les grands fonds, et atteignent l'Équateur près de la crête de Para. Cette progression est due à la fois à l'influence de la rotation de la terre et à leur très basse température.

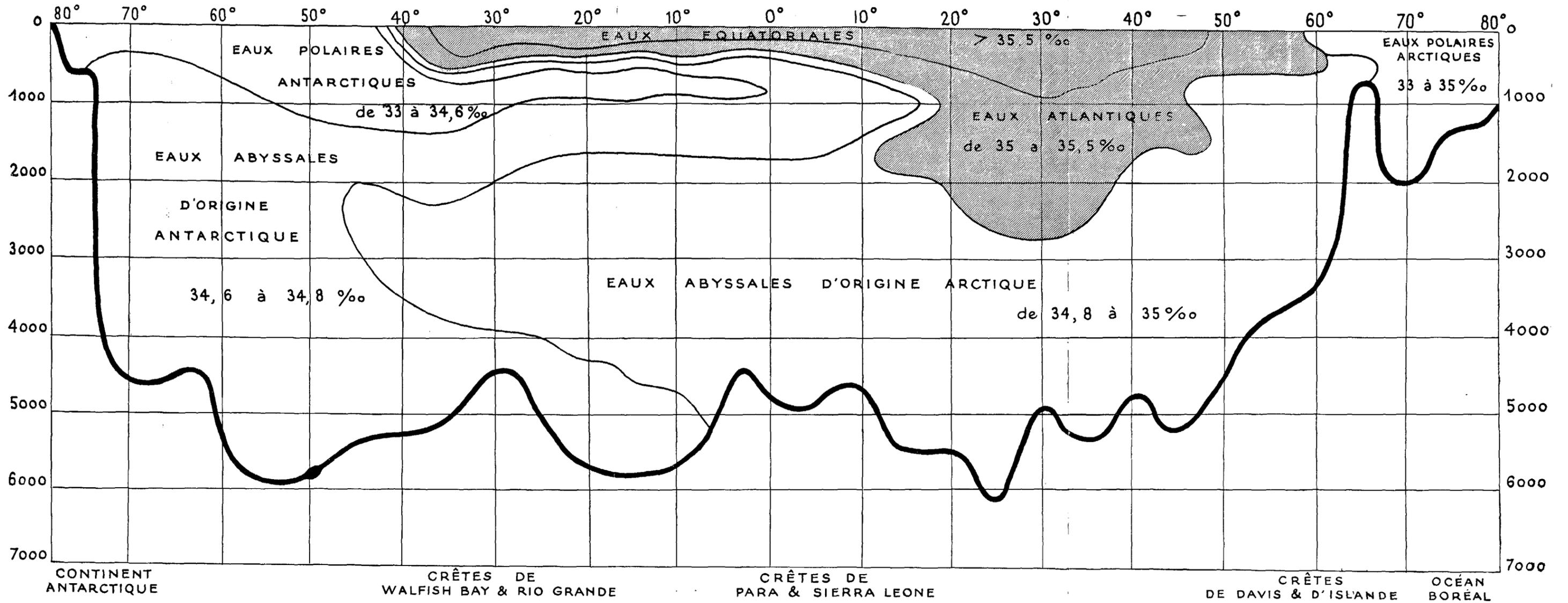


Fig. 3.

Coupe schématique du nord au sud de l'Atlantique, montrant la distribution des diverses catégories d'eaux de cet océan (inspiré de Wüst).

En conséquence, en laissant de côté les bassins polaires qui ont leurs eaux propres, par suite de leur limitation, on trouve dans l'Atlantique les superpositions des différentes sortes d'eaux dans les conditions suivantes :

a. *Atlantique nord* (vers le 30° degré nord).

1. De 0 à 500 mètres : eaux équatoriales.
2. De 500 à 2.000 mètres : eaux atlantiques.
3. De 2.000 à 5.000 mètres : eaux abyssales d'origine arctique.

b. *Atlantique sud* (région est, vers le 30° degré sud).

1. De 0 à 200 mètres : eaux équatoriales.
2. De 200 à 500 mètres : eaux atlantiques.
3. De 500 à 1.500 mètres : eaux polaires antarctiques.
4. De 1.500 à 5.000 mètres : eaux abyssales d'origine arctique.

c. *Atlantique sud* (région ouest, vers le 30° degré sud).

1. De 0 à 200 mètres : eaux équatoriales.
 2. De 200 à 500 mètres : eaux atlantiques.
 3. De 500 à 2.000 mètres : eaux polaires antarctiques.
 4. De 2.000 à 4.000 mètres : eaux abyssales d'origine arctique.
 5. De 4.000 à 5.000 mètres : eaux abyssales d'origine antarctique.
-

CHAPITRE II.

LES MOUVEMENTS DES EAUX ATLANTIQUES.

Les mouvements des eaux atlantiques comprennent deux séries de phénomènes étroitement liés les uns aux autres :

- 1° Les transgressions ;
- 2° Les courants.

A. — LES TRANSGRESSIONS OCÉANIQUES.

1° *Historique.*

Je crois avoir employé pour la première fois en 1921, le terme de « transgressions », à la suite d'une croisière effectuée à bord du navire « *Tanche* » où ce phénomène me fut révélé dans sa forme générale.

Depuis cette époque, le mot a fait fortune parmi les professionnels de la pêche, et de nombreuses observations se sont ajoutées à mes constatations primitives, les vérifiant ou les modifiant légèrement.

Je n'ai certes pas été le premier parmi les océanographes, à remarquer que l'explication des phénomènes de circulation atlantique basée sur le Gulf-Stream, était insuffisante pour définir tous ces phénomènes. Vers 1913, NANSEN, dans son travail sur les eaux de l'Atlantique oriental, recourait, pour expliquer la présence de certaines nappes d'eaux salées et de haute température rencontrées au large des côtes d'Europe, à une explication basée sur l'extension des eaux méditerranéennes.

Dès 1901, le Professeur Otto PETERSSON avait constaté des variations annuelles dans le courant du Gulf-Stream. Il avait dessiné de remarquables cartes sur les variations de cette extension. Un examen du plankton l'avait amené à croire que l'eau atlantique de l'hémisphère nord dérivait partiellement de l'eau de l'Atlantique sud et notamment du courant dit de Benguela. Le savant suédois séparait déjà à cette époque, les eaux du Gulf-Stream d'une salure de 35 à 36 p. 1.000 et les eaux arctiques et littorales de salure inférieure.

Donc, les conclusions des travaux de NANSEN et de PETERSSON arrivaient déjà à préciser une classification des eaux de l'Atlantique et l'origine méridionale de certaines eaux du nord de cet océan, tout en restant attachés au principe de l'extension du Gulf-Stream dans l'Atlantique oriental et septentrional.

C'est dans ces conditions scientifiques qu'en 1921 et 1922, j'ai posé les bases de la théorie

des transgressions océaniques, à la fois dans les rapports atlantiques du Conseil international pour l'Exploration de la Mer et dans la note présentée à l'Académie des Sciences de Paris par M. le Professeur JOUBIN.

Cependant, tandis que, continuant ces études, je travaillais au large des côtes de France dans le Golfe de Gascogne, le Professeur OTTO PETERSSON effectuait, sur les côtes de Suède, de remarquables observations. Il découvrait la présence d'ondes sous-marines et donnait à ce phénomène le nom de *marées internes ou profondes*. Ces marées obéissaient à une périodicité régie par des phénomènes astronomiques. Le doyen du Conseil international tirait de sa découverte des conclusions applicables au climat de l'Europe septentrionale et aux migrations des harengs. Il me fut facile de me rendre compte, dès la publication de son travail, que les marées internes du Professeur PETERSSON avaient de frappantes analogies avec les transgressions océaniques.

Il convient maintenant d'exposer les principes fondamentaux de la théorie des transgressions.

2° Définition.

On appelle transgression, un mouvement périodique d'amplitude variée des eaux atlantiques d'origine tropicale amenant un empiètement momentané de ces eaux sur les eaux d'origine polaire et surtout sur les eaux continentales.

Les eaux de la masse transgressive ont toujours une salinité supérieure à 35 p. 1.000.

Nous avons divisé les eaux de l'Océan Atlantique en eaux d'origine équatoriale et en eaux d'origine polaire. Ces eaux d'origine polaire se subdivisent en eaux arctiques, antarctiques, abyssales et continentales et il existe entre elles une parfaite continuité. Leurs caractères dominants sont leur faible salure et leur basse température. Cette continuité se révèle dans la faune marine. Les eaux abyssales sont la suite des eaux polaires superficielles; c'est ce qui explique ce fait bien connu qu'un même animal vit aux grandes profondeurs dans la zone tempérée ou équatoriale et habite les eaux côtières peu profondes dans les régions polaires. Ces faits confirment l'origine polaire des animaux de profondeur et prouvent que ce sont les eaux boréales et australes qui ont rempli le fond de l'Atlantique au fur et à mesure que celui-ci s'approfondissait.

Un des caractères des eaux d'origine polaire pourrait être défini sous le nom de *lourdeur*. Ces eaux en effet sont peu mobiles, en quelque sorte inertes, et marquent une adhérence spéciale qui les fait épouser le relief côtier et sous-marin dans tous ses détails. Les profondeurs comme les terres émergées sont environnées d'une véritable gaine de ces eaux d'origine polaire.

On peut donc concevoir l'Océan Atlantique comme formant une véritable cuvette d'eaux polaires abyssales et continentales dont le fond est formé par les eaux profondes et les bords par les eaux polaires et continentales.

Dans la cuvette ainsi formée sont contenues les eaux d'origine tropicale, que nous appellerons le plus souvent eaux atlantiques.

Elles représentent la partie mobile, vivante, légère de l'Océan, et sont sans cesse en lutte contre la passivité des eaux de l'autre groupe, se glissant entre elles chaque fois que cela est possible et au besoin empiétant sur elles. C'est cet empiètement, dont l'amplitude varie avec

une périodicité déterminée, que nous avons appelée « transgression » reprenant ainsi le terme géologique qui définit les empiètements des mers dans les âges passés.

3° Stabilisation hivernale.

En étudiant le phénomène qu'il considérait comme les variations d'extension du Gulf-Stream, le Professeur PETTERSSON avait caractérisé ces variations régulières en les appelant : *la systole et la diastole de la mer*. Cette image est des mieux choisies et donne une exacte idée de l'extension et de la rétraction des eaux atlantiques. Cette diastole et cette systole se produisent sensiblement chaque année.

A la grande extension des eaux d'origine tropicale, c'est-à-dire à la transgression, correspond l'été de l'Océan, qui ne concorde pas toujours avec notre été terrestre; à la systole, c'est-à-dire à la rétraction des eaux atlantiques, correspond l'hiver océanique.

Après le large débordement des eaux transgressives, les eaux continentales reprennent leur équilibre : c'est le phénomène de la *stabilisation hivernale*.

Coupe N-S le long du 6°30 W, de l'Irlande au bord du Plateau Continental en Avril 1922.

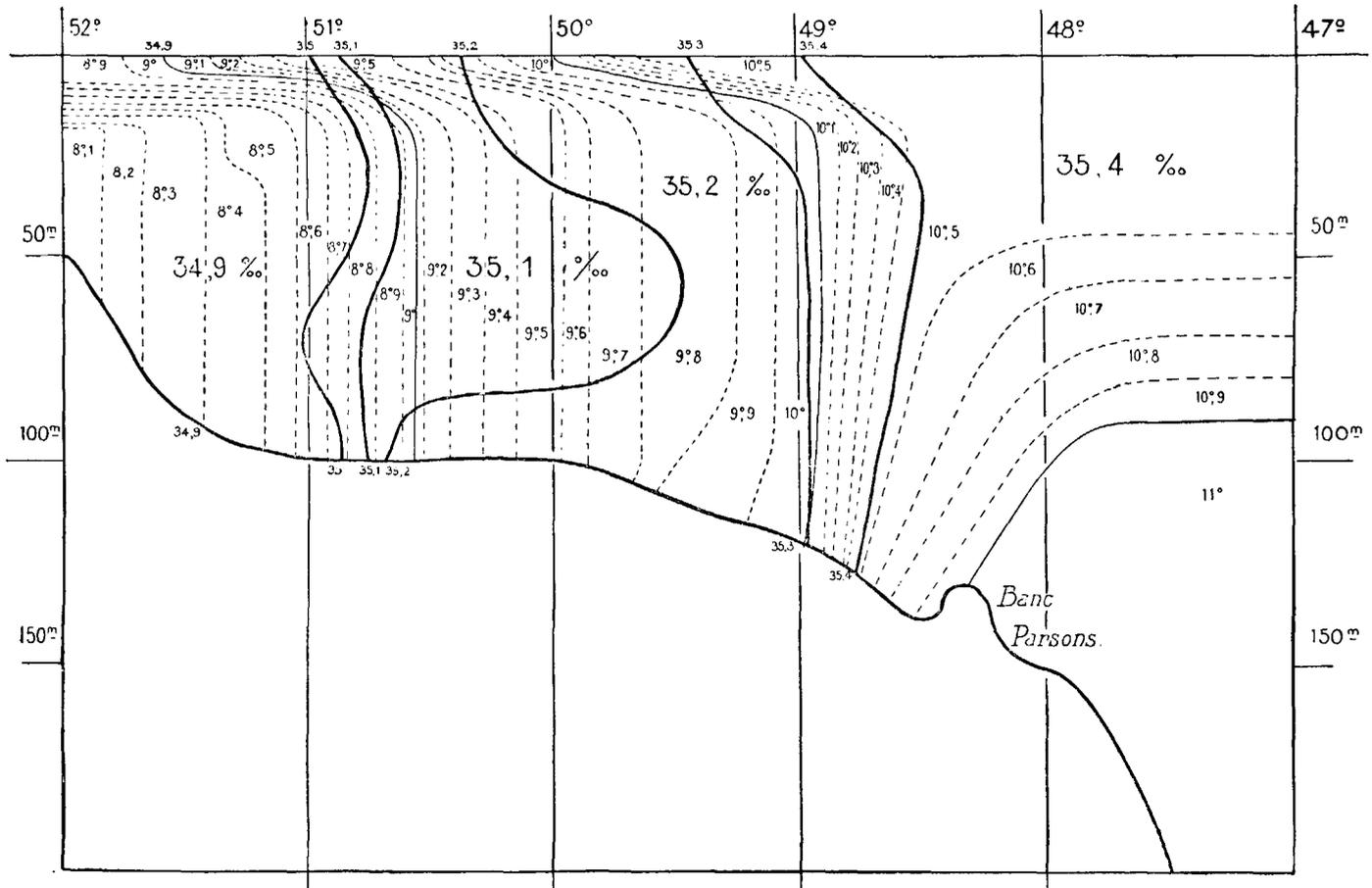


Fig. 4. — Exemple de stabilisation hivernale (Coupe N. S. le long du 6° 30 W. G. en avril 1922, de l'Irlande au bord du plateau Continental).

Ce phénomène est surtout sensible dans les eaux continentales des zones tempérées et sub-polaires. Pendant l'hiver, les eaux atlantiques sont, en fait, en dehors des pentes du plateau continental et les eaux du deuxième groupe y étendent leur hégémonie. En reprenant le terrain laissé par les eaux d'origine tropicale, les eaux froides et peu salées se disposent lentement, suivant leur densité. Les eaux de très faible salinité, dans les régions polaires ou au voisinage immédiat des côtes semblent se refroidir les premières et avec grande rapidité; puis le phénomène gagne de proche en proche et on arrive bientôt à une disposition de couches d'eaux formant des nappes de températures et de salinités égales qui se disposent concentriquement autour des terres émergées d'une part, et suivant les latitudes, d'autre part. Le caractère fondamental de cette stabilisation hivernale est que, de la surface au fond, ces nappes d'eaux, régulièrement disposées, ont une température et une salinité constantes. Il ya isothermie et isohalinité verticales.

S'attachant à ce caractère, HJORT avait décrit ce phénomène sous le nom de *circulation verti-*

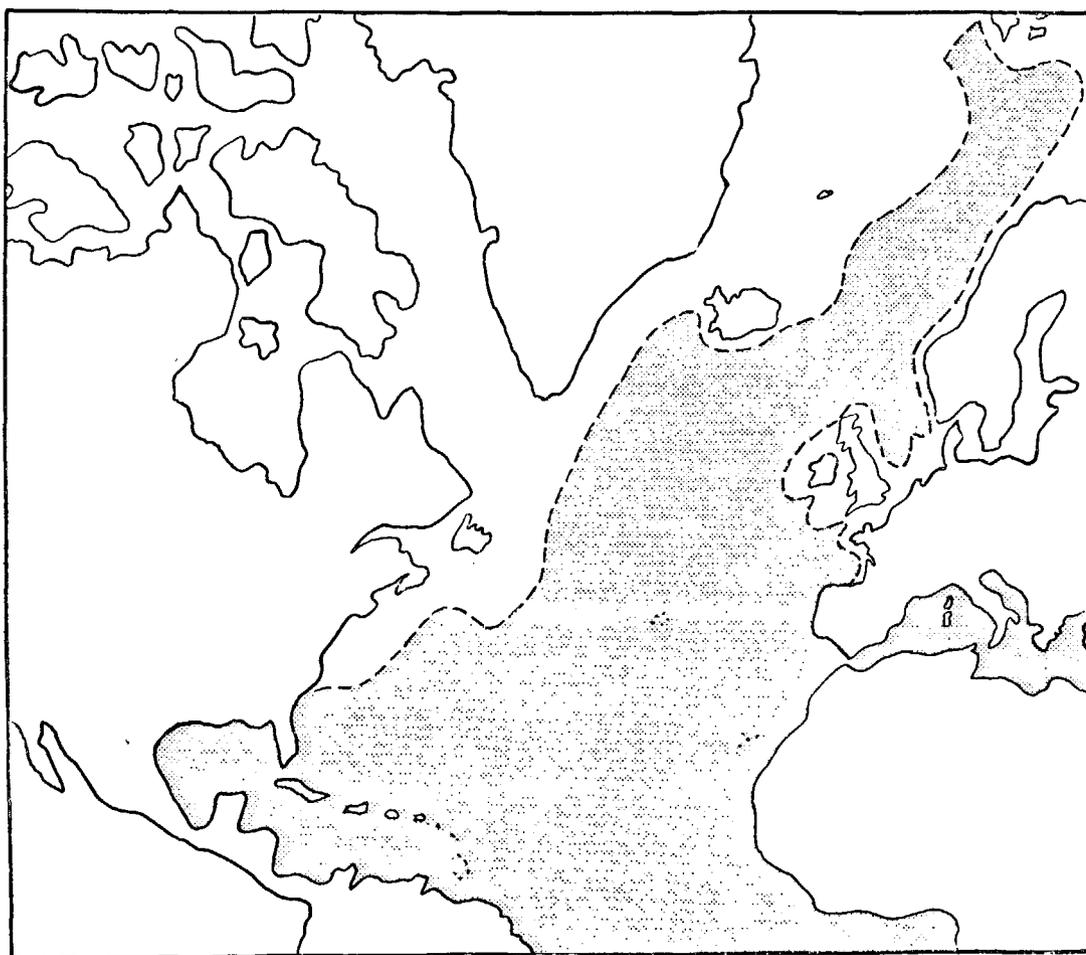


Fig. 5.

Les transgressions, au moment de leur maximum d'extension.

cale. Le phénomène est surtout très frappant en ce qui concerne l'isothermie, ce qui s'explique aisément par suite du refroidissement *in situ*; les conditions de salinité sont modifiées moins intégralement car l'abaissement de la salure dépend en surface des chutes de pluie et en profondeur du débit des grands fleuves.

Au large, la même disposition s'établit, suivant les latitudes et aussi suivant les profondeurs. Il en résulte que dans la période hivernale les eaux de salinités différentes forment toute une série de cuvettes à bords relevés emboîtées les unes dans les autres.

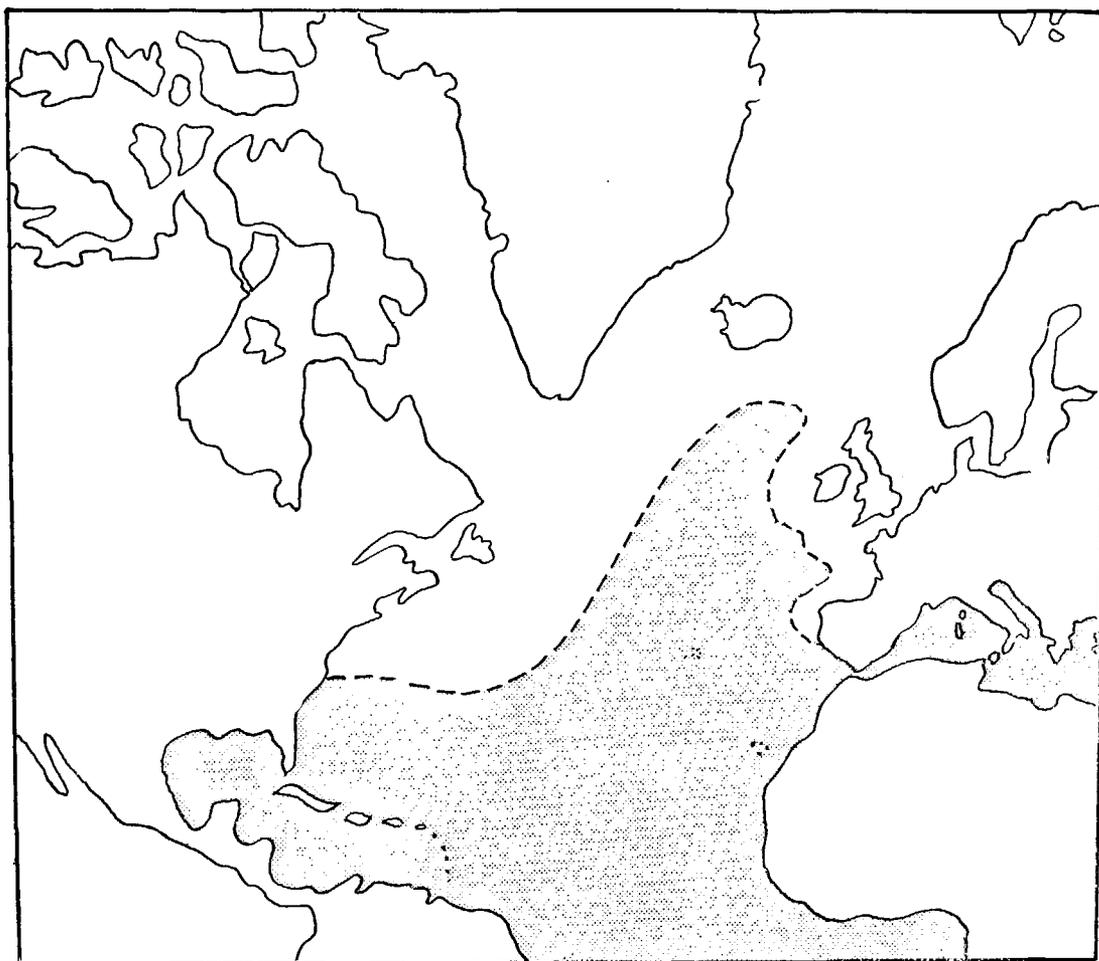


Fig. 6.

Les transgressions, au moment de leur maximum de rétraction.

Pendant cette période les eaux de la transgression proprement dite, c'est-à-dire les eaux équatoriales, d'une salure supérieure à 35,5 p. 1.000, sont circonscrites dans le nord Atlantique, au Sud d'une ligne qui, partant du Cap Hatteras, remonte au large de la côte américaine, contourne le Banc de Terre-Neuve par le Sud, puis gagne vers l'Est et le Nord jusqu'à rencontrer le plateau continental européen à l'ouest des Iles Britanniques. La ligne de démarcation

s'infléchit ensuite vers le Sud, laissant libre le plateau continental jusque vers la côte portugaise. Dans la région tropicale les eaux d'origine équatoriale n'abandonnent en aucun endroit la côte.

4° Mécanisme des transgressions.

a. Centres transgressifs.

Les centres d'émission des mouvements transgressifs se trouvent dans la zone équatoriale. Sans doute par suite de sa formation, l'Océan Atlantique est encore, au point de vue hydrologique, divisé en deux zones fort nettes : Atlantique nord et Atlantique sud, particulièrement en surface; en profondeur, par contre, ainsi que nous l'avons vu, il semble qu'il y ait eu une large pénétration des eaux abyssales d'origine arctique, dans l'Océan Atlantique austral. SCHOTT, en 1928, en établissant des moyennes de la répartition de la salinité à la surface des océans, a indiqué avec netteté une barrière d'eaux d'une salure inférieure à 35 p. 1.000 et qui s'étend du golfe de Guinée à l'embouchure de l'Orénoque, séparant ainsi les eaux proprement équatoriales en deux parties, Nord et Sud. Les travaux de Wüst montrent de même que les eaux sans oxygène de l'Atlantique forment deux masses, que sépare assez exactement la barrière indiquée par SCHOTT. Il semble donc qu'il y ait, dans l'Atlantique équatorial deux centres transgressifs, l'un au Nord, l'autre au Sud. Les masses d'eaux sans oxygène localiseraient assez exactement ces deux centres de diffusion.

Il est toutefois probable que l'existence de cette barrière est assez momentanée. Elle aurait une valeur constante au point de vue de l'hydrologie générale si les transgressions se produisaient simultanément dans l'hémisphère boréal et dans l'hémisphère austral, mais il n'en est rien, car le maximum de transgression vers le Nord correspond à un minimum vers le Sud et réciproquement. Les eaux atlantiques, dans un mouvement annuel, se balancent d'un hémisphère à l'autre, se rétractant dans l'un pour transgresser dans l'autre; et, étant donné le caractère accentué de leur salinité et de leur température, ce sont bien les mêmes eaux que nous trouvons à des endroits fort différents, dans le mouvement d'alternance de leurs déplacements.

Le plankton corrobore cette hypothèse et vérifie l'observation de PETERSSON, retrouvant dans l'hémisphère nord les formes typiques du courant de Benguela.

La barrière d'eaux atlantiques signalée par SCHOTT entre les deux zones d'eaux équatoriales doit, en réalité, jouer le rôle d'une cloison de soutien intermittente qui aide à la propagation soit vers le Nord soit vers le Sud, des mouvements transgressifs, en localisant dans l'un des hémisphères la masse d'eau équatoriale nécessaire à cette avance.

b. Transgressions de surface et transgressions profondes.

Nous avons vu que les eaux d'origine tropicale se divisent en deux groupes :

Les eaux équatoriales, d'une salinité supérieure à 35,5 p. 1.000;

Et les eaux atlantiques d'une salinité variant de 35,5 à 35 p. 1.000.

Ces dernières correspondent assez exactement à celles que Wüst a appelées les eaux nord-atlantiques profondes. L'élément actif de la force transgressive est constitué par les eaux équatoriales proprement dites, mais dans la zone tempérée, elles restent extrêmement superficielles.

Leur déplacement vers le Nord provoque toutefois une avance en profondeur des eaux atlantiques, car celles-ci comprimées en surface par l'extension des eaux équatoriales sont obligées de se frayer un chemin en suivant les fonds au milieu des eaux continentales. Sur le plateau continental européen, l'avance des eaux équatoriales se traduit surtout par une élévation thermique et l'avance des eaux atlantiques, par une élévation de salinité. Les unes restent toujours superficielles, les autres s'avancent en profondeur, mais leurs mouvements sont en liaison intime et c'est ainsi qu'on peut arriver à exprimer la loi suivante :

Sur le plateau continental une transgression chaude superficielle est toujours précédée d'une transgression profonde de salure élevée.

Étant donné que cette transgression salée à une forte densité, par suite de sa haute teneur en sel et de sa température relativement basse, elle épouse le relief du sol sous-marin en suivant les vallées profondes et remonte du bord du plateau continental vers les côtes en suivant les dépressions. Son poids intrinsèque lui permet de refouler devant elle les eaux continentales et profitant de la trouée ainsi faite, les eaux chaudes légères de surface arrivent à s'infiltrer à proximité des côtes. On peut donc, en conséquence, déduire la loi suivante :

Les transgressions de surface à 35,5 p. 1.000, suivant la route tracée par les eaux atlantiques de profondeur à 35 p. 1.000, se conforment dans leur parcours au trajet des vallées du relief sous-marin.

Il arrive même un moment, au plus fort de l'été océanique que les eaux à 35,5 p. 1.000 dépassent l'avance des transgressions salées profondes, mais la rétraction transgressive ne tarde pas à les faire reculer : les eaux atlantiques, après avoir régné de la surface au fond, se retirent graduellement faisant place aux eaux continentales qui se disposent suivant les principes du phénomène de la stabilisation hivernale.

Au large, les transgressions des eaux équatoriales suivent également dans leur itinéraire la direction des grandes vallées sous-marines ; la raison est sensiblement la même ; les eaux de profondeur atlantiques ont en effet avantage à s'écarter des côtes, où elles ont à lutter non seulement contre les eaux abyssales et polaires, mais en plus contre le manchon épais et adhérent des eaux continentales. Les eaux superficielles à 35,5 p. 1.000 suivent le même trajet pour les raisons indiquées ci-dessus.

c. Marche des transgressions.

Dans l'Atlantique nord, d'une façon générale, les transgressions se déplacent vers le Nord-Nord-Est. La vitesse de déplacement d'une transgression est d'autant plus rapide qu'elle s'avance dans le sens ci-dessus indiqué. La force d'inertie des eaux continentales et des eaux polaires ralentit sensiblement l'avance transgressive, quand les eaux atlantiques gagnent de plus en plus vers le Nord ou quand les contours géographiques forcent ces eaux à obliquer vers l'Est et surtout vers le Sud.

Dans la zone équatoriale le mouvement transgressif est insignifiant car les eaux continentales sont réduites à leur minimum et leur refoulement est inappréciable.

Les conditions géographiques et en particulier certains archipels ou émergences du plateau continental opposent à la marche des transgressions des masses de résistance qui retardent la vitesse de progression de ces dernières. Nous examinerons localement, dans un autre chapitre, ces principaux centres de résistance. Quand les eaux transgressives se trouvent en pré-

sence d'un archipel pas trop éloigné de la côte, elles se heurtent à une barrière d'eaux continentales qui joint les îles au littoral. Pour avoir raison de cette résistance, les eaux transgressives les entourent du côté du large et contournent l'archipel par le Nord, puis elles essaient de se glisser entre la côte et celui-ci, de telle sorte que les deux lobes finissent par se rejoindre en enserrant les îles, qui gardent autour d'elles une gaine d'eaux continentales.

Quand les eaux transgressives essaient de pénétrer dans un golfe rempli par des eaux continentales, elles s'infiltrent d'abord suivant la loi énoncée ci-dessus, en suivant les plus grandes

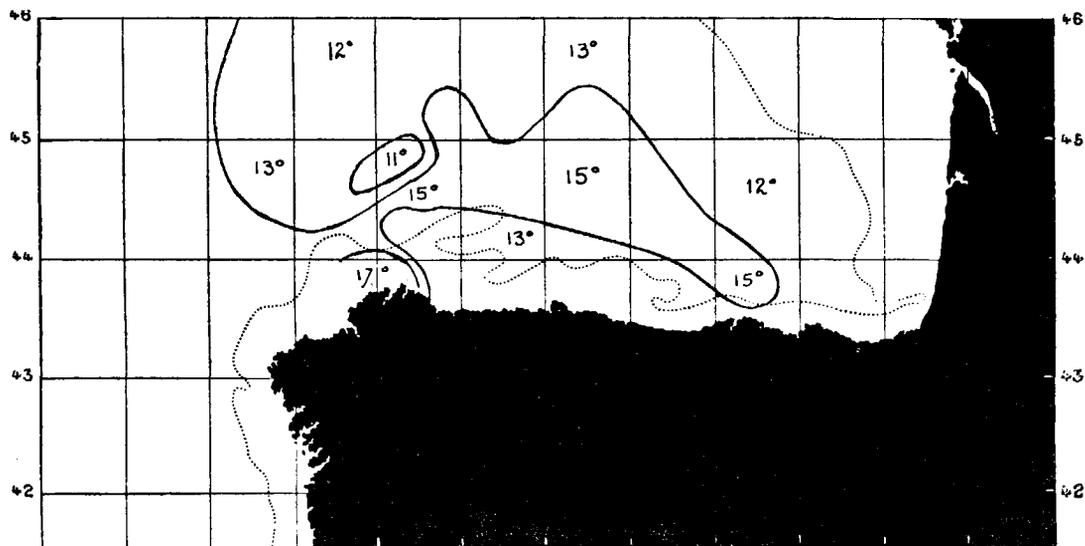


Fig. 8. -- Situation d'une borne d'eaux à 11° dans la 1^{re} quinzaine d'août 1927.

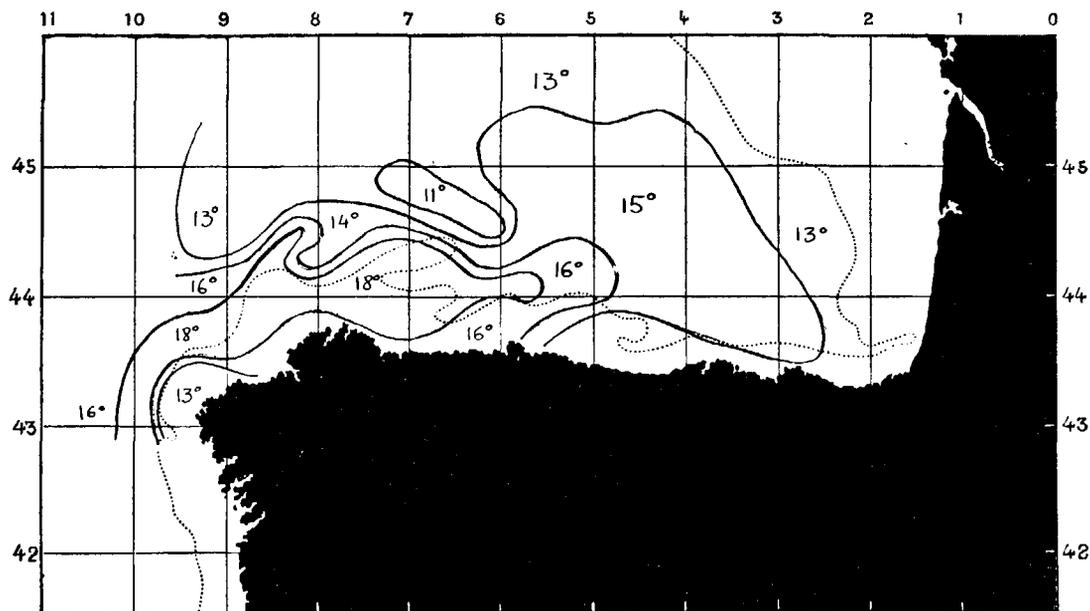


Fig. 9. — Situation de la même borne dans la seconde quinzaine d'août 1927.

profondeurs. Elles arrivent ainsi à remplir le fond de ce golfe, mais la plupart du temps les eaux continentales limitent leur entrée à un étroit chenal; alors usant de la pression de leur masse venue du large, elles déplacent le seuil qui les circonscrit jusqu'à arriver à le rompre ou à l'élargir en refoulant les eaux qui formaient barrière contre la côte. Ces phénomènes s'accomplissent avec une grande rapidité et deux croquis ci-contre montrent le refoulement vers l'Est

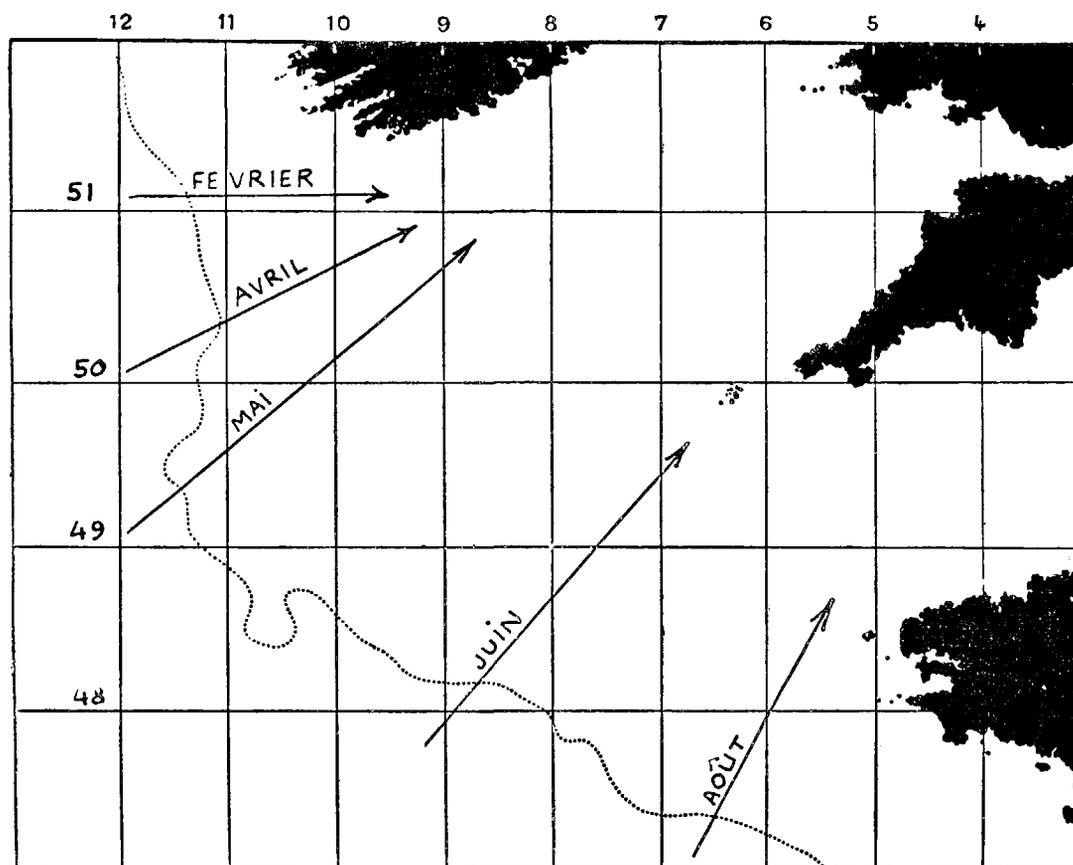


Fig. 10. — Variation des axes transgressifs au sud-ouest des Îles Britanniques.

et la déformation d'une borne d'eaux froides à 11° placée près du seuil froid du golfe de Gascogne et déplacée en moins de quinze jours. (Rapport Atlantique 1927.)

Dans certaines régions, et notamment dans celles où le plateau continental est fort large, le maximum de force de pénétration des transgressions varie en direction au fur et à mesure de leur avance. Nous avons appelé *axes transgressifs* (Rapport Atlantique, 1928) ces directions variables de la marche transgressive, en les définissant particulièrement sur la partie du plateau continental situé au Sud-Ouest des Îles Britanniques. Dans cette région, en hiver, les eaux continentales couvrent entièrement le plateau atlantique venant principalement du canal Saint-Georges et de la Manche. Le golfe de Gascogne est encore fermé aux eaux équatoriales. La montée rapide de la transgression amène celle-ci à attaquer le plateau continental au Sud-Ouest de l'Irlande, près de Hurdbank.

Les eaux continentales, quand s'avance la saison, diminuent en volume et la transgression empiète graduellement sur le plateau; mais au lieu de l'attaquer d'Est en Ouest, leur axe principal s'oriente Sud-Est - Nord-Ouest et se rapproche des côtes françaises et britanniques. C'est avec une direction Nord 30° Jegré Est que, vers le mois d'août d'une année normale, la transgression pénètre dans les eaux superficielles de la Manche.

d. *Itinéraire saisonnier normal.*

Nous verrons par la suite qu'à cause de leur périodicité, les transgressions ne se déplacent pas toujours au même moment dans l'année; mais, quoiqu'il en soit, leur marche reste sensiblement la même. Dans l'Atlantique oriental, ayant refoulé définitivement les vestiges d'eaux continentales qui bordent le littoral africain, au sud du Cap Bojador, elles encerclent l'archipel des Canaries, et la zone froide des Îles Salvages, longent la côte marocaine, entourent Madère, pénètrent en baie d'Espagne. A partir de ce moment, leur mouvement se ralentit, et dès le Cap Saint-Vincent et l'embouchure du Tage, elles ne peuvent plus suivre la côte d'une façon aussi intime. Cependant un large lobe s'isole et monte directement vers le Nord, à quelque distance des côtes de Portugal; ce diverticule pénètre dans le golfe de Gascogne en suivant la côte espagnole et s'élargit rapidement au fond de ce golfe dans les grandes profondeurs de la fosse de Cap Breton. Cette expansion reste très longtemps distincte du reste des eaux atlantiques par suite d'un seuil froid qui limite l'entrée du golfe. La masse principale des eaux transgressives attaque par le Sud le plateau continental très vaste situé au sud-ouest des Îles Britanniques et de la côte française de Bretagne.

De profondes pénétrations ont lieu successivement au sud-ouest de l'Irlande, dans le chenal de la Grande Sole, au sud-ouest de Penmarc'h. La transgression continue sa marche à l'ouest de l'Irlande et se heurte aux eaux continentales du plateau de Rockall. Un lobe spécial s'infiltré entre ce plateau et la côte d'Écosse, tandis que la masse générale des eaux transgressives le contourne par l'Ouest et vient se heurter aux émergences de la crête Wyville Thomson et en particulier aux Îles Feroë.

Entre les Feroë et les Shetland une importante masse d'eaux suit la grande dépression qui borde le plateau continental de la mer du Nord, et suivant la ligne de grands fonds qui bordent la Norvège, se rabat vers le Sud, envahissant graduellement la mer du Nord; cette pénétration dans un sens absolument contraire à celui de la marche générale de la transgression, est du reste, fort lente. Par le même chenal Feroë-Shetland, la transgression pénètre en mer de Norvège, l'envahit, émet un diverticule qui vient lécher la côte sud-ouest d'Islande et progressant toujours vers le nord, entre la Norvège et Jan-Mayen, arrive jusqu'au Spitzberg.

Dans l'Atlantique occidentale, les eaux équatoriales quittent la côte à partir du Cap Hatteras, et encerrent étroitement le sud-est du Banc de Terre-Neuve; les eaux transgressives restent maintenues à une distance assez forte de la côte de Groënland, à part un petit lobe qui a tendance à entrer dans le détroit de Davis.

Cette extension, tant orientale qu'occidentale, marque dans le Nord-Atlantique, le maximum transgressif.

Après ce mouvement commence la rétraction des eaux équatoriales, qui viennent occuper la position que nous avons définie à propos de la stabilisation hivernale.

Dans l'Atlantique sud, nous ne connaissons pas les variations de l'extension transgressive, mais les travaux du « *Météor* » indiquent comme moyenne, quel que soit à l'Ouest qu'à l'Est, cette transgression atteint le 40° degré latitude sud.

Comme nous l'avons dit précédemment, le mouvement transgressif austral est inverse dans le temps et dans l'espace du mouvement transgressif boréal.

B. — CAUSES ET PÉRIODICITÉ DES TRANSGRESSIONS.

1° *Relations astronomiques.*

a. *Recherches du Professeur PETERSSON.*

Nous avons dit qu'un an après notre découverte des transgressions, le Professeur Otto PETERSSON, travaillant en Baltique, avait analysé un phénomène comparable, qu'il avait décrit sous le nom de *marées internes*; ce phénomène se confond, en somme, avec celui des transgressions.

La haute culture astronomique du savant suédois lui a permis de relier ces marées internes à des phénomènes astronomiques. Otto PETERSSON avait défini les marées internes comme « une marée sous-marine parallaxique de très grande amplitude », et établi que le phénomène se reproduisait à la suite d'une année lunaire de 355 jours. Il en avait déduit que ce phénomène était « un phénomène de marée, par le fait même qu'il se répétait suivant les périodes lunaires », Il avait d'autre part considéré cette marée comme profonde, par le fait qu'elle « disparaît de la surface quand l'eau salée de l'Océan est inondée par l'effluve de l'eau diluée venant de la mer Baltique, qui agit comme une nappe d'huile répandue sur la surface de l'eau océanique ».

On retrouve là, à l'interprétation près, le principe des transgressions salées profondes, que nous avons décrit ci-dessus. Ces transgressions sont plus marquées dans l'Océan que dans la mer Baltique, mer fermée, dans laquelle le Professeur PETERSSON a effectué ses observations. Il reconnaissait, du reste, que « ces phénomènes sont des effets simultanés de la même force et ont la même origine dans les grands centres d'action de l'Océan Atlantique. »

Ayant, d'autre part, reconnu que « la première cause de tous ces phénomènes devait être cherchée dans les variations connues de la pesanteur, dont la périodicité est réglée par les constellations de la lune qui mettent en ébranlement les foyers du soleil et les centres d'action de la terre », il rattacha l'ensemble des faits observés à la périodicité des constellations des nœuds apsides, c'est-à-dire quand l'apside et le nœud de l'orbite de la lune se rencontrent dans l'écliptique.

Otto PETERSSON signalait comme termes périodiques du phénomène observé les périodes suivantes :

- aa. Période de révolution de la ligne des nœuds de l'orbite lunaire, 18 années, 6 ;
- bb. Période de révolution du périhélie de l'orbite lunaire, 8 années, 85 ;
- cc. Période de l'année lunaire, 355 jours ;
- dd. La période de 99, périodes synodiques (mois lunaire) valant 2.923 jours, soit : 8 années, 004 ;
- ee. Période de 124 périodes synodiques valant 3.661 jours, soit : 10 années, 9 jours ;
- ff. Période dite « Saros », 18 années, 11 jours ;
- gg. Période du nœud apside, 1.095 jours ;
- hh. Période de périhélie, nœud apside, soit : 1.800 ans environ.

D'autre part, en se basant sur les travaux du suédois LJUNGMANN, Otto PETTERSSON définissait les périodes séculaires de la pêche au hareng dans les détroits danois comme suit :

SIÈCLES.	PÉRIODES.
XIX ^e	1875-1896
XVIII ^e	1752-1810
XVII ^e	1660-1680
XVI ^e	1556-1587
XV ^e	1419-1474
XIV ^e	1307-1362
XIII ^e	1195-1250
XII ^e	1083-1138
XI ^e	971-1026

LJUNGMANN attribuait cette périodicité à une période hypothétique de 111 ans dans les taches solaires, mais le Professeur PETTERSSON considère comme préférable de définir cette périodicité par « la coïncidence des époques des périodes synodiques et anomalistiques au temps du perihelium de la Terre avec une déclinaison maxima de la lune ».

D'après ce principe, les années culminantes des périodes séculaires de pêche seraient :

1894, 1783, 1672, 1561, 1450, 1339, 1228, 1117 et 1006.

Ces années se suivent à un intervalle fixe de 111 ans.

La dernière période séculaire de la pêche au hareng, d'après le savant suédois, a surtout été marquée de 1884 à 1896.

b. *Recherches des Professeurs d'ARCY THOMSON et STORROW.*

Le Professeur d'ARCY THOMSON, dans un examen des marées de la région d'Aberdeen, constata trois maxima : en 1866, 1885 et 1904, c'est-à-dire sensiblement à 18 ans et demi de distance.

Cette périodicité de 18 ans et demi est mise en valeur dans les travaux du Docteur STORROW, comme séparant des phénomènes océanographiques de grande amplitude. Il signale en outre que quatre années après le maximum et quatre années après le minimum des marées périodiques se trouvent deux maxima dans les fluctuations de la pêche, et il suppose que la marée océanique n'exerce son influence qu'avec un retard de quatre années.

c. *Recherches du Professeur LALLEMAND et de M. E. PREVOT.*

Le 27 mai 1929, MM. LALLEMAND et PREVOT déposaient à l'Académie des Sciences de Paris, une note sur les variations lentes du niveau moyen de la mer sur le littoral français.

Ils indiquaient qu'un premier examen des résultats obtenus dans deux stations maréographiques, avait accusé pour le niveau moyen annuel un exhaussement continu d'environ $\frac{3}{4}$ de millimètre par an.

Au premier abord, on avait cru à un lent affaissement du sol, mais les deux savants français

s'aperçurent que cet exhaussement était dû à un mouvement oscillatoire complexe résultant de la superposition de plusieurs ondes d'origine océanique, à savoir :

- aa. Révolution de la ligne des nœuds de l'orbite lunaire, 18 années, 6;
- bb. Harmonique d'un quart de l'onde précédente, 4 années, 65;
- cc. Harmonique quintuple, 93 ans;
- dd. Variations périodiques du magnétisme terrestre et du déplacement en latitude des taches solaires, 11 années, 11;
- ee. Harmonique moitié de l'onde précédente, 5 années, 55;
- ff. Révolution du périégée de l'orbite lunaire, 8 années, 85;
- gg. Harmonique moitié de l'onde précédente, 4 années, 425.

Ils concluaient que l'exhaussement du niveau de la mer, constaté sur notre littoral pendant les trois derniers quarts de siècle avait pour cause, non pas comme on l'avait cru, un lent affaissement du sol, mais des phénomènes astronomiques de nature périodique. Ils ajoutaient que les mêmes causes qui amplifient parfois considérablement l'onde semi-diurne semblaient donc agir aussi dans une certaine mesure, sur les ondes océaniques à très longue période.

*
* *

En 1921, lors de nos premières publications, et ignorant encore les travaux d'OTTO PETERSSON et de STORROW, nous avons pensé que la transgression observée par nous à bord du navire de recherches français « *Tanche* », avait un caractère d'amplitude exceptionnelle. Dans le but de le constater, nous avons recherché, dans l'admirable source de documentation que représentent les bulletins hydrographiques du Conseil international pour l'Exploration de la Mer, si, antérieurement, une aussi grande extension des eaux atlantiques avait été constatée, et nous étions arrivé à trouver qu'en 1903 s'était produite une extension comparable.

Les données hydrographiques marquaient, en outre, des maxima en 1907, 1912 et 1916. C'est donc d'après des données purement empiriques que nous pûmes établir, dès cette époque, un rythme périodique, avec les multiples :

$$1 - 4 - 12 - 9 - 18.$$

La publication des travaux d'OTTO PETERSSON basés sur des considérations astronomiques, en 1922, nous permit de préciser la périodicité, et de prendre la nouvelle formule :

$$1 - 4 - 12 - 9 - 18 - 12 - 111.$$

(Rapport Atlantique 1923).

Puis en 1929, vinrent les travaux de LALLEMAND et PREVOT, et en 1931 (*Revue des Travaux de l'Office*, t. IV, fasc. 1) nous avons arrêté le rythme :

$$1 - 4,6 - 9,3 - 18,6 - 111.$$

Dans ce rythme, nous avons donc retenu comme influant sur les mouvements transgressifs d'une façon très claire, et comme corroborant les observations multiples pratiquées depuis 1921, les ondes composantes suivantes :

- aa. Révolution de la ligne des nœuds de l'orbite lunaire, 18 années, 6;
- bb. Moitié de cette onde, 9 années, 3;
- cc. Quart de cette onde, 4 années, 65;
- dd. Déplacement en latitude des taches solaires, 111 ans.

Ces données nous permettent de remplacer, par une formule à base mathématique celle que nous avons primitivement établie sur des données empiriques.

2° *Périodicité des transgressions.*

L'application du rythme : 1 — 4,6 — 9,3 — 18,6 — 111 — nous permet de classer les transgressions suivant leur ordre de grandeur de la façon suivante :

a. Transgressions séculaires.....	111 ans
b. Transgressions octodécimales.....	18 ans, 6
c. Transgressions novennales	9 ans, 3
d. Transgressions semi-novennales	4 ans, 6
e. Transgressions annuelles	1 an

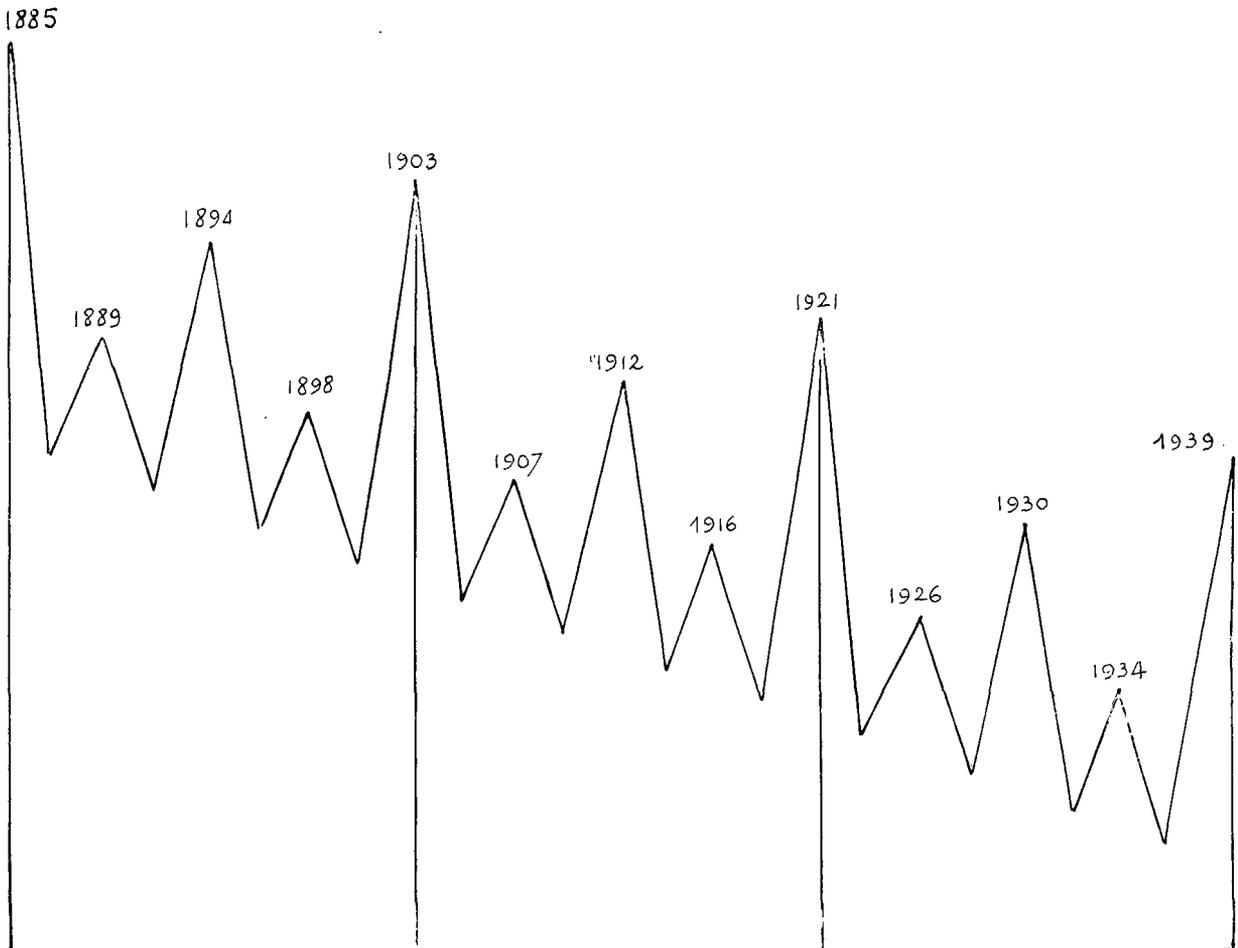


Fig. 12.

Schéma de la périodicité des transgressions de 1885 à 1939.

D'après les observations océanographiques, la dernière transgression séculaire a eu son maximum en 1885;

Les deux dernières transgressions octodécimales se placent en 1903 et en 1921 ;

Les dernières transgressions novennales coïncident avec les années 1894, 1912, 1930 ;

Enfin, on trouve des transgressions semi-novennales en 1889, 1898, 1907, 1916, 1926.

Les maxima de 1885, 1903 et 1921, ne correspondent pas aux maxima fournis par MM. LALLEMAND et PREVOT, qui se placent en 1882, 1900 et 1918, c'est-à-dire trois années en avant des dates signalées pour les maxima de l'amplitude transgressive. Le sommet de 1918 marque en outre le culmen de l'onde quintuple de la révolution de la ligne des nœuds de l'orbite lunaire à période de 93 ans, qui figure parmi les ondes composantes indiquées par les deux savants français.

Ce décalage mathématique paraît, du reste, explicable si l'on admet que les phénomènes transgressifs ne reconnaissent pas pour cause unique la révolution de la ligne des nœuds de l'orbite lunaire, mais aussi la variation périodique du magnétisme terrestre et du déplacement en latitude des taches solaires (111 années).

La différence entre cette période de 111 années et l'harmonique quintuple de l'onde de révolution de la ligne des nœuds de l'orbite lunaire est la suivante :

$$111 - 93 = 18.$$

Il en résulte que prenant pour unité l'onde de la révolution de la ligne des nœuds de l'orbite lunaire, nous constatons que cette onde est contenue 5 fois dans 93 années tropiques et 6 fois dans l'onde de variations périodiques du magnétisme terrestre et du déplacement en latitude des taches solaires. Ainsi le décalage de trois ans signalé précédemment entre les maxima de l'onde de 93 ans et les maxima transgressifs, amène une concordance exacte avec l'onde de 111 ans par l'addition 6 fois répétée d'un intervalle de 3 années qui fournit à la fin de la période de 111 ans une période complémentaire de 18 ans, permettant une coïncidence approximative entre les deux ondes composantes auxquelles obéit le mouvement transgressif. (Rapport Atlantique 1929.)

*
* *

On peut poser comme règle que *l'amplitude d'une transgression est d'autant plus forte qu'elle correspond au maximum d'une période plus longue.*

Cette importance de l'amplitude se fait même sentir dans le temps ; c'est ainsi, par exemple, que le maximum transgressif d'une marée séculaire ne porte pas seulement sur l'année où il se place, mais sur les années précédentes et suivantes, à tel point qu'on peut dire qu'une transgression de cet ordre dure au moins neuf ans et a des répercussions sur dix-huit années. Ce fut le cas de la grande transgression de 1885 qui s'étendit en fait de 1876 à 1894 ; période qui coïncida avec la fameuse pêche « miraculeuse » des harengs de Norvège.

Les transgressions octo-décimales ont aussi une grande importance. On se rappelle les perturbations que la transgression de 1921 apporta dans le monde de la pêche, particulièrement en ce qui concerne la morue, le hareng et, indirectement, les huitres.

Les graphiques que nous fournissons ci-contre, peuvent donner une idée générale de la périodicité des transgressions, mais les détails du phénomène sont complexes, par suite surtout des fractions d'années qui interviennent dans la périodicité.

La figure 11 donne seulement un aperçu de la disposition des transgressions octo-décimales par rapport aux transgressions séculaires. La figure 12 est un peu plus précise, car elle indique les maxima transgressifs d'ordre secondaire, mais je n'ai pu y faire figurer les fractions d'années.

Or, d'après le rythme que nous avons indiqué, ces fractions d'années amènent un décalage important dans les dates auxquelles les phénomènes transgressifs marquent leurs divers maxima. Il résulte des observations effectuées depuis 1902, soit par les techniciens du Conseil international, soit par moi-même, que les plus récents maxima transgressifs se placent de la façon suivante :

Février 1903	Maximum octo-décimal.
Août 1907	Maximum semi-novennal.
Mai 1912	Maximum novennal.
Novembre 1916	Maximum semi-novennal.
Août 1921	Maximum octo-décimal.
Février 1926	Maximum semi-novennal.
Novembre 1930	Maximum novennal.
Mai 1934	Maximum semi-novennal.

Mais il faut tenir compte que le mouvement transgressif porte sur une période de plusieurs mois et que, par exemple, la Mer du Nord subit l'influence atlantique au moins trois mois après le golfe de Gascogne. Les chiffres que nous avons fourni ci-dessus concernent cette dernière région. Nous citerons comme exemple, la grande transgression octo-décimale de 1921 que nous pûmes étudier en août dans le golfe de Gascogne et qui eut sa répercussion en Mer du Nord, seulement au début de 1922, où elle provoqua des perturbations dans la pêche du hareng. De même le maxima semi-novennal de 1907, que nous plaçons en août, se traduit au mois de novembre en Mer du Nord par un influx atlantique inaccoutumé. Le décalage dans le temps des maxima transgressifs est encore plus sensible dans les régions arctiques (Spitzberg, etc.).

3° *Périodicité cosmique.*

Le rythme périodique qui règle les variations d'amplitude des transgressions, appartient certainement aux rythmes beaucoup plus vastes dans leur durée et leurs effets auxquels obéissent les grandes variations de la terre. Nous avons déjà beaucoup de peine à connaître, par des observations précises, les conditions cosmiques des époques très proches de nous; aussi, quand nous nous éloignons dans le passé géologique, une très large place est prise par l'hypothèse.

Les multiples des ondes qui composent les mouvements marins méritent d'être examinés à ce point de vue. Nous avons signalé que les maxima de l'onde de révolution des nœuds de l'orbite lunaire (93 ans) concordaient rarement avec l'onde de 111 ans qui régit le déplacement en latitude des taches solaires. La coïncidence exacte ne se réalise en effet, qu'à de très longs intervalles, à savoir 10.323 ans, soit 555 périodes de 18 années, 6. Ce chiffre représente sensiblement la moitié de la période dans laquelle l'azimuth du périhélie fait un tour complet, soit 207 siècles, ou 20.700 ans.

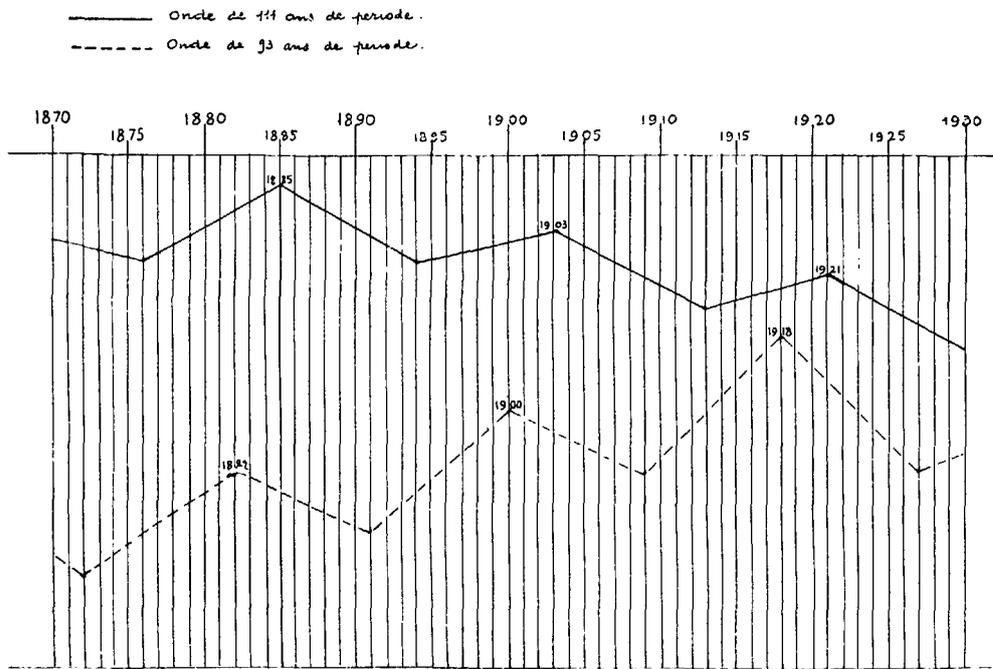


Fig. 13.

Rapports des ondes de 93 et de 111 années de période.

Cette dernière donnée a été utilisée par MILANKOVITCH qui entreprit d'établir la chronologie des variations climatiques aux époques géologiques, en se basant sur la théorie de KÖPPEN et de WEGENER, qui explique ces variations par le célèbre principe de la dérive des continents.

MILANKOVITCH arrive ainsi à préciser les dates des quatre grandes dernières glaciations de la Terre, en les fixant comme suit :

1 ^{re} glaciation (GÜNZ)	570.000 ans avant 1850.
2 ^e glaciation (MINDEL)	460.000 —
3 ^e glaciation (RISS)	210.000 —
4 ^e glaciation (WÜRМ)	98.000 —

Ces chiffres approximatifs permettent d'inférer qu'entre chacune des deux dernières glaciations, s'est étendue une période d'environ 110.000 ans, correspondant à 11 fois la période de coïncidence des deux ondes de 93 et de 111 ans dont nous avons parlé plus haut. Le même espace de temps sépare la première de la deuxième glaciation; par contre, la grande phase inter-glaciaire qui s'étend entre la deuxième et la troisième, semble avoir eu une durée double, et représenter l'espace des 207 siècles correspondant au tour complet de l'azimuth du périhélie.

Malgré l'importance de leurs durées et des périodes intermédiaires, ces quatre glaciations sont limitées à une seule époque géologique, le pléistocène, et des géologues, comme LEMOINE considèrent qu'elles sont une répétition de phénomènes semblables antérieurs, aux époques géologiques plus lointaines : ce demi-million d'années représente en effet, peu de chose dans

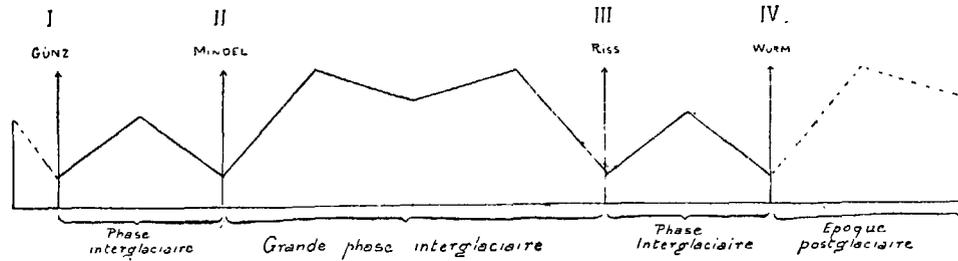


Fig. 14. — Rythme périodique des glaciations pléistocènes.

le passé de notre planète. On a trouvé des traces de glaciation au Cambrien, au Dévonien, au Permien, et, suivant l'opinion du Directeur du Muséum, la grande invasion de la mer Céno-manienne, au Crétacique, appartiendrait à un phénomène du même ordre.

On peut donc concevoir qu'il y a eu depuis l'origine de la Terre des variations thermiques dues à des phénomènes dont nos transgressions actuelles sont un pâle reflet et ayant une amplitude et une durée énormes. Ce rythme gigantesque explique sans qu'il soit besoin de recourir à la dérive des continents, la présence d'une faune et d'une flore chaudes au Spitzberg, que les eaux transgressives actuelles atteignent encore faiblement de nos jours. Sans essayer de définir le rythme qui a présidé à ces grandes variations thermiques, on peut cependant essayer de se faire une idée de leur correspondance avec les diverses époques géologiques.

PÉRIODES FROIDES (GLACIATIONS).	PÉRIODES CHAUDES (TRANSGRESSIONS).
Cambrien.	
Dévonien.	Silurien.
Permien et triasique.	Carbonifère.
Crétacique (céno-manien).	Jurassique.
Pleistocène.	Tertiaire.

Laissant de côté ce passé lointain, et nous en tenant aux périodes récentes, il est intéressant de signaler cette onde d'une durée de 1.800 ou 1.860 ans, que signale Otto PETERSSON comme période : perihelium — nœud apside. L'époque dernière de cette grande période tombait au commencement du quinzième siècle quand le nœud apside se produisit au temps du

solstice, avec apogée dirigé vers le soleil. La force des marées atteignit un maximum qui se traduisit par une foule de cataclysmes; en l'an 1420, les glaces s'amassèrent autour du Groënland et la mer détruisit une partie des rivages de la Hollande. Le même phénomène se manifesta avant l'ère chrétienne, aux environs des années 430, 2300, 4100, 6000, 7900, et 9700 avant Jésus-Christ. Certaines de ces dates correspondent d'une façon impressionnante avec celles que la tradition attribue au creusement de la mer Rouge, au déluge biblique, et à l'effondrement de l'Atlantide.

Tous ces faits montrent que le rythme des transgressions océaniques est en correspondance directe avec les forces générales de grande amplitude qui régissent les phénomènes cosmiques.

4° La prévisibilité des campagnes de pêche.

En 1922, tandis que PETERSSON calculait l'importance des marées internes séculaires sur la pêche au hareng dans les pays scandinaves, j'étais amené à constater une variation de l'isotherme + 14 degrés à 50 mètres de profondeur dans le golfe de Gascogne, par rapport à la position de cet isotherme en 1921. D'une façon générale, l'extension des eaux atlantiques était moindre en 1922 qu'en 1921; or, BOWMANN en Écosse, RUSSELL en Angleterre et moi-même en France, avions pu affirmer que la grande pénurie harenguière qui marqua la campagne d'hiver 1921-1922, était due à un influx exceptionnel des eaux atlantiques en mer du Nord. Cet influx qui fut fatal à nos pêcheurs au début de 1922 avait, nous l'avons dit, attiré mon attention dès août 1921. Je fus logiquement amené à penser qu'il y avait corrélation sur les différents points du plateau continental européen entre les amplitudes des eaux atlantiques, puisque l'exceptionnelle transgression d'août 1921 dans le golfe de Gascogne avait correspondu à une transgression inaccoutumée en mer du Nord. La valeur moindre des nappes chaudes en août 1922 dans le golfe de Gascogne, devait entraîner en hiver un retour aux conditions biologiques habituelles en mer du Nord.

Cette possibilité de prévoir la valeur de la pêche suivant le rythme transgressif fit l'objet d'une communication à l'Académie des Sciences le 27 novembre 1922.

Depuis cette époque, nombreuses ont été les confirmations apportées par les faits aux prévisions déduites de la théorie des transgressions.

L'année 1930-1931 devait marquer un nouveau sommet transgressif, mais d'une amplitude moindre (transgression novennale); aussi M. LE GALL, chef du Laboratoire de l'Office à Boulogne-sur-Mer et moi-même avions-nous averti Fécampoïis et Boulonnais de nos craintes pour la saison harenguière; les événements justifiaient nos appréhensions et la campagne, au début surtout, fut des plus médiocres; mais, par suite de son ordre de grandeur, la transgression novennale de 1931 eut heureusement des effets moindres que la transgression octodécimale de 1921.

La même prévisibilité s'applique aux autres espèces de poissons. La valeur des campagnes de pêche à la morue sur le Banc de Terre-Neuve et au Groënland, est maintenant susceptible d'être prévue depuis les recherches effectuées à ce point de vue par moi-même en 1922 et 1923, et depuis par le Commandant BEAUGÉ.

Il en est de même pour le thon blanc ou germon, le maquereau, etc.

Certaines régions sont maintenant fort bien connues à ce point de vue et par des comparaisons avec les années précédentes, en tenant compte des déplacements périodiques des transgressions, il m'est possible ainsi qu'à mes collaborateurs de l'Office des Pêches maritimes, de conseiller utilement les pêcheurs et les armateurs.

C. — COURANTS MARINS.

1° Courants dus à la force de la rotation de la terre.

Nous n'avons pas l'intention dans ce travail destiné à préciser nos connaissances sur les transgressions, d'entreprendre une étude des courants de l'Atlantique nord. Il est seulement nécessaire de préciser certains d'entre eux qui se trouvent en relation directe ou indirecte, favorable ou contraire, avec les phénomènes transgressifs.

La force de la rotation de la terre a tendance à entraîner vers l'Ouest, c'est-à-dire en sens inverse du sens de cette rotation, d'importantes masses océaniques, provoquant ainsi des courants. On peut signaler trois phénomènes de cet ordre :

- a. La grande dérive glaciaire ;
- b. Le courant équatorial ;
- c. Le courant méditerranéen.

a. Dérive glaciaire.

Nous avons déjà mentionné, dans le premier chapitre, les circonstances qui amenèrent Nansen à vérifier avec le « *Fram* » la dérive circumpolaire de la grande banquise, indiquée par l'épave de la « *Jeannette* ». Cette banquise morcelée chemine par le détroit de Danemark, en formant des icebergs qui flottent vers le Sud en fondant peu à peu. Cette masse d'eaux froides détermine un courant, le courant du Labrador. Celui-ci abandonne le Groënland au Cap Farewell, pénètre dans la large baie du Labrador qu'il emplit, et contourne l'île de Terre-Neuve par l'Est. Puis il longe les hauts fonds du grand Banc de Terre-Neuve. A la belle saison, par suite de sa lourde densité due à sa température, le courant du Labrador s'enfonce en restant intimement collé contre la pente orientale du Grand Banc : il y forme un gros bourrelet d'eaux froides qui va en s'amenuisant vers le Sud et que les océanographes désignent du nom de *Cold Wall*. Une partie du courant, par la baie de Plaisance, rejoint le chenal Laurentien et se mêlant aux eaux froides du Saint-Laurent s'applique contre la côte de Nouvelle-Écosse et des États-Unis jusque vers le cap Hatteras.

La dérive de la banquise qui occupe, dans l'Atlantique septentrional, la partie de cet océan

situé au nord-ouest de la ligne joignant le Spitzberg, Jan Mayen et l'Islande, et le courant du Labrador qui est issu de cette dérive, ont une grande influence sur la marche des transgressions, par ce fait qu'ils limitent strictement leur pénétration à l'Atlantique oriental. De même le *cold wall* empêche pratiquement les eaux atlantiques vraies de pénétrer sur le Banc de Terre-Neuve et le réchauffement du Banc en saison d'été se fait uniquement grâce aux eaux de la pente et aux eaux propres du Banc, réchauffées *in situ*.

A partir du Cap Hatteras, le courant du Labrador n'a plus d'existence propre, car ses eaux se sont confondues, soit avec les eaux continentales américaines, soit avec les eaux abyssales au sud du Banc de Terre-Neuve. L'intensité de la dérive glaciaire a une grande importance au point de vue du régime de l'Atlantique occidental. Elle varie avec une amplitude qui est naturellement inverse de l'amplitude transgressive.

b. *Courant équatorial.*

Le courant équatorial est issu de la côte africaine où il réunit une importante masse d'eaux entre les îles Canaries et le Congo. Il se manifeste au départ par deux courants côtiers, le courant des Canaries et le courant de Benguela; puis il fait route vers l'Ouest, en suivant à peu près exactement la nappe superficielle d'eaux à 35 p. 1.000 signalée par SCHOTT et dont nous avons examiné le rôle au point de vue du mécanisme transgressif. On peut dire que ce courant équatorial n'est que l'expression du frottement de ces eaux de salure relativement faible au milieu de la masse des eaux tropicales sur-salées. L'influence des grands fleuves africains, Niger et Congo, qui drainent les eaux pluviales de la grande forêt équatoriale, se fait aussi certainement sentir dans cette diminution du degré de salinité.

Le courant équatorial, ayant traversé l'Atlantique, passe au nord de la côte du Brésil et atteint le golfe du Mexique, au travers des Petites Antilles, jusque vers le sud de Cuba. Nous verrons ultérieurement ce que deviennent les eaux transportées par ce courant dans le golfe du Mexique.

c. *Courant méditerranéen.*

Il paraît établi que des échanges constants se font à travers le détroit de Gibraltar entre l'Atlantique et la Méditerranée.

NANSEN et HELLAND HANSEN attribuèrent à ce déversement des eaux méditerranéennes, la présence d'eaux salées en profondeur dans tout l'Atlantique oriental. Par contre, mon collègue Rafaël de BUEN, nia toute pénétration des eaux méditerranéennes dans l'Atlantique, puis admit, plus tard, à la suite de controverses avec les professeurs SCHOTT et RAMALHO, une faible pénétration des eaux méditerranéennes dans les cuvettes successives que forme le relief sous-marin de la baie d'Espagne.

Il est probable que les eaux méditerranéennes, sous l'influence de la rotation de la Terre, passent en petite quantité le seuil de Gibraltar et par suite de leur forte salure demeurent en profondeur, mais il paraît difficile d'admettre que toutes les eaux salées profondes de l'Atlantique oriental soient d'origine méditerranéenne. Cette mer, en effet, subit une évaporation intense qui compense largement les apports des grands fleuves tributaires. Les eaux

interprétées comme eaux méditerranéennes par NANSEN et HELLAND HANSEN, ne sont, en réalité que des eaux atlantiques profondes à 35 p. 1.000.

Le Professeur PETTERSSON, tenant compte de nos premières publications sur les transgressions, est moins certain de l'existence du Gulf-Stream dans l'Atlantique oriental, et a récemment émis l'opinion que ce courant, au-delà des Açores, se transformait en courant de profondeur et expliquait ainsi la présence des eaux salées profondes, attribuées à une origine méditerranéenne : cette explication équivaut, du reste, à confondre ces eaux avec les eaux atlantiques.

2° *Le courant de Floride.*

Nous avons, dans l'introduction de ce mémoire exposé nos critiques sur l'existence du Gulf-Stream en Atlantique oriental; aussi, nous paraît-il inutile de revenir sur les arguments que nous avons fournis pour détruire l'opinion admise que ce courant pénétrait dans l'Atlantique oriental, et s'étendait jusqu'au Spitzberg.

Pour le réduire à ses justes proportions, il représente le courant de retour du courant équatorial; les eaux de celui-ci accumulées par la rotation de la terre dans le golfe du Mexique, en sortent entre la Floride et l'île de Cuba et épousent le bord septentrional des transgressions. Dans la région américaine, le contraste entre les eaux des transgressions et les eaux du courant du Labrador est tellement marqué, que le frottement de ces eaux de nature différente suffirait à lui seul pour déterminer un courant; mais après le Banc de Terre-Neuve, la force de ce contraste diminue: le Gulf-Stream perd sa vitesse et, vers les Açores, il se confond complètement avec l'ensemble des eaux atlantiques.

CHAPITRE III.

LES TRANSGRESSIONS DANS LA PARTIE ORIENTALE
DE L'ATLANTIQUE NORD.

Dans les deux chapitres précédents, nous avons étudié les transgressions atlantiques dans leur forme générale et essayé de préciser la théorie et les lois de ces phénomènes. Les principes que nous avons énoncés dérivent de multiples observations effectuées dans l'Atlantique nord et il nous paraît nécessaire d'exposer en détail, dans différents secteurs, l'aspect réel des phénomènes transgressifs. Cette étude de détail est la base de la théorie générale.

Les observations océanographiques que je vais présenter en les interprétant, sont empruntées en grande partie, aux travaux de mes collègues étrangers et de mes collaborateurs français. La coordination des recherches internationales dans le Comité du Plateau continental Atlantique, créé au sein du Conseil international pour l'Exploration de la Mer, en 1921, a grandement facilité mes études dans l'énorme secteur qui s'étend des Canaries à l'Irlande. Parmi mes collègues du Comité atlantique, je tiens à remercier tout particulièrement MM. Rafaël de BUEN et RAMALHO, dont les travaux, dans la vaste région comprise entre la péninsule ibérique, les Açores, les Canaries et le détroit de Gibraltar représentent un apport documentaire de premier ordre.

J'ai également beaucoup profité des observations parfaitement régulières effectuées au sud de l'Irlande et en Manche par le Service des Pêches irlandais, sous la direction de M. J.-P. FARRAN et par la « Marine Biological Association » de Plymouth, sous les directives de l'éminent professeur ALLEN. Je dois faire une mention spéciale de l'aide continue que m'ont apportée mes collaborateurs de l'Office des Pêches maritimes, MM. BEAUGÉ, BELLOC et LE GALL, qui, dès la première heure ont eu confiance dans mes théories, et, en divers points du monde ont démontré leur réalité.

Les récentes croisières du navire « *Président Théodore-Tissier* » ont d'autre part permis des observations importantes qui complètent utilement les données déjà acquises.

Cette étude des secteurs de l'Atlantique nord au point de vue des phénomènes transgressifs sera des plus incomplètes car bien des régions n'ont pas été suffisamment explorées en tenant compte de la question qui nous occupe. Pour exposer plus facilement ces observations hydrologiques, nous diviserons l'Atlantique en secteurs, à savoir :

- A. — Zone sub-tropicale de l'ancien continent;
- B. — Zone des eaux ibériques occidentales;
- C. — Zone du golfe de Gascogne;
- D. — Zone du sud-ouest des Îles Britanniques;
- E. — Zone du nord des Îles Britanniques et mer du Nord;
- F. — Zone des mers boréales;
- G. — Zone des Bancs de Terre-Neuve et du Groënland.

A. — ZONE SUBTROPICALE DE L'ANCIEN CONTINENT.

Par leur position géographique, le Maroc et la Péninsule Ibérique représentent une masse continentale qui, au cours des âges géologiques, a servi soit de séparation, soit de liaison par des détroits aux eaux marines de l'Océan Atlantique et de la Méditerranée. A ce système ibéro-marocain se rattache un ensemble d'archipels et de bancs sous-marins, tels que Madère, Porto Santo, les îles Désertas et Salvages, les Canaries et les bancs Gorringe, Joséphine, de la Seine, Concepcion, Dacia, etc. La relation entre terres émergées et fonds immergés est encore nette dans la structure sous-marine de la région et amène naturellement à supposer que son ensemble marque la place de ces masses continentales importantes auxquelles les légendes ont donné le nom d'Atlantide.

Il est possible que les derniers effondrements de ce continent disparu puissent se placer à l'aurore des périodes historiques, il est en tout cas probable que le morcellement se produisit graduellement; le continent atlantidien se fragmenta en archipels, ceux-ci disparurent à leur tour. Les îles actuelles, les bancs sous-marins sont les derniers témoins de ce vaste mouvement géologique : lorsqu'on parcourt Madère, les Salvages, les Canaries, lorsqu'on suit, avec des sondeurs perfectionnés, les profils du plateau continental, du Cap Saint-Vincent au Cap Juby, on est pénétré de l'impression que cette partie de l'écorce terrestre a été formidablement travaillée par des mouvements sismiques et volcaniques récents de grande amplitude. Les terres et bancs situés au large de la Péninsule Ibérique et du Maroc peuvent être groupés en prenant comme base du relief général l'isobathe 4000; on constate alors qu'une série de bancs continue vers le sud-ouest, le cap Saint-Vincent, à savoir : le banc Gorringe, le banc Joséphine et un haut fond d'environ 2.000 mètres qui semble être la suite de ce dernier banc. Un autre massif, plus près de la terre africaine rassemble les îles Canaries et Salvages et les bancs Concepcion et Dacia. Entre ces deux groupes d'îles et de hauts fonds s'enfonce une baie sous-marine très profonde dont la moyenne des fonds ne remonte pas au-dessus de 4.000 mètres; sa profondeur décroît ensuite graduellement dans la direction du détroit de Gibraltar en formant dans la baie d'Espagne une série de crêtes successives bordant des cuvettes superposées en terrasses sous-marines.

Au centre de cette baie, vers l'ouest, surgit le groupe insulaire formé par Madère, Porto-Santo et les Desertas, auxquelles se relie le Banc de la Seine. Cet ensemble volcanique distinct de la série nord et de la série sud dont il est séparé par deux chenaux profonds paraît marquer la bordure occidentale de la zone d'effondrement. Enfin, au milieu même de cette mer intérieure ainsi délimitée se dresse à une altitude d'environ 700 mètres au-dessous du niveau de la mer la « Tache de Corail » (Coral Patch) qui rappelle par sa position au centre d'une région effondrée la situation de l'île Aves dans la mer Caraïbe.

Les phénomènes transgressifs dans cette zone sont difficiles à déceler, par suite de leur relative. Nous n'assistons, en effet, en aucun endroit, à un heurt des eaux atlantiques et des eaux continentales telles que nous les avons précédemment définies. Dans la zone africaine, en effet, les eaux continentales sont en réalité confondues avec les eaux atlantiques; c'est ainsi que les eaux qui recouvrent en bande très mince le plateau continental marocain ont

une salinité supérieure à 36 p. 1.000, variant autour de 36,2 p. 1.000. Quoiqu'il en soit ces eaux légèrement dessalées par rapport à celles qui les entourent, jouent le rôle d'eaux continentales. Leur température est, d'autre part, des plus variables et il arrive que fréquemment, par suite du réchauffement provoqué par le voisinage du désert, elles soient d'une

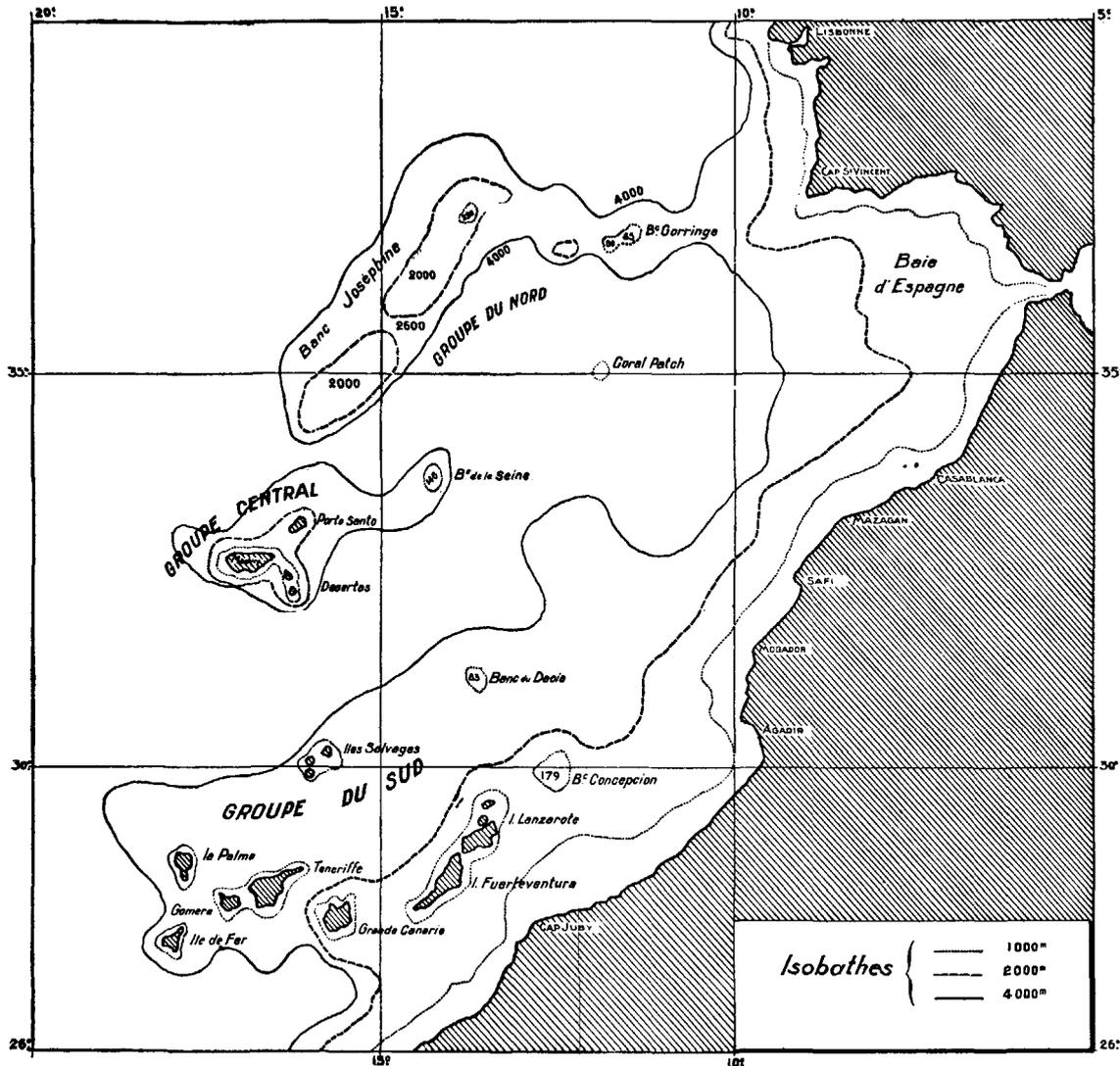


Fig. 15.

Disposition des bancs et archipels de la zone subtropicale de l'Ancien continent.

température plus élevée que celle des eaux du large, plus salées. Elles sont en ce cas analogues aux eaux littorales des secteurs septentrionaux.

Non loin des côtes, la masse des eaux d'origine équatoriale est considérable à ces latitudes et s'étend sur une épaisseur de plusieurs centaines de mètres. Il faut fréquemment descendre

vers 300 mètres pour trouver la limite des eaux à $+ 14$ degrés qui caractérisent dans l'Atlantique tempéré la marge des eaux transgressives.

Les principales observations dans ce secteur furent faites en 1925, d'une part, en janvier

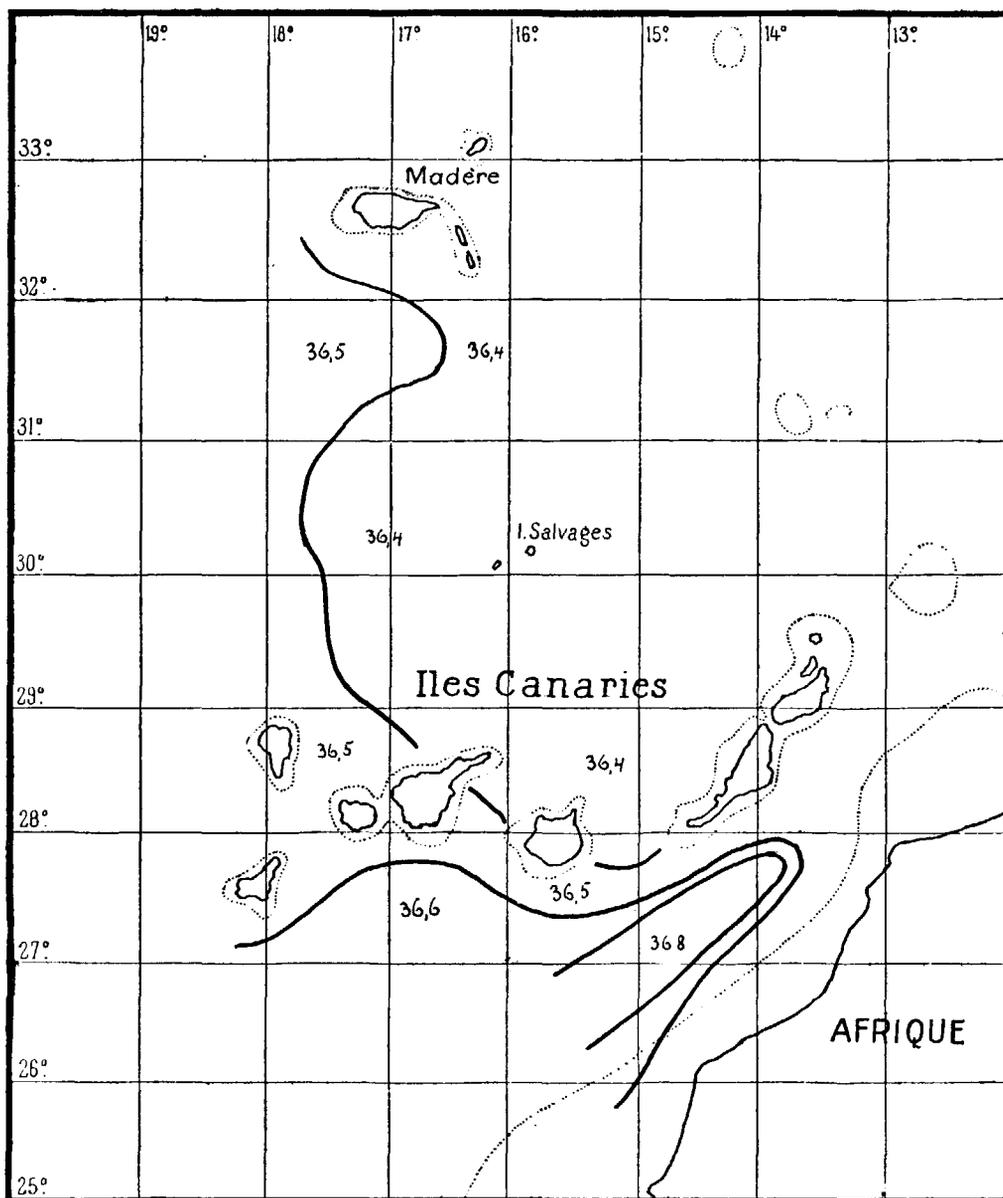


Fig. 16.

Commencement du mouvement transgressif autour des îles Canaries — 50 mètres — janvier 1925.

par le chalutier français « *Tadorn* » puis en juin par le navire portugais « *Albacora* » enfin en décembre 1933 par le navire « *Président Théodore-Tissier* ».

Dans la période hivernale, nous assistons dans cette zone au début du mouvement trans-

gressif : celui-ci se traduit par une poussée d'eaux chaudes et salées venant du Sud-Ouest. Il rencontre sur son passage un premier flot de résistance constitué par l'archipel des Canaries. Conformément au processus que nous avons indiqué à propos du mécanisme des transgressions,

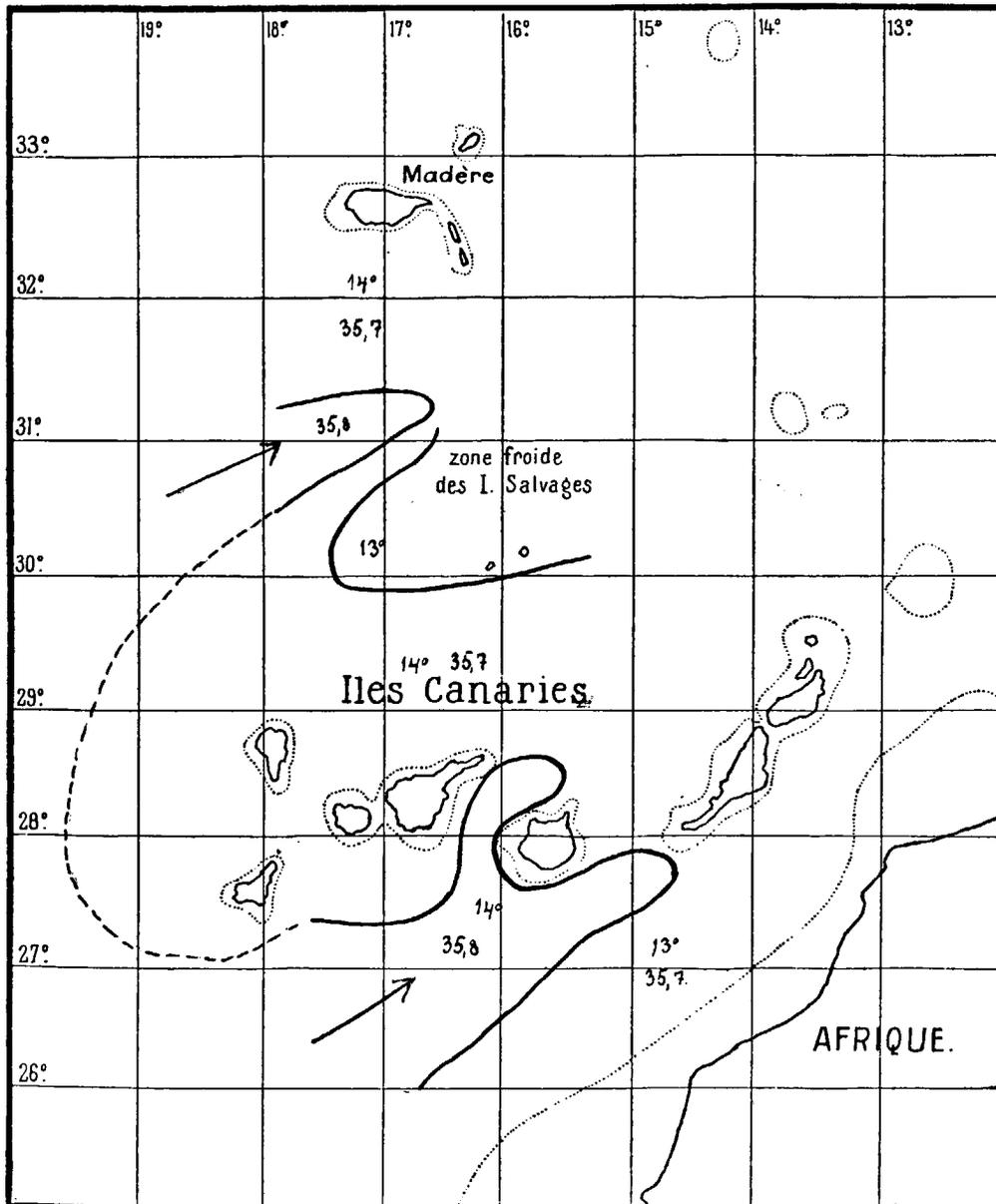


Fig. 17.

Centre de résistance des îles Salvages à l'avance des transgressions — 300 mètres — janvier 1925.

les eaux atlantiques contournent cet obstacle. Entre la Mauritanie et les îles, un lobe transgressif à 36,7 p. 1.000 cherche à se glisser et à isoler l'archipel, mais la masse d'eaux la plus importante tend à déborder par le large les Canaries. En effet, en suivant la grande baie pro-

fonde sous-marine, et passant au sud de Madère, les eaux à 36,8 p. 1.000 font route vers l'Ouest, débordant par le Nord le groupe formé par les archipels et les bancs du groupe relié à la terre d'Afrique (groupe du Sud). Rapidement les eaux transgressives pénètrent dans les chenaux profonds des Canaries, notamment entre la Grande Canarie et Fuerteventura.

Après cette avance, les eaux équatoriales rencontrent un nouvel obstacle : les îles Salvages. Celui-ci est déjà dépassé au Nord par les eaux à 36,8 p. 1.000 ; celles-ci ne tardent pas à se glisser dans les détroits de l'archipel canarien : mais autour des Salvages persiste encore une gaîne d'eaux ayant une salure et une température plus faibles que les eaux environnantes. Même vers juin, alors que la masse transgressive a fait une immense avance vers le Nord, on

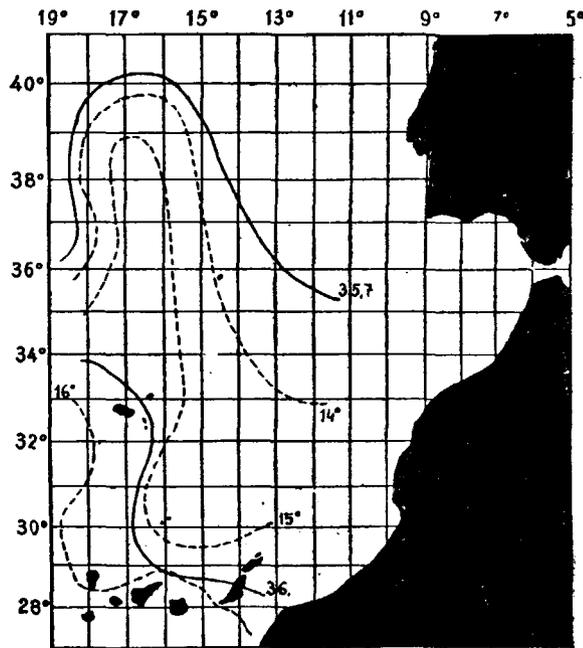


Fig. 18. --- Continuation du même phénomène en été
— 250 mètres. Juin 1926 (d'après R. de Buen).

trouve encore à 200 mètres de profondeur, autour de cet archipel isolé des eaux à $+ 15$ degrés ayant une salure dépassant à peine 36 p. 1.000 et en surface le même groupe insulaire résiste avec des eaux à 36,5 p. 1.000 à une pression d'eaux équatoriales dépassant 37 p. 1.000 de salinité.

Cependant vers janvier la transgression s'est enfoncée dans le sens indiqué par les grandes profondeurs de la baie d'Espagne.

Par contre sur la côte d'Afrique le lobe transgressif qui a pénétré dans le détroit canarien avance avec peine : la largeur du plateau continental à partir d'Agadir, recouvert par des eaux à 36,2 p. 1.000 retarde son avance.

Toutefois les eaux continentales marocaines se trouvent pressées au Nord par l'avance de la grande transgression qui se dirige vers la baie d'Espagne et d'autre part au Sud par le lobe du détroit canarien : aussi peu à peu s'amenuisent-elles et glissent-elles vers le Sud : *ce mou-*

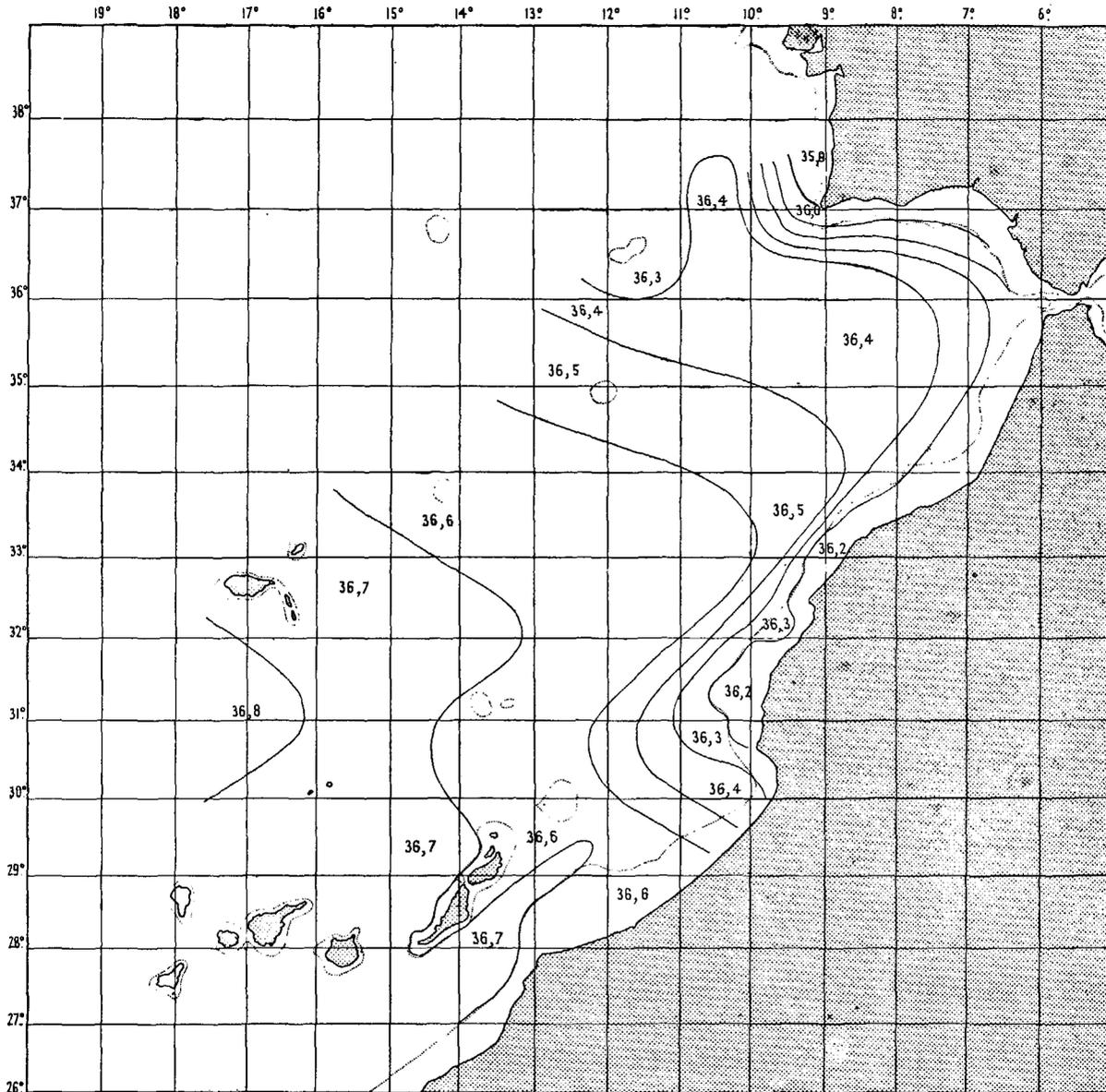


Fig. 19.

Mouvement transgressif au large du Maroc (décembre 1933) 50 mètres. Salinités.
(Croisière du «Président Théodore Tissier».)

vement donne naissance au courant froid des Canaries, qui en réalité a son origine dans les eaux de Mogador.

Vers l'automne quand la transgression prendra sa position de rétraction, alors que les eaux continentales marocaines reprendront quelque importance, ce mouvement de recul aura aussi pour conséquence d'entraîner encore vers le sud une partie de ces eaux et d'enrichir encore le débit du courant des Canaries. Celui-ci entre pour une notable partie dans la formation du courant nord équatorial et ses eaux constituent l'élément essentiel de la cloison de Schott.

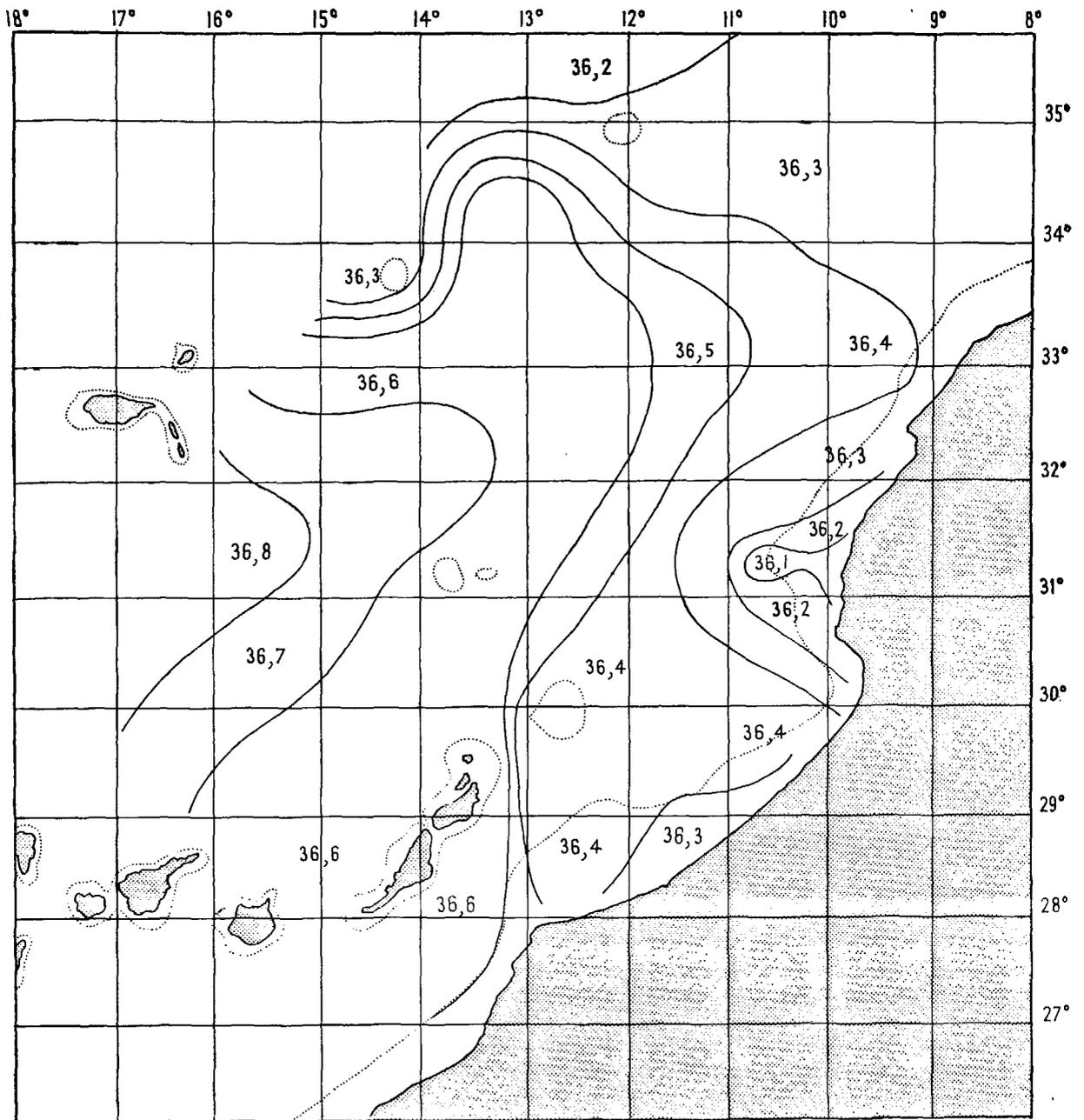


Fig. 20.

Mouvement transgressif au large du Maroc (décembre 1933) 100 mètres. Salinités.
(Croisière du «*Président Théodore Tassiern*».)

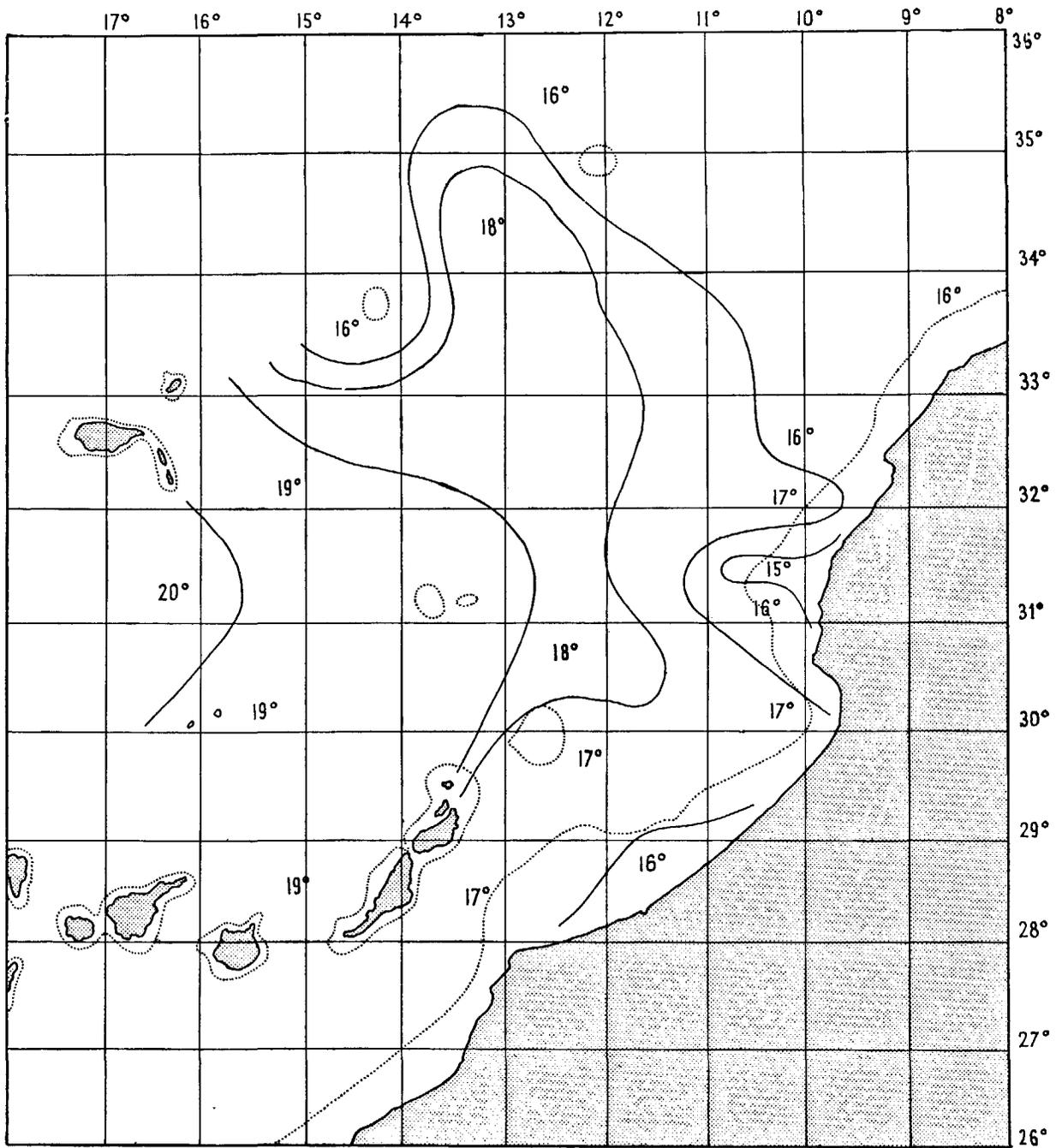


Fig. 21.

Mouvement transgressif au large du Maroc (décembre 1933); 100 mètres. Température.
 (Croisière du «Président Théodore Tissier».)

B. — ZONE DES EAUX IBÉRIQUES OCCIDENTALES.

Au nord de Madère la transgression se divise en deux lobes bien marqués, dont l'un s'enfonce dans la baie d'Espagne, tandis que l'autre double vers janvier le cap Saint-Vincent et s'avance vers le Nord au large des côtes portugaises. Nous étudierons successivement ces deux secteurs.

1° Secteur de la baie d'Espagne.

Le nombre d'observations qui ont été faites dans ce secteur est considérable. Les océanographes se sont, en effet, passionnés sur la question de l'interpénétration de l'Atlantique et de la mer Méditerranée. TH. SMITH, dès 1684, DUMONT D'URVILLE en 1886, CARPENTER en 1870 et plus récemment NIELSEN, NANSEN, HELLAND HANSEN, SCHOTT, IDRAC, Rafaël de BUEN et RAMALHO ont émis des opinions qui, parfois, ont amené des controverses; aussi est-il délicat de prendre parti sur ce sujet épineux. Le seuil de Gibraltar forme une série de crêtes qui délimitent des cuvettes profondes entre l'Atlantique et la Méditerranée. D'Est en Ouest, les crêtes principales sont au nombre de trois :

La crête Cabezos-al-Boassa;

La crête du Cap Spartel;

La crête de Trafalgar.

Ces crêtes jouent le rôle d'écluses successives pour le déversement des eaux de la Méditerranée vers l'Atlantique en profondeur.

NIELSEN a bien posé le problème du déversement méditerranéen. En effet, il constate que la quantité d'eau évaporée par la chaleur solaire en Méditerranée dépasse l'apport des eaux douces dû aux fleuves tributaires; que cependant, le niveau de la Méditerranée est constant; que la salure moyenne de cette mer ne varie pas, et il explique ces phénomènes, d'une part, par une pénétration d'eaux atlantiques sous forme d'un courant superficiel allant vers l'Est et, d'autre part, par un déversement moindre d'eaux méditerranéennes vers l'Océan.

On sait depuis longtemps que le courant atlantique, aussitôt entré en Méditerranée, oblique vers le Sud, dans la direction du cap des Trois-Fourches, et aussi que le courant profond méditerranéen, à sa sortie de Gibraltar, monte vers le Nord et longe la côte de Cadix.

Quel rôle vont jouer les eaux transgressives dans cet ensemble hydrologique ?

Le lobe transgressif, qui après Madère a bifurqué vers l'Est, est composé d'eaux ayant une salure moyenne de plus de 36 p. 1.000. Or, les eaux de la baie d'Espagne, qui jouent le rôle d'eaux stables, ont une salure fort élevée, et leur température, dans cet espace restreint, est plus haute que celle des eaux atlantiques. Nous allons donc nous trouver dans la situation signalée au large du Maroc, à savoir que les eaux de la transgression seront moins salées et plus froides que les eaux qui jouent le rôle d'eaux continentales. Aussi leur attitude sera assez anormale par ce fait qu'elles vont glisser sous les eaux propres de la baie d'Espagne au lieu d'empiéter sur elles, suivant le phénomène habituel.

Cette position spéciale des eaux transgressives permet d'expliquer le double phénomène du courant sortant méditerranéen et du courant entrant Atlantique. Nous devons pour cela

Fig. 22.
 Isohalines du détroit de Gibraltar (d'après Schott).

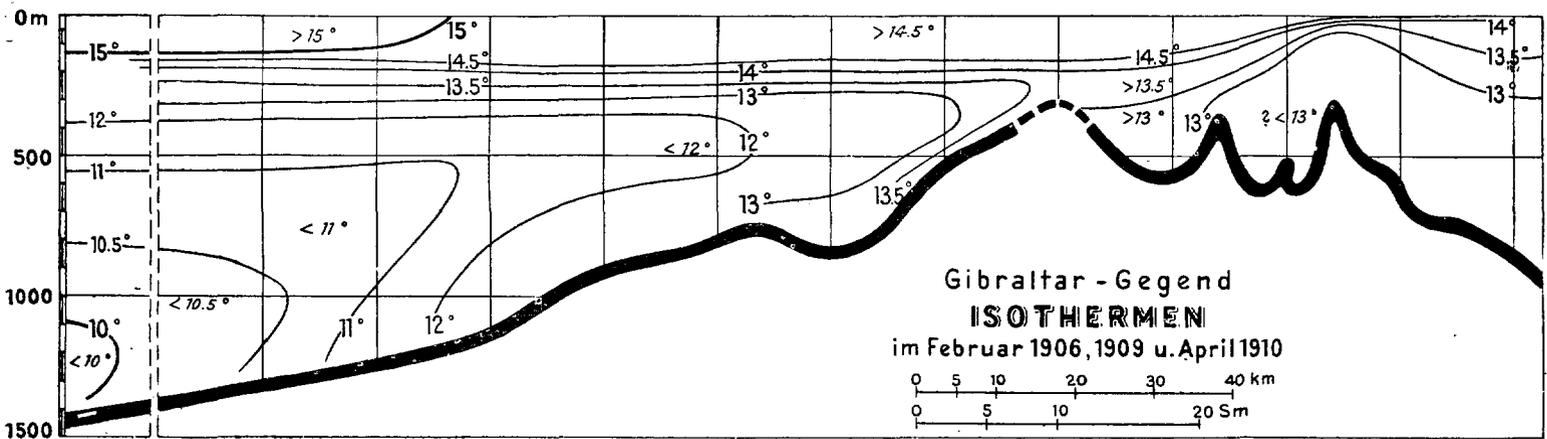
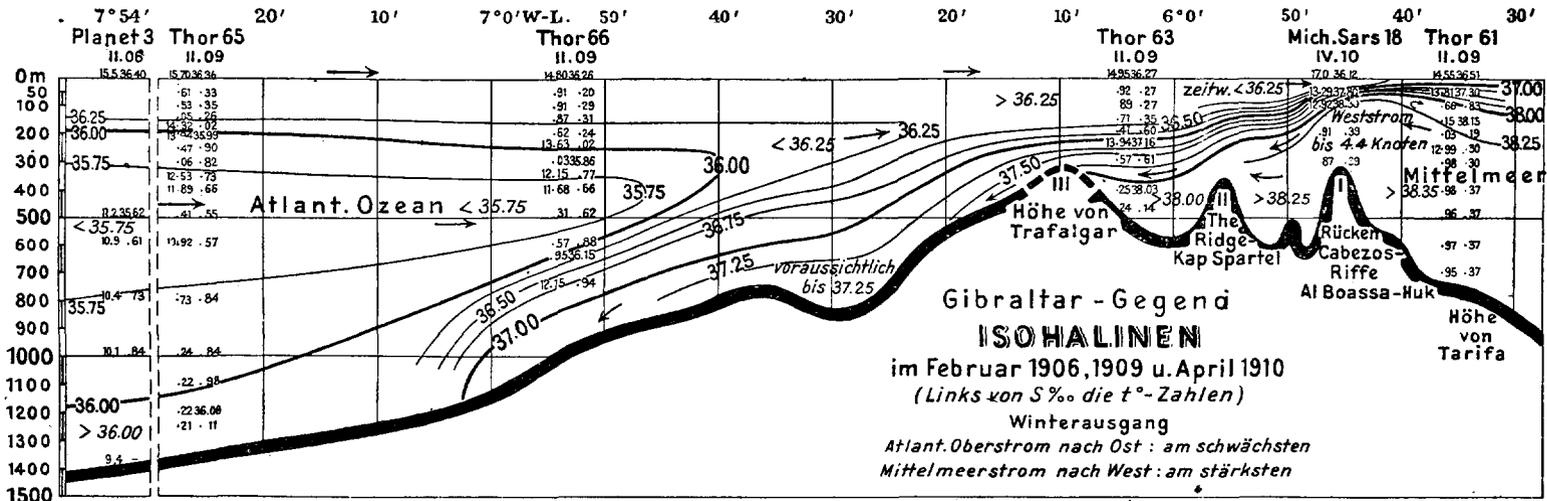


Fig. 23.
 Isothermes du détroit de Gibraltar (d'après Schott).

étudier la région du détroit de Gibraltar, d'une part en hiver, en février par exemple, d'autre part en été, vers août.

Etat hivernal. — L'état hivernal se caractérise par la prépondérance des eaux méditerranéennes.

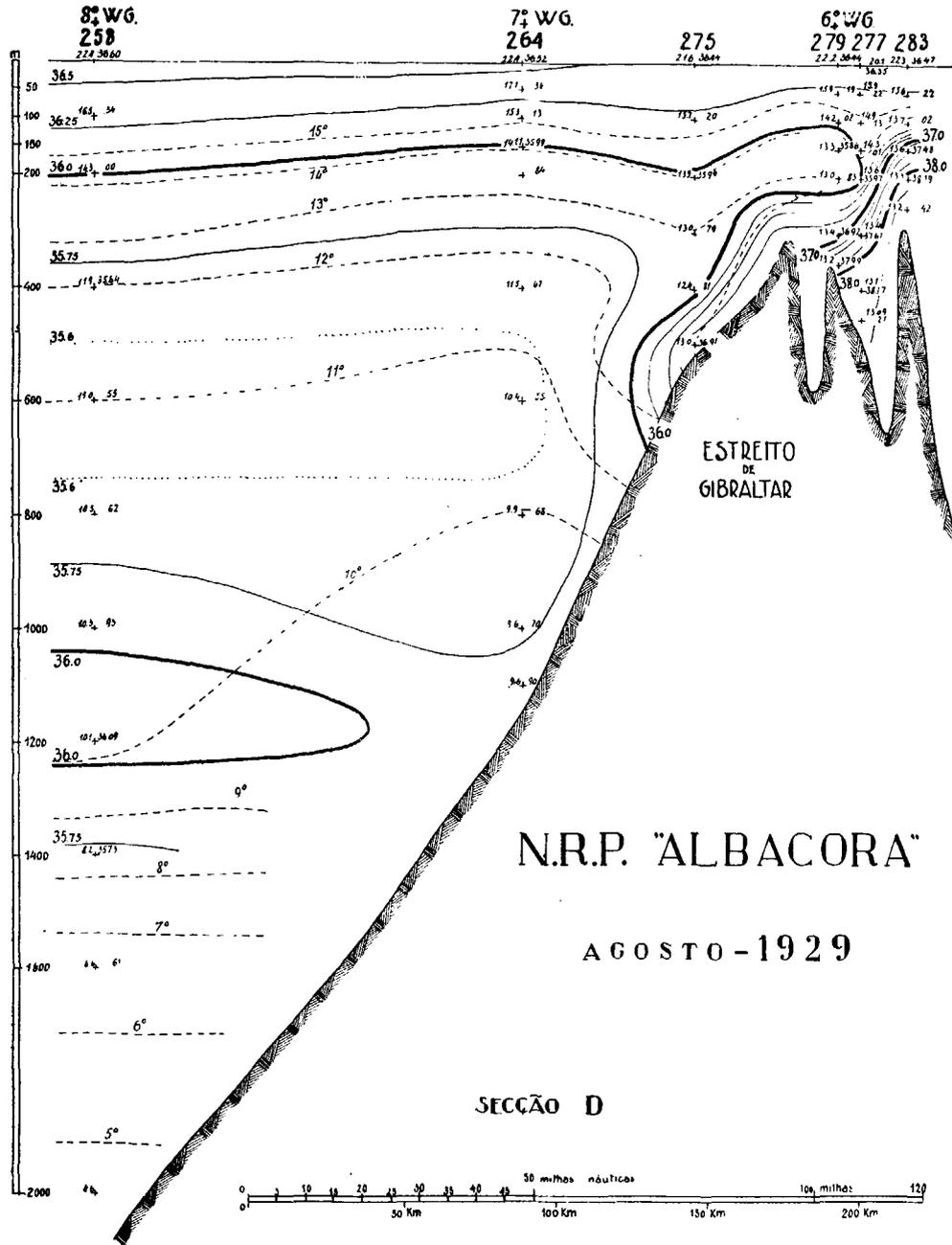


Fig. 24.

Position des eaux transgressives et méditerranéennes devant le détroit de Gibraltar (août 1929), d'après Ramalho.

néennes; les eaux transgressives à 36 p. 1.000 sont relativement rétractées et se tiennent à une distance assez grande du détroit, laissant ainsi la place aux eaux propres de la baie d'Espagne.

La pression de celles-ci est donc faible sur le seuil de Gibraltar et les eaux méditerranéennes en sortent aisément; elles remplissent les deux cuvettes et débordent bien au-delà, tapissant le fond de la baie de Cadiz.

Les observations de SCHOTT, en février 1906 et 1909 donnent une idée exacte de cet état hydrologique. On voit fort bien, sur le schéma qu'il a fourni, le déversement, dans l'Océan Atlantique, d'eaux méditerranéennes d'une salure supérieure à 37 p. 1.000. Le courant méditerranéen sortant est donc un phénomène hivernal. (Rapport Atlantique 1927).

Etat estival. — Avec l'été, les eaux transgressives gagnent du terrain; elles s'avancent vers le détroit et comme à cause de leur salure elles sont plus légères que les eaux de la Méditer-

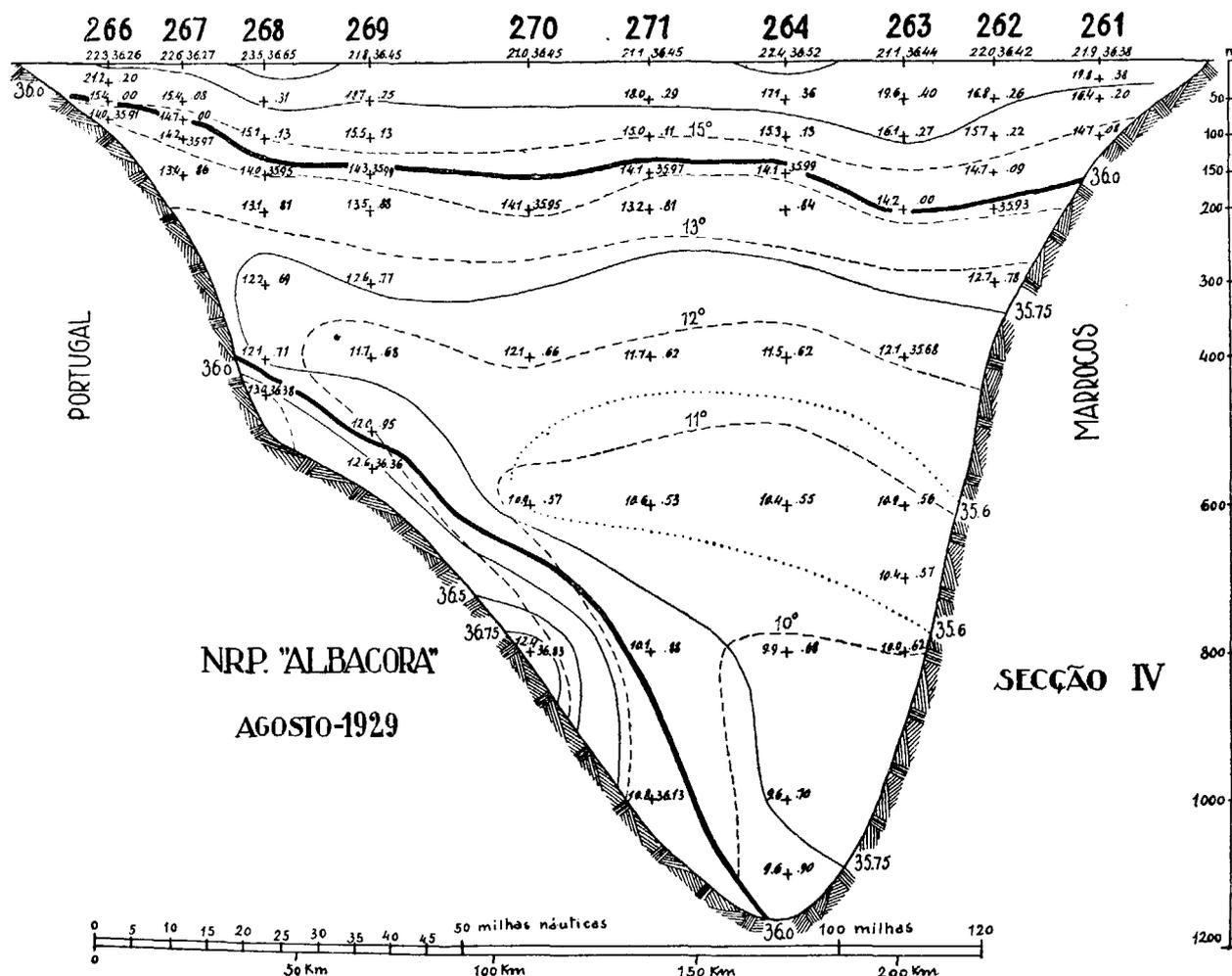


Fig. 25.

Section du Portugal au Maroc, montrant la position des eaux méditerranéennes appliquées contre la pente du golfe de Cadiz (aout 1929), d'après Ramalho.

ranée, elles cantonnent celles-ci dans la profondeur des cuvettes en affleurant le sommet des crêtes.

La transgression joue donc vis-à-vis des eaux méditerranéennes le rôle d'une véritable vanne et règle la pénétration de ces eaux dans l'Atlantique. Son avance provoque la fermeture des cuvettes remplies d'eaux méditerranéennes tandis que son recul permet le déversement de celles-ci en baie d'Espagne.

Mais d'autre part, l'avance des eaux atlantiques comprime les eaux propres de la baie d'Espagne restées en surface et, sous cette pression, ces eaux pénètrent en Méditerranée en formant le courant atlantique : ce dernier phénomène correspond donc, par voie indirecte, à la pression transgressive et a un caractère estival.

Les figures fournies par le Docteur RAMALHO, en août 1929 (Rapport Atlantique 1929), donnent toutes précisions à ce sujet.

Même pendant cette époque, les eaux méditerranéennes subsistent en baie de Cadix, étroitement collées au fond comme le montre la figure empruntée à RAMALHO où l'on voit superposées les eaux de la Méditerranée, les eaux de la transgression et les eaux propres de la baie d'Espagne.

2° Secteur Ouest-Portugal.

On peut dire que c'est dans ce secteur que commencent à se manifester, sous leur forme normale, les phénomènes transgressifs. Jusqu'ici, en effet, nous n'avons guère assisté qu'à des rivalités entre des eaux de même nature, eaux équatoriales ou eaux atlantiques ne différant entre elles que par leur position et leur rôle. A partir du cap Saint-Vincent, ces eaux vont se trouver en présence des eaux continentales vraies d'origine polaire. En hiver, en effet, les eaux du Nord à température et salure faibles, arrivent à dépasser largement la latitude de la Corogne vers le Sud et s'attachent à la côte du Portugal et du nord de l'Espagne où les apports du Tage et du Douro renforcent leur caractère.

C'est vers janvier que les eaux atlantiques attaquent les eaux froides. Le lobe transgressif qui a passé vers l'Ouest au large de Madère, se rapproche de la côte et monte directement vers le Nord, intéressant la masse océanique sur une profondeur supérieure à 200 mètres. Le phénomène prend de la force au printemps et bien qu'à droite et à gauche les eaux froides s'opposent à sa progression, vers juin il atteint le Cap Finisterre. Mais encore dans ce secteur, les salinités sont élevées, variant autour de 35,6 p. 1.000, les températures deviennent caractéristiques des phénomènes transgressifs et l'isotherme ± 14 degrés marque avec précision les progrès de la transgression.

Ces phénomènes ont été précisés en 1923 par BELLOC, lors d'une croisière de la « *Tanche* » et en 1926, par RAMALHO, à bord de L'« *Albacora* ». (Rapports Atlantiques 1923 et 1927.)

Dans ce secteur, on doit, en plus, au savant portugais, d'excellentes études sur les eaux continentales du Portugal dans lesquelles il a montré notamment l'influence des eaux du Tage.

C. — ZONE DU GOLFE DE GASCOGNE.

L'étude hydrologique du golfe de Gascogne a été faite, pour la plus grande partie, par l'Office des Pêches maritimes, grâce aux croisières des navires « *Tanche* » et « *Président Théodore-Tissier* » et aussi par les océanographes espagnols pour la côte nord de la Péninsule Ibérique.

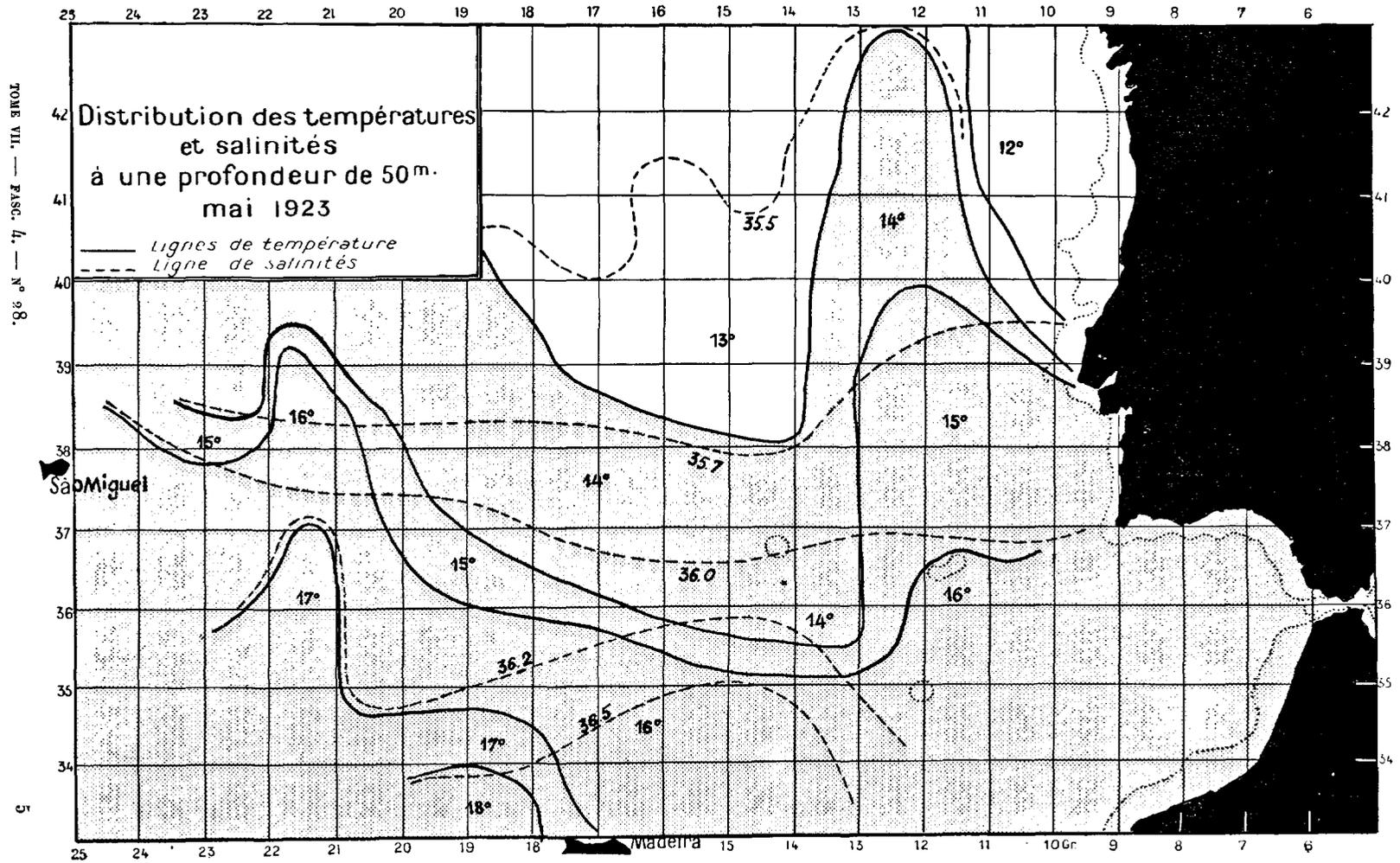


Fig. 26.
Salinités et températures au large de la côte du Portugal, 50 mètres, Mai 1923.

Les croisières régulières françaises de la « *Tanche* », de 1921 à 1928, effectuées à peu près régulièrement à la même époque de l'année, vers le mois d'août, ont permis de se rendre compte des variations que présentent les phénomènes transgressifs, suivant le rythme de leur pério-

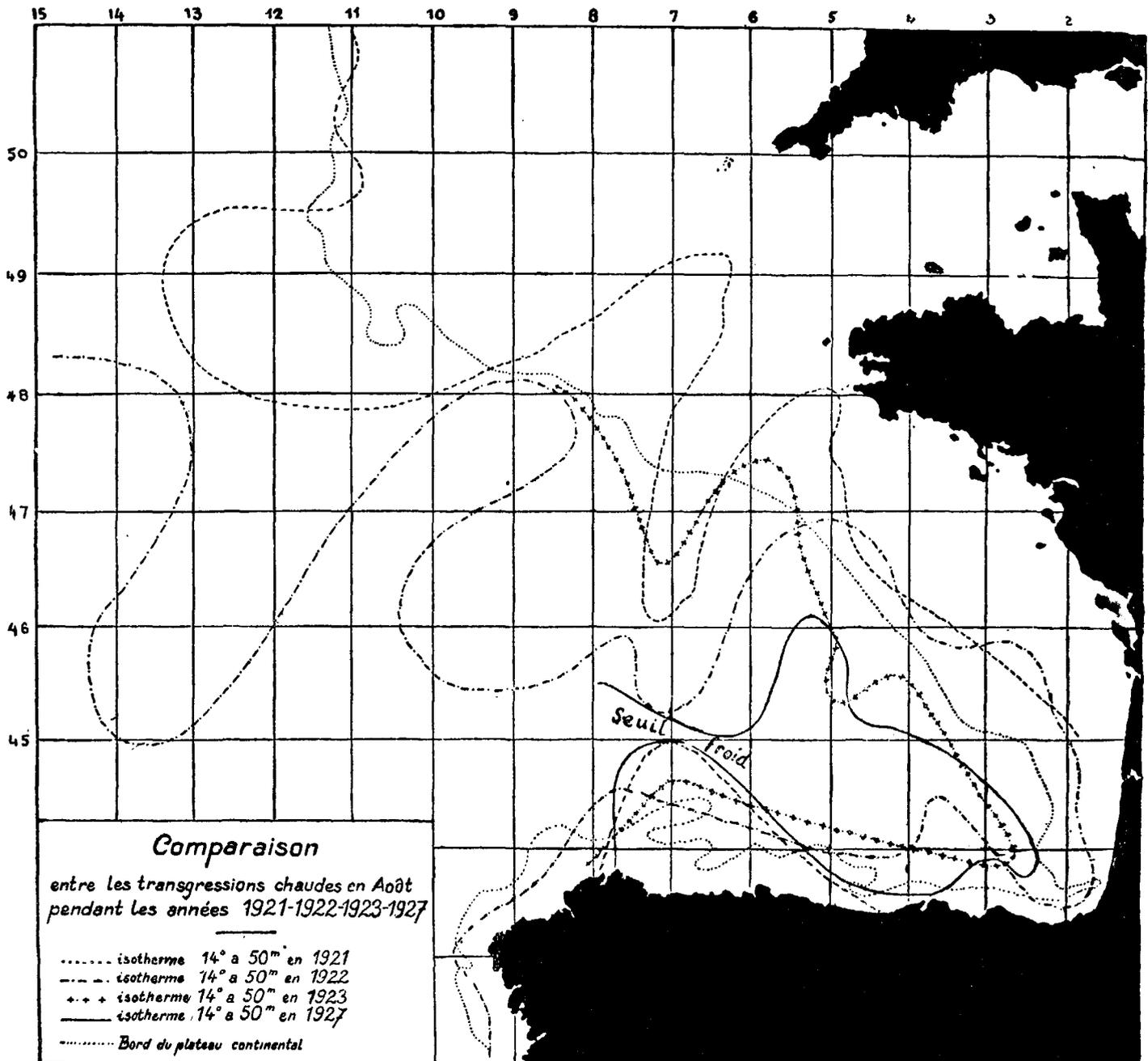


Fig. 27.

Comparaison entre les transgressions en août des années 1921, 1922, 1923, 1927 dans le golfe de Gascogne (d'après Belloc).

dicité, qui agit directement sur la valeur de leur amplitude. Ce sont ces comparaisons qui m'avaient aidé à définir ce rythme d'une façon empirique avant que LALLEMANT et PRÉVOT en 1929, m'aient fortuitement fourni une formule mathématique. On trouvera dans la série des Rapports atlantiques de 1921 à 1928, l'exposé de ces observations annuelles.

Une excellente figure fournie par BELLOC (Rapport atlantique 1927) donne, pour certaines années, les positions de l'isotherme $+ 14$ dans le golfe de Gascogne et montre combien variable est l'amplitude de la transgression suivant les années. Pour préciser ces fluctuations dans ces régions bien connues, il nous paraît utile de donner le tableau du rythme transgressif, en tenant compte à la fois de la limite d'extension des eaux atlantiques et de leurs moyennes annuelles de température et de salinité.

1921. Maximum transgressif octo-décimal	$+ 16^{\circ} - 35,6$	p. 1.000
1922. Transgression moyenne	$+ 14^{\circ} - 35,4$	—
1923. Transgression faible	$+ 13^{\circ} - 35,2$	—
1924. Transgression moyenne	$+ 14^{\circ} - 35,4$	—
1925. Transgression forte	$+ 15^{\circ} - 35,5$	—
1926. Maximum transgressif semi-novennal	$+ 16^{\circ} - 35,6$	—
1927. Transgression faible	$+ 13^{\circ} - 35,2$	—
1928. Transgression moyenne	$+ 14^{\circ} - 35,4$	—
1929. Transgression forte	$+ 15^{\circ} - 35,5$	—
1930. Maximum transgressif novennal	—	—

A cause de ces variations, on ne doit pas s'étonner que dans le mécanisme transgressif certains phénomènes soient, suivant les années, légèrement avancés ou retardés dans leur apparition et que de plus leur forme et leur importance soient soumises à des différences notables, mais l'ensemble du processus reste toujours le même.

État hivernal. — Les observations hivernales ont été effectuées principalement en 1928 par les océanographes espagnols, à bord de l'« *Eduardo Dato* ». Dans cette saison, en février, des eaux de salure élevée, 35,5 à 35,6 p. 1.000 occupent le large de la côte nord de l'Espagne, mais les températures sont basses, variant de $+ 11$ à $+ 12$ degrés. Cette zone s'étend, du reste, peu au Nord, mais forme dans le fond du golfe une nappe salée permanente que l'on

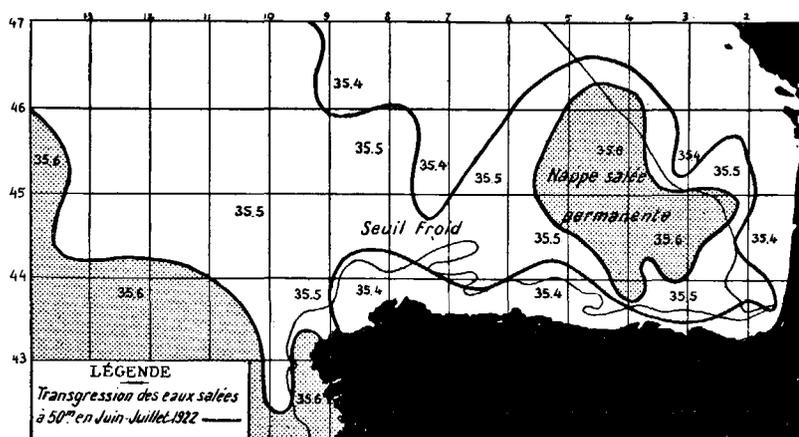


Fig. 28.

Nappe salée persistante du golfe de Gascogne. 50 mètres. 1922.

retrouve en toute saison à la limite du bord du plateau continental, régnant jusque dans la profondeur, au large d'Arcachon et de Saint-Jean-de-Luz.

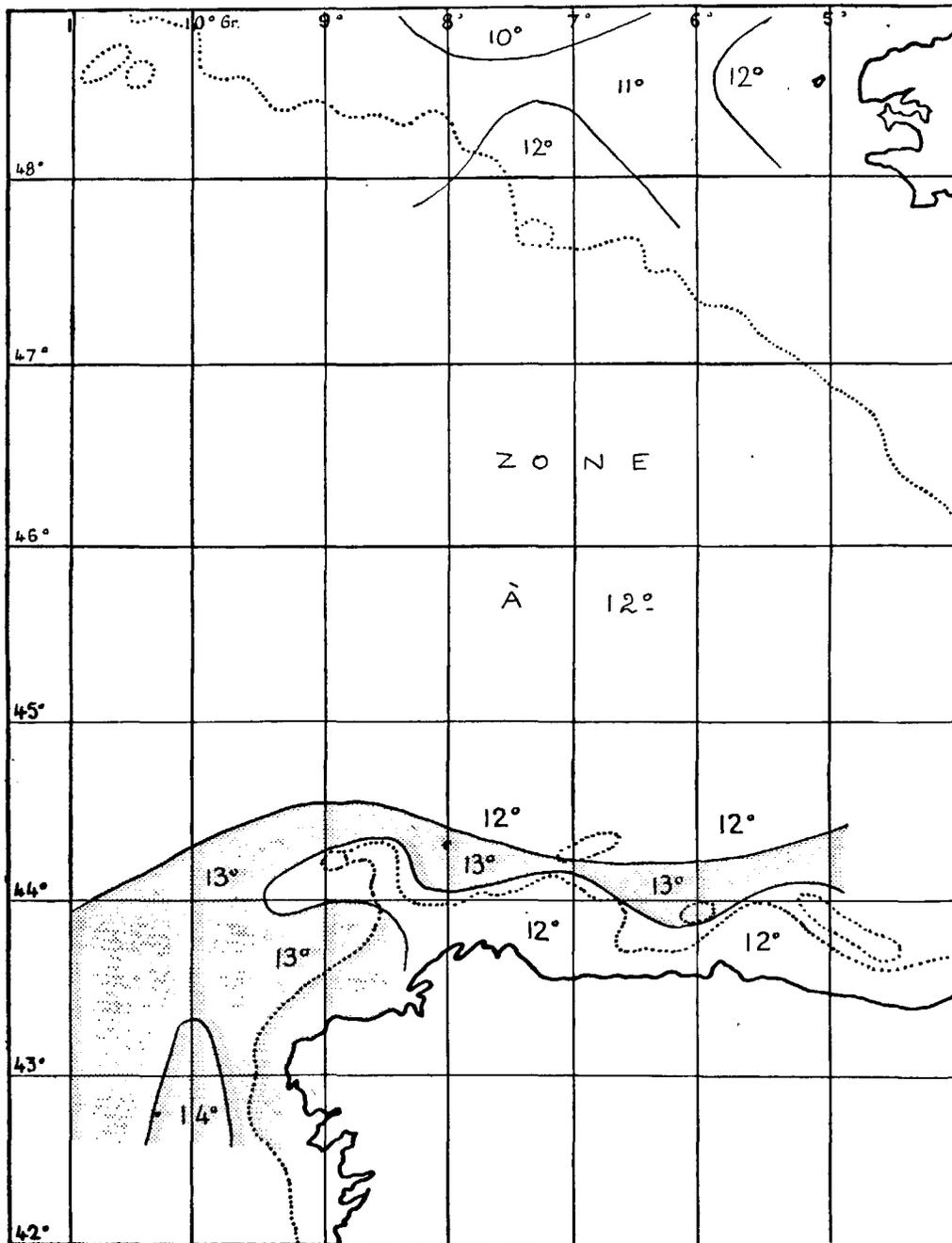


Fig. 29.

Pénétration de la transgression dans le golfe de Gascogne.
(Mai 1926. 50 mètres.)

Cette nappe salée est un reste de la transgression de l'année précédente, et contribue à donner au régime hydrologique du fond du golfe de Gascogne une fixité dans ses caractères, que témoigne, d'autre part, sa faune ichthyologique (thon et sardine).

État estival. — C'est en mai, dans les années de fortes transgressions et en juin dans les

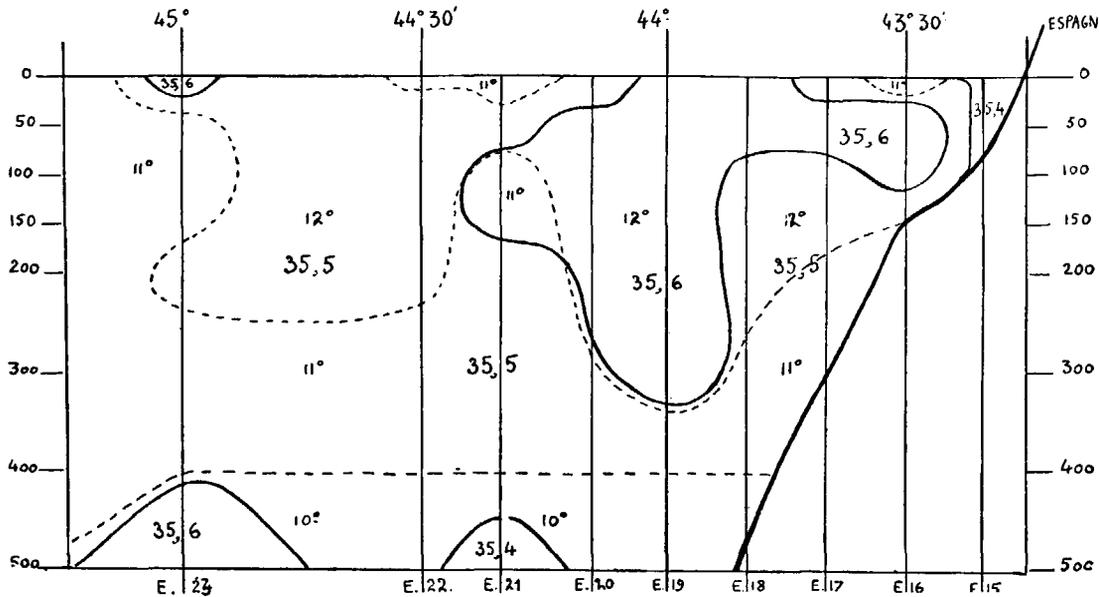


Fig. 30.

Section Nord-Sud le long du 9° W. G., auprès de la côte d'Espagne. 1928.

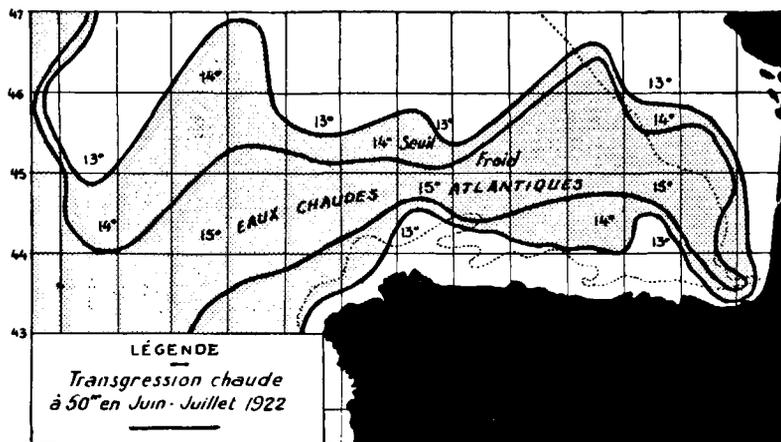


Fig. 31.

Entrée de la transgression dans le golfe de Gascogne.
Juin 1922. 50 mètres.

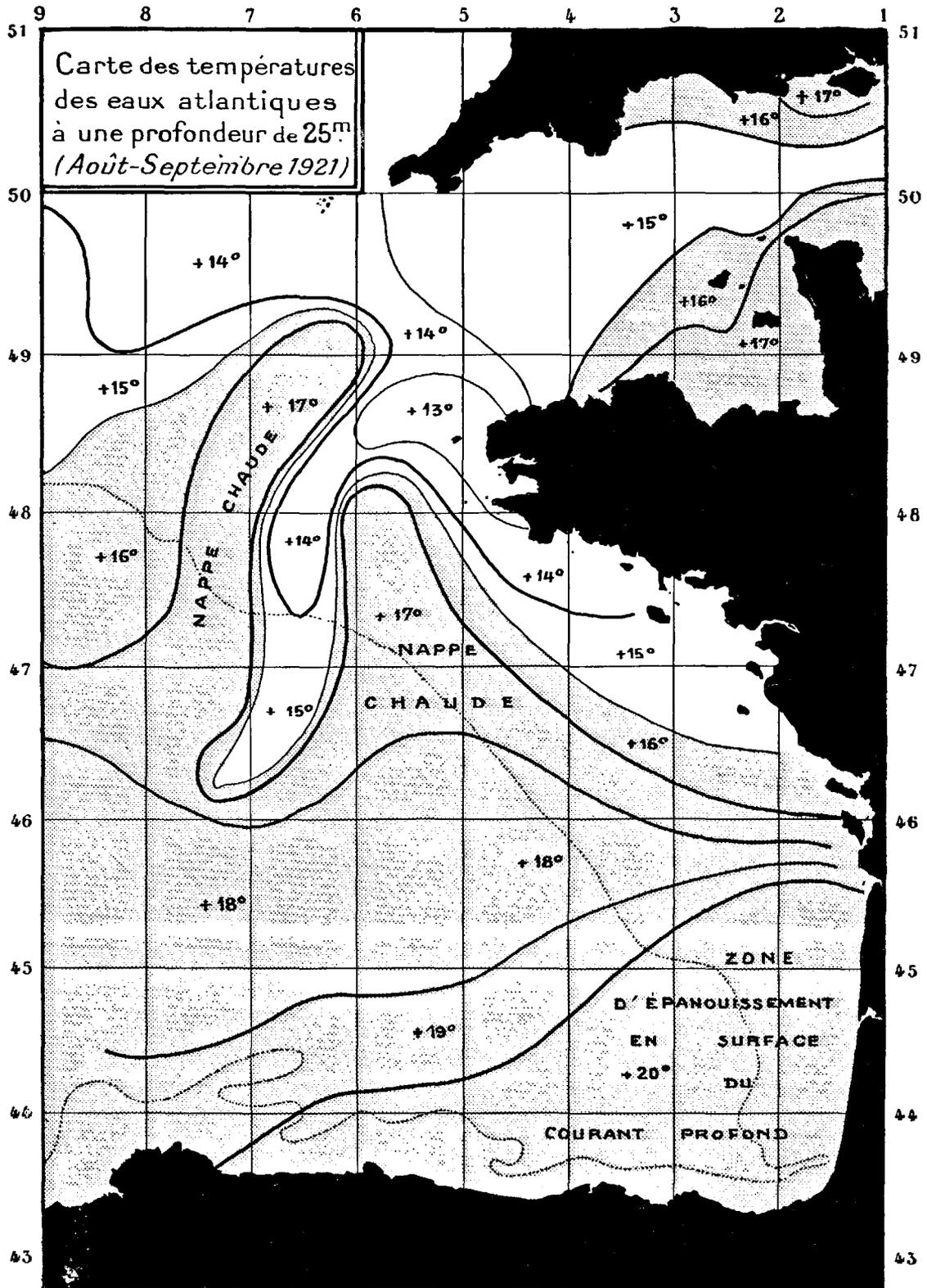


Fig. 32. — La transgression dans le golfe de Gascogne en août 1921. 25 mètres.

années moyennes, que l'isobathe $+ 14$ degrés pénètre dans le golfe de Gascogne, précédé par un mouvement d'infiltration des eaux à $+ 13$ degrés. Celles-ci se présentent à 50 mètres, comme un petit courant, très peu large et qui progresse d'Ouest en Est, en suivant étroitement le bord du plateau continental de la côte ibérique. A ce moment l'ensemble des eaux superficielles du golfe de Gascogne a une température variant de $+ 11$ degrés à $+ 12$ degrés. Cette large étendue maritime est en effet complètement recouverte par les eaux continentales qui ont largement débordé vers le Sud le plateau de la Grande Sole à la Gironde.

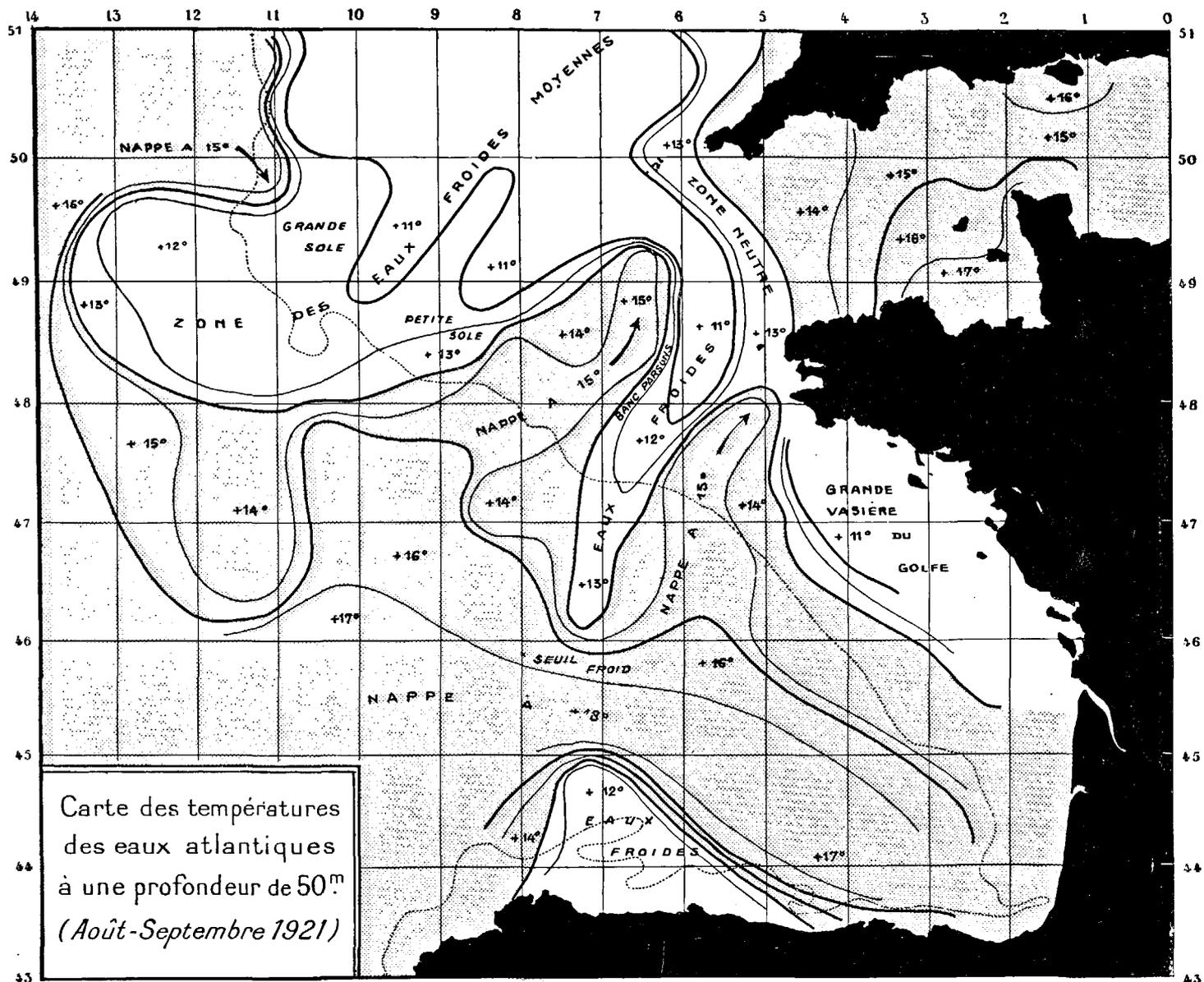


Fig. 33.

La transgression dans la Golfe de Gascogne en août 1921. 50 mètres.

Cette masse d'eaux continentales, dans les mois qui suivent, va être superficiellement refoulée par un double effort transgressif, d'une part dans le fond du golfe, d'autre part plus au large par un lobe faisant route vers le banc de la Chapelle. Entre ces deux parties de la transgression se maintient une zone de déversement des eaux froides. Celles-ci, même au mois d'août, continuent à former une muraille depuis le banc Parson jusque vers le 46° degré de latitude nord. Les eaux continentales du nord de l'Espagne forment de même au nord de Gijon une sorte de promontoire. Il en résulte que le long du 7° degré W. G. se précise un *seuil froid* qui sépare en deux parties le golfe de Gascogne au point de vue de l'avancée des eaux atlantiques.

Les eaux à + 14 degrés qui appartiennent à la partie transgressive du fond du golfe, ayant passé ce seuil froid dès le mois de juin, rencontrent la nappe salée permanente formée d'eaux de même nature, et font corps avec elle. Dès juillet, ces eaux atlantiques empiètent sur le plateau continental au sud-ouest de Penmarch' sans parvenir à rompre la muraille des eaux continentales. Elles pénètrent complètement jusqu'au fond du golfe de Gascogne, dans la région de la fosse de Cap Breton, là où le plateau est réduit à une mince bande, mais elles ne parviennent pas immédiatement à refouler les eaux continentales qui occupent la grande vaseuse qui va de Lorient à La Rochelle.

C'est seulement vers l'arrière saison, en septembre ou octobre que les eaux atlantiques pourront s'approcher de la côte sud de Bretagne et de la Vendée.

Cependant, les eaux transgressives, au large du seuil froid refoulent les eaux continentales vers le mois d'août en empiétant sur le plateau entre le banc de la Chapelle et le banc de la petite Sole. La muraille d'eaux froides du banc Parson se trouve donc ainsi étroitement serrée entre deux lobes transgressifs, celui du sud-ouest de Penmarch', formé par les eaux du fond du golfe de Gascogne et celui du banc de La Chapelle, issu des eaux atlantiques du large. Vers la fin d'août, la transgression finit par avoir raison du seuil froid et règne sur l'ensemble du golfe de Gascogne.

Dès le mois de novembre, les eaux d'origine septentrionale reprennent leur déversement dans la zone du banc Parson, reforment le seuil froid et sectionnent la transgression en rejoignant les eaux continentales espagnoles. Celles-ci se trouvent réduites bientôt dans le fond du golfe à la nappe salée permanente.

Nous avons pu constater ce phénomène lors de la première croisière du navire « *Président Théodore Tissier* ». La nappe salée communiquait encore avec le large en novembre 1933. Son isolement était total en janvier 1934.

D. — ZONE DU SUD-OUEST DES ILES BRITANNIQUES.

Cette zone compte parmi celles qui ont été les plus étudiées. Elle présente, en effet, un intérêt spécial d'une part par l'élargissement extraordinaire du plateau continental, d'autre part parce que deux mers tributaires de l'Océan Atlantique, la Manche et la mer d'Irlande sont commandées par son régime. L'importance de ce secteur fut découverte par un des plus éminents océanographes, décédé prématurément et insuffisamment connu et dont j'eus l'honneur d'être l'élève, E. W. L. HOLY. Aussi, dès 1920, ce grand savant provoqua à Dublin

une réunion d'océanographes d'Angleterre, d'Écosse, de France et d'Irlande, en vue de constituer un comité qui étudierait spécialement la région du sud-ouest des Iles Britanniques. C'est ce comité qui, en 1921, se transforma en Comité du Plateau Continental atlantique (Atlantic Slope Committee), en reprenant ce terme d'*Atlantic Slope* que HOLT avait créé.

Parmi les lois fondamentales du mécanisme des transgressions que nous avons exposées au chapitre II, il en est une qui précise que l'influx atlantique suit le relief du sol sous-marin. Il est peu de régions comme l'entrée de la Manche où cette loi se démontre de façon aussi explicite et c'est pourquoi il est nécessaire, avant de décrire les phénomènes hydrologiques de ce secteur, d'en préciser la topographie sous-marine.

Dans les âges passés, à une époque difficile à préciser, mais appartenant à l'âge tertiaire, le plateau continental n'avait pas cette largeur inusitée que nous lui connaissons aujourd'hui et une côte émergée réunissait l'Irlande au sud de la Bretagne française. La meilleure démonstration de ce passé géologique est que l'examen des cartes marines révèle d'une façon indubitable, une ligne d'anciens rivages. Aux fjords irlandais actuels de Dingle, de Kenmare, de Bantry et de Long Island, font suite, à des profondeurs de 120, 130, 140 et 150 mètres, une ligne d'autres fjords, possédant la même orientation, la même découpe et qui en sont la continuation logique. Une baie assez profonde au sud de Fastnet, marque la faille de cet effondrement. Mais aussitôt après, dès le 51° degré de latitude nord se déroule vers le Sud, la série des fjords profonds. Entre le 51° degré et le 50° degré nord la ligne d'anciens rivages est enfoncée à 120 mètres. L'énorme fjord qui constitue ce que les marins appellent la « Souille » de la Grande Sole, portent à 130 mètres la ligne de la côte géologique. Après le banc Melville, vers 49 degrés nord on doit la rechercher entre 140 et 150 mètres. Les bancs Shamrock, Parson, et d'autres bancs voisins qui ne portent aucun nom, indiquent parfaitement les sommets qui dominaient ces vallées marines. Le système orographique de l'Irlande se continue sous la mer et le banc « Labadie » représente la terminaison antique des monts de Wicklow. Ni le canal de Bristol, ni la Manche, n'étaient creusés à cette époque et les deux grands fleuves qui y débouchent maintenant, la Severn et la Seine, avaient leurs estuaires dans ces fjords disparus. Il est des plus probables que la Severn débouchait dans cette Souille de la Grande Sole, en contournant le banc Labadie; quant à la Seine, après avoir suivi la grande fosse centrale de la Manche, elle contournait Ouessant au Nord par la dépression que les pêcheurs bretons appellent le « Trou aux raies », et venait se jeter dans la mer le long du banc Parson.

Ce large plateau continental représente donc les restes de deux immenses bassins fluviaux qui drainaient les eaux du sud de l'Irlande, de la Grande-Bretagne et de la côte septentrionale française. Le banc de La Chapelle est sans doute le cône d'érosion de l'ancien estuaire de la Seine. Des îles bordaient ce rivage découpé; on les retrouve en place, sous forme de bancs sous-marins, comme ceux du groupe de la Petite Sole. Le géographe est en droit de se demander si ces îles disparues à une époque imprécise, peut-être postérieurement à la ligne de l'ancien rivage, ne constitueraient pas l'archipel célèbre des îles de l'étain, les îles Cassitérides, qu'on n'a jamais pu localiser. Leur situation entre le pays de Galles et le nord de l'Espagne, pays producteurs d'étain justifierait cette hypothèse.

Un phénomène des plus curieux, si l'on veut bien accorder crédit au cours hypothétique des grands fleuves que nous avons essayé de préciser, est que c'est justement le long de ces thal-

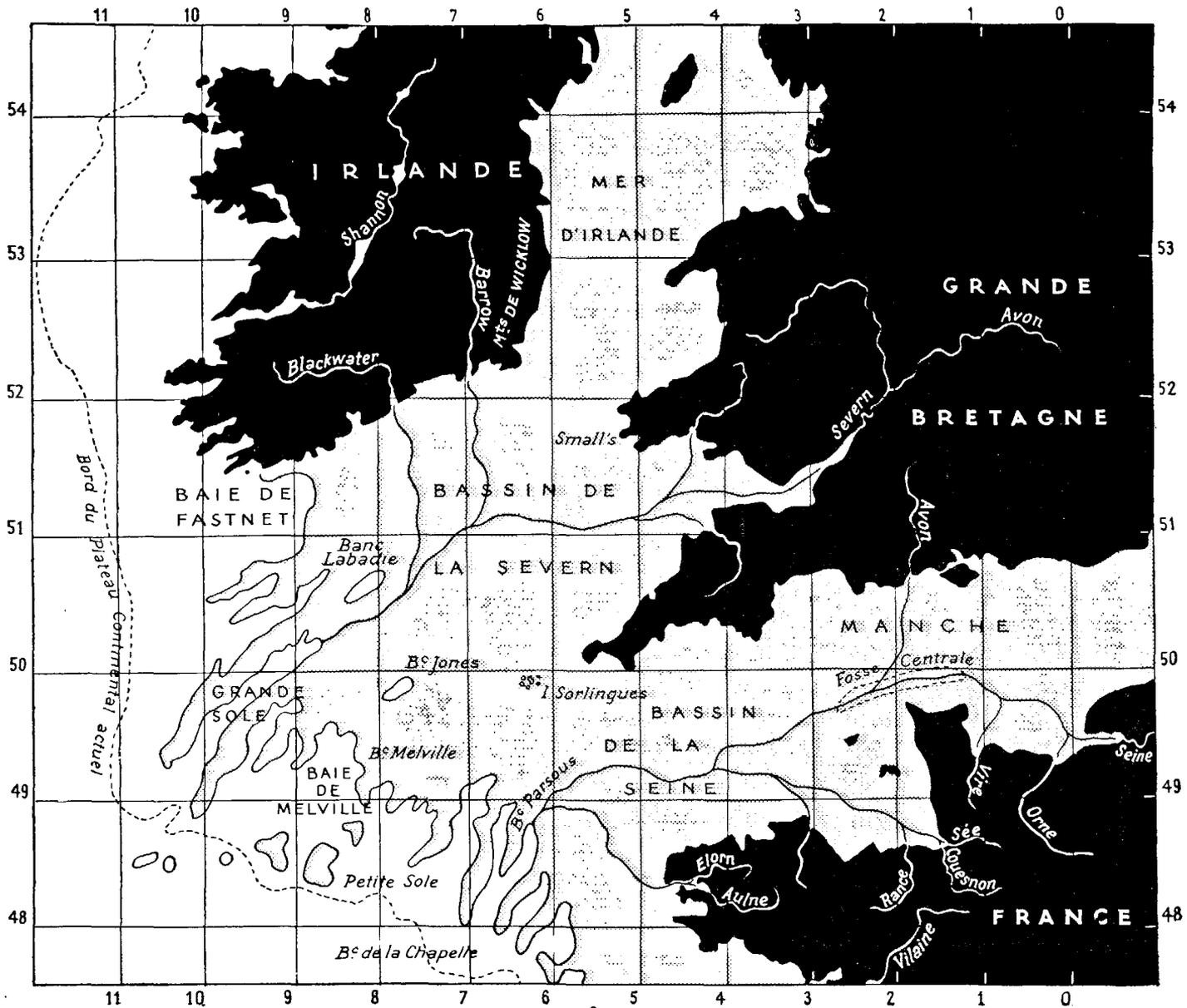


Fig. 34.

Carte schématique de la ligne des anciens rivages submergés dans la région du Sud-ouest des Iles Britanniques.

wegs géologiques que se produisent les déversements des eaux continentales; ces eaux lourdes de basse température et de faible salure, suivent le cours ancien de la Seine et de la Severn. En décrivant les conditions hydrologiques du golfe de Gascogne, nous avons déjà signalé ce déversement d'eaux continentales qui se produit le long du banc Parson. De même, à certains moments de l'année, une énorme masse d'eaux froides descend vers le large par la Souille de la Grande Sole, c'est-à-dire par l'estuaire disparu de la Severn.

Les eaux transgressives vont s'avancer au contraire de chaque côté de ces débouchés fluviaux continentaux. D'une part, dans la baie de Fastnet, immédiatement au sud-ouest de l'Irlande, région connue actuellement sous le nom de Hurd Bank, d'autre part, dans la large baie de Melvil, enfin dans la baie du sud-ouest de Penmarc'h à l'est du banc Parson et des bancs similaires.

Le nombre d'observations hydrologiques qui ont été effectuées dans la région du sud-ouest des îles britanniques est considérable. Par leur constance et leur régularité, les croisières du Service des Pêches irlandais, sous la direction de G. P. FARRAN, ont apporté des termes de comparaison des plus utiles pour l'étude de cette zone. A l'entrée même de la Manche, les croisières périodiques de la Marine Biological Association, avec l'autorité du professeur ALLEN, fournissent une base précieuse de documentation.

L'influence de l'amiral MERVEILLEUX DU VIGNAU a permis, pendant dix ans, que des canonnières de la marine française profitent de leurs sorties pour faire, au large d'Ouessant, des relevés trimestriels des conditions hydrologiques. De plus, les navires de recherches, « Tanche » le « George Bligh » le « Muirchu » ont sillonné ce secteur et apporté leur contribution à son étude.

Actuellement, en surveillant la pêche du maquereau au printemps, les annexes de la station navale française de la Mer du Nord, permettent d'établir d'année en année, à un moment fort intéressant, le bilan des fluctuations océanographiques dans ce secteur.

Nous avons défini, dans le chapitre II, le terme d'axe transgressif et avons pu arriver à préciser ces directions de la marche des eaux atlantiques par les observations dans la région du sud-ouest des îles britanniques. Dans une année moyenne, les axes transgressifs aux divers mois de l'année sont orientés dans cette zone de façon suivante :

Février.	Orientation Ouest-Est, origine 51°10 N. (Hurd bank);
Avril.	Orientation Nord 60° E., origine 50°20 N.;
Mai.	Orientation Nord 50° E., origine 49°20 N. (N. Grande Sole);
Juin.	Orientation Nord 40° E., origine 48°10 N. (E. Petite Sole);
Août.	Orientation Nord 30° E., origine 47°20 N. (E. banc de La Chapelle).

On voit par ce tableau que le premier mouvement transgressif de février à mai se marque dans la baie sous-marine de Fastnet (à Hurd bank); en juin dans la baie sous-marine de Melville; en août dans la baie sous-marine du sud-ouest de Penmarc'h. (Voir fig. 10).

Il peut paraître surprenant que l'influence transgressive se fasse sentir dans cette zone du Nord vers le Sud et non pas du Sud vers le Nord, c'est-à-dire dans le sens normal de la marche des transgressions. Cette anomalie est due au fait que pour rompre la résistance des eaux continentales, les eaux atlantiques sont obligées de les attaquer en divers points et en triomphent d'autant plus vite qu'elles ont moins de résistance et que la masse de la transgression est plus importante.

Ce sont les eaux d'origine équatoriale du large qui représentent le plus gros volume et qui peuvent, à la sortie de l'hiver, marquer un empiètement dans la région de Hurd Bank. Plus tard, arrêtées par la muraille froide du banc Parson, les eaux du golfe de Gascogne débordent à l'est de la Petite Sole.

Il faut attendre le maximum de la force transgressive pour que les eaux du fond du golfe puissent envahir le plateau continental au sud-ouest de Penmarc'h.

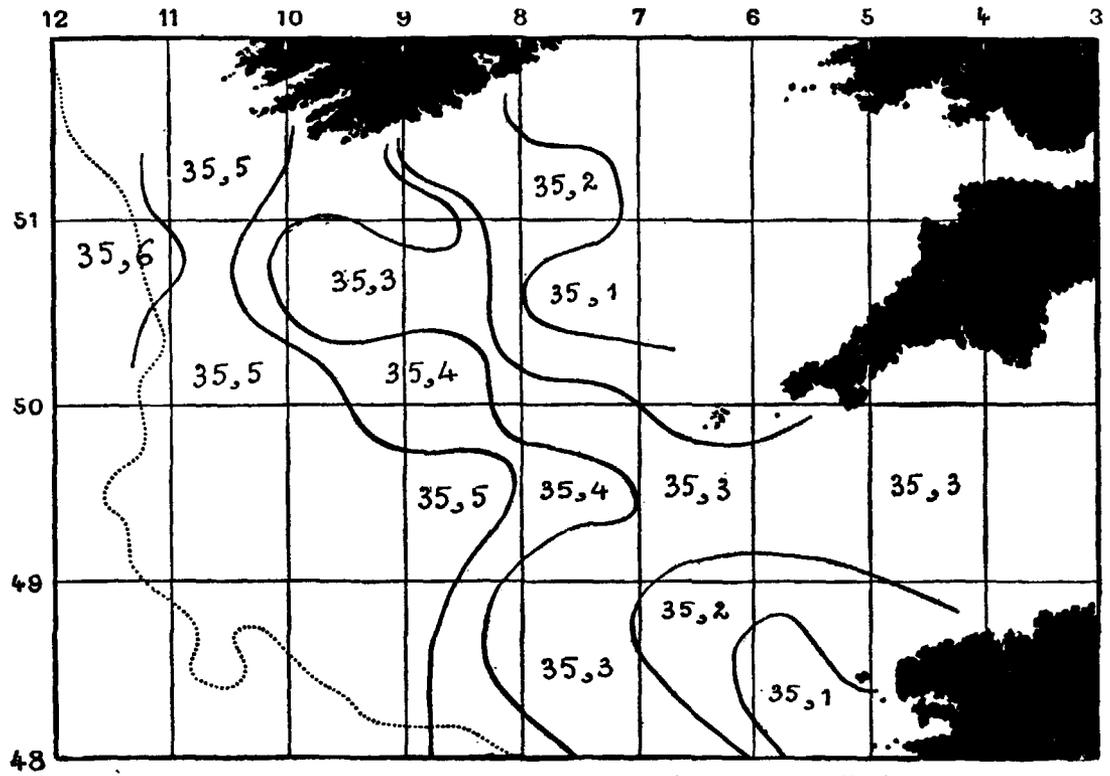


Fig. 35. — Zone sud-ouest des Iles Britanniques. Salinités à 50 mètres. Février 1927.

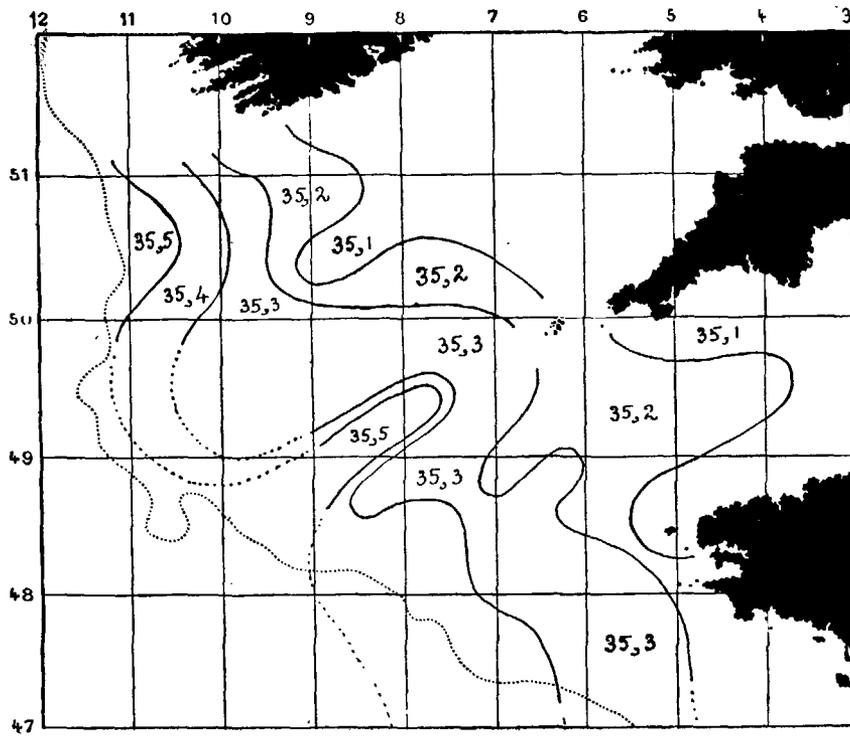


Fig. 36. — Zone sud-ouest des Iles Britanniques.
Salinités à 50 mètres. Mai 1927.

En tenant compte de tous les faits que nous avons signalés d'après les dispositions spéciales de ce secteur, nous allons essayer d'indiquer le mouvement transgressif dans une année *normale*.

De novembre à février, le plateau est complètement recouvert par les eaux continentales qui donnent un parfait exemple de stabilisation hivernale, mais le maximum de refroidissement a souvent lieu en avril. Cependant, dès février, la transgression de Hurd Bank commence à se marquer, suivant l'axe transgressif que nous avons indiqué. Elle gagne en importance et en largeur vers le Sud jusqu'au mois de mai; d'autre part, elle s'avance profondément au sud de la côte irlandaise. Le développement en juin d'un lobe transgressif à l'est de la Petite Sole amène le refoulement total des eaux continentales dans la région de la Grande Sole. Les deux avancées du sud de l'Irlande et de la baie de Melville se rencontrent, s'unifient, submergent le banc Labadie vers le mois de juin, et toujours en suivant la ligne des grandes profondeurs viennent occuper la fosse des Small's. En cet endroit, la transgression se heurte au seuil de la

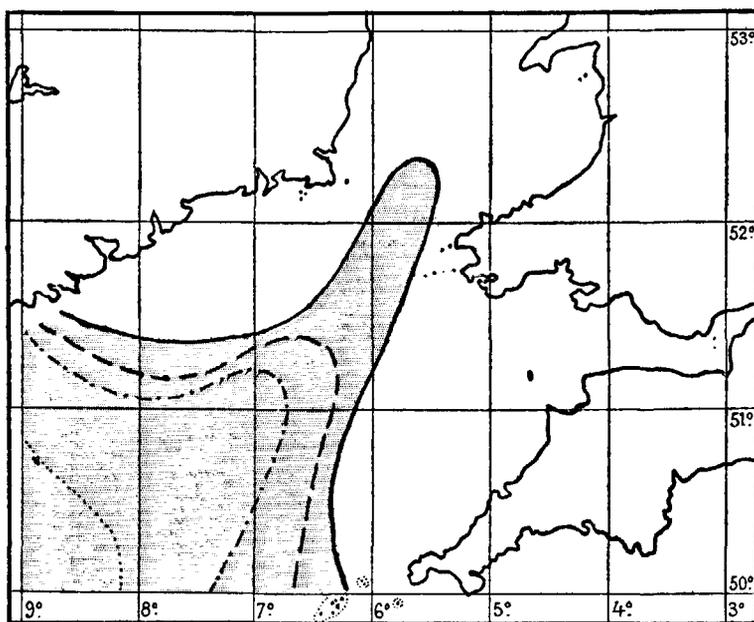


Fig. 37.

Positions successives de la transgression
en direction de la mer d'Irlande.

mer d'Irlande et cesse d'avancer. Le maximum d'extension des eaux atlantiques se produit vers août, dans cette région. Cependant les eaux continentales continuent à se déverser du côté du banc Parson et leur barrière s'étend de ce banc au canal de Bristol, en formant une zone froide que j'ai appelée la *zone neutre des îles Sorlingues*. Cette zone neutre, vers le mois d'août commence à être attaquée vers l'Est par le lobe transgressif du sud-ouest de Penmarc'h.

En septembre, une jonction s'opère par le Sud entre ce lobe et la masse principale de la transgression, rompant la muraille froide du banc Parson et réduisant la zone neutre des îles Sorlingues. La rupture de cette barrière d'eaux froides permet en octobre, aux eaux transgressives de pénétrer dans la Manche occidentale.

Au mois de novembre, la transgression des Small's accentue son mouvement de recul, tandis

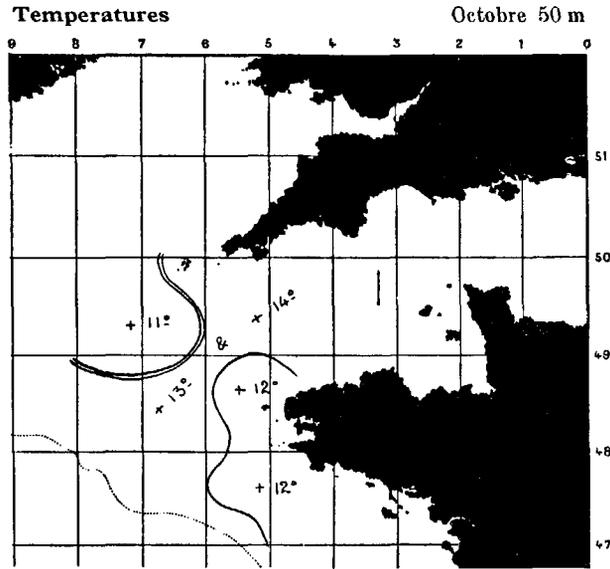


Fig. 38.

Communication de l'Atlantique avec la Manche occidentale
du point de vue thermique. Octobre 1922. 50 mètres.

qu'au contraire, la pénétration des eaux atlantiques superficielles en Manche est plus intense.

En décembre, se manifeste une tendance générale à la stabilisation hivernale.

Ces phénomènes se trouvent ainsi chronologiquement groupés dans une année normale, mais les conditions sont fort différentes au moment des maxima transgressifs et en particulier dans les hivers qui les suivent, surtout quand par suite des fractions d'années du rythme périodique, ces maxima se trouvent à ne pas tomber au mois d'août, mais au mois de février de l'année suivante.

Les documents que nous possédons sur les années 1904, 1922 et 1927 qui suivirent les années 1903, 1921 et 1926, dans lesquelles se produisirent des transgressions de forte amplitude, sont fort démonstratives à ce point de vue.

En février 1927, par exemple, la situation était tout à fait comparable à celle que l'on peut trouver vers le mois d'octobre dans une année normale : la plus grande partie du plateau continental était envahie par des eaux de haute salure vers l'Ouest et la communication avec la Manche existait largement.

Mer d'Irlande. — La mer d'Irlande représente une sorte de cuvette, assez largement ouverte du côté du Nord, ce qui lui permet de recevoir un apport important d'eaux continentales de la côte écossaise, et, par contre, fermée du côté du Sud par un seuil, le seuil de Carnarvon qui domine la fosse des Small's. Les eaux y ont une salure faible dépassant rarement 34 p. 1.000.

En août 1926, au cours d'une croisière de « *Tanche* » mon collaborateur, M. LE GALL fut à même d'étudier le régime de la mer d'Irlande, au cours d'une année marquée par un maximum transgressif semi-novennal. Le maximum transgressif avait lieu justement cette année-là, au mois d'août. Une énorme masse d'eaux à + 14 degrés recouvrait superficiellement presque tout le plateau continental du sud-ouest des Iles Britanniques et jusqu'à une profondeur de

25 mètres, baignait l'Irlande et le pays de Galles. A 50 mètres de profondeur, les eaux à $+ 14^{\circ}$ n'occupaient guère que l'ouest de la Bretagne française, mais par contre, toute la cuvette de la mer d'Irlande était à cette température. Les eaux transgressives n'y avaient cependant pas pénétré, mais sa faible salinité lui avait permis un réchauffement total *in situ*.

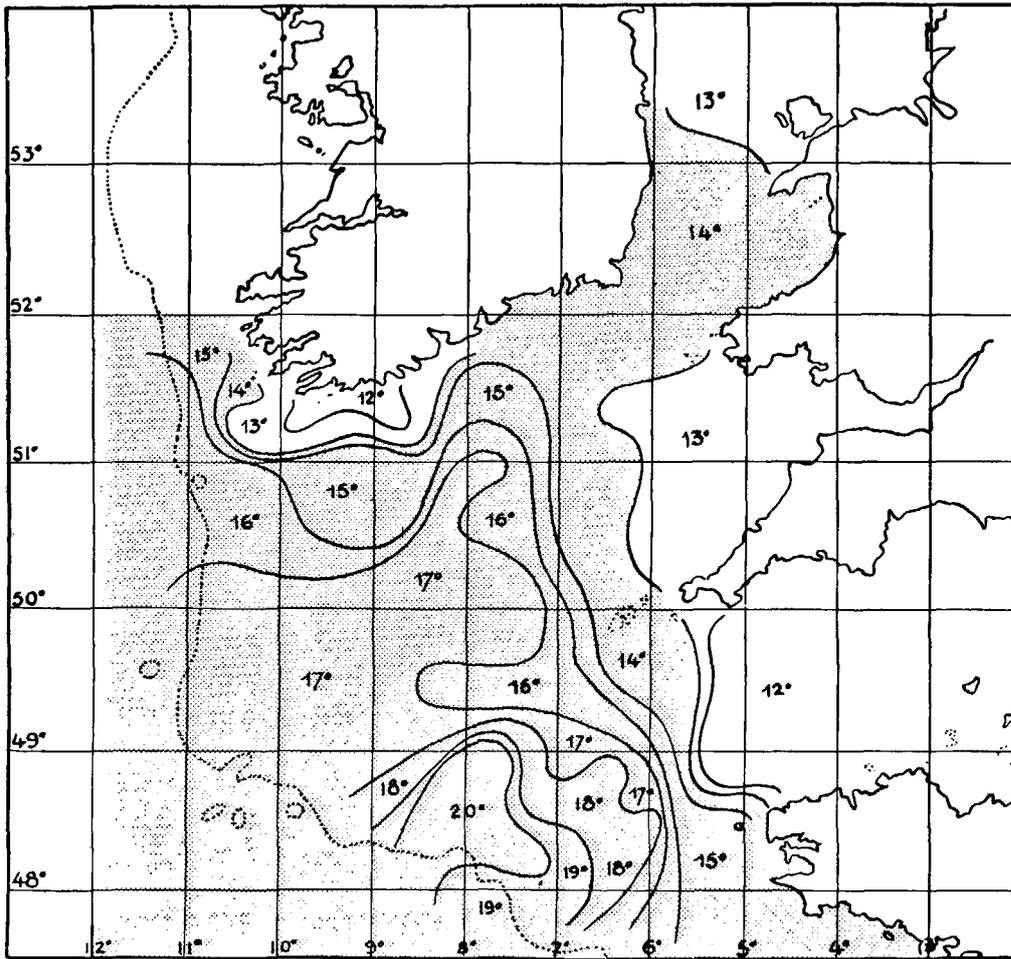


Fig. 39.

Températures à 25 mètres, au sud-ouest des Iles Britanniques, en août 1926.

La pression des eaux salées transgressives qui avaient envahi presque totalement la fosse des Small's, provoquait un refoulement si intense des eaux continentales que celles-ci formaient une véritable muraille verticale en avant du seuil de Carnavon. Sur l'espace d'un mille,

de la surface au fond de la mer d'Irlande, et sans mélange entre elles, s'affrontaient des eaux variant directement de 34 p. 1.000 à 35 p. 1.000, sans nappe intermédiaire.

Dans les années normales, le régime de la mer d'Irlande est moins caractérisé; au niveau de

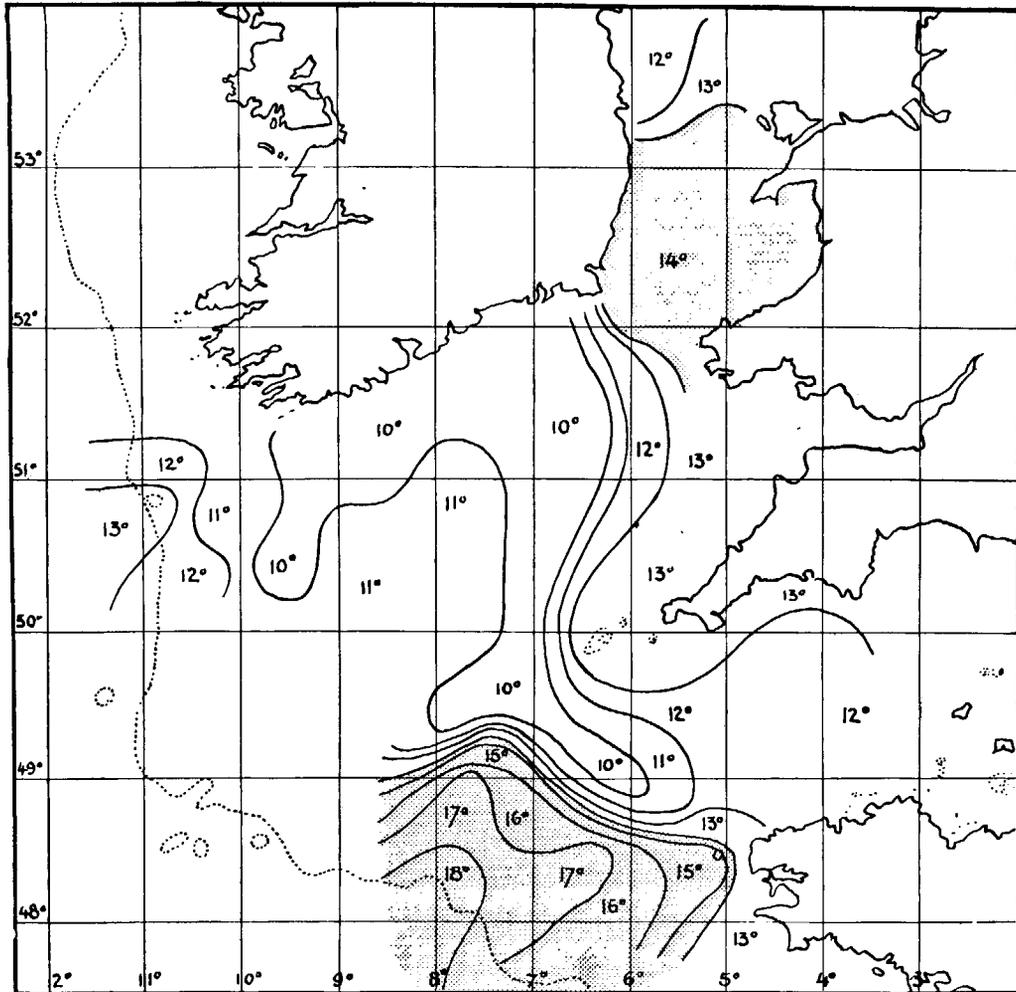


Fig. 40.

Températures à 50 mètres, au sud-ouest des Iles Britanniques, en août 1906.

la fosse des Small's, les eaux diluées de cette mer s'infléchissent vers la côte sud de l'Irlande, tandis que les eaux atlantiques gagnent plus ou moins, suivant les années, le canal de Bristol.

Manche occidentale. — En 1922, au sujet du régime de la Manche, je me suis trouvé en

discussion avec mes collègues anglais, et en particulier avec MM. MATTHEWS, HARVEY et LUMBY. Je soutenais, en effet, à ce moment, que la pénétration des eaux atlantiques était très réduite dans la Manche occidentale et que cette pénétration ne se produisait, comme nous l'avons dit, qu'après la rupture de la barrière formée par la zone neutre des îles Sorlingues, c'est-à-dire vers octobre et novembre. M. HARVEY, en 1924, publia dans le Rapport atlantique, un excellent travail où il fournissait particulièrement une carte de la distribution des salinités relevées par

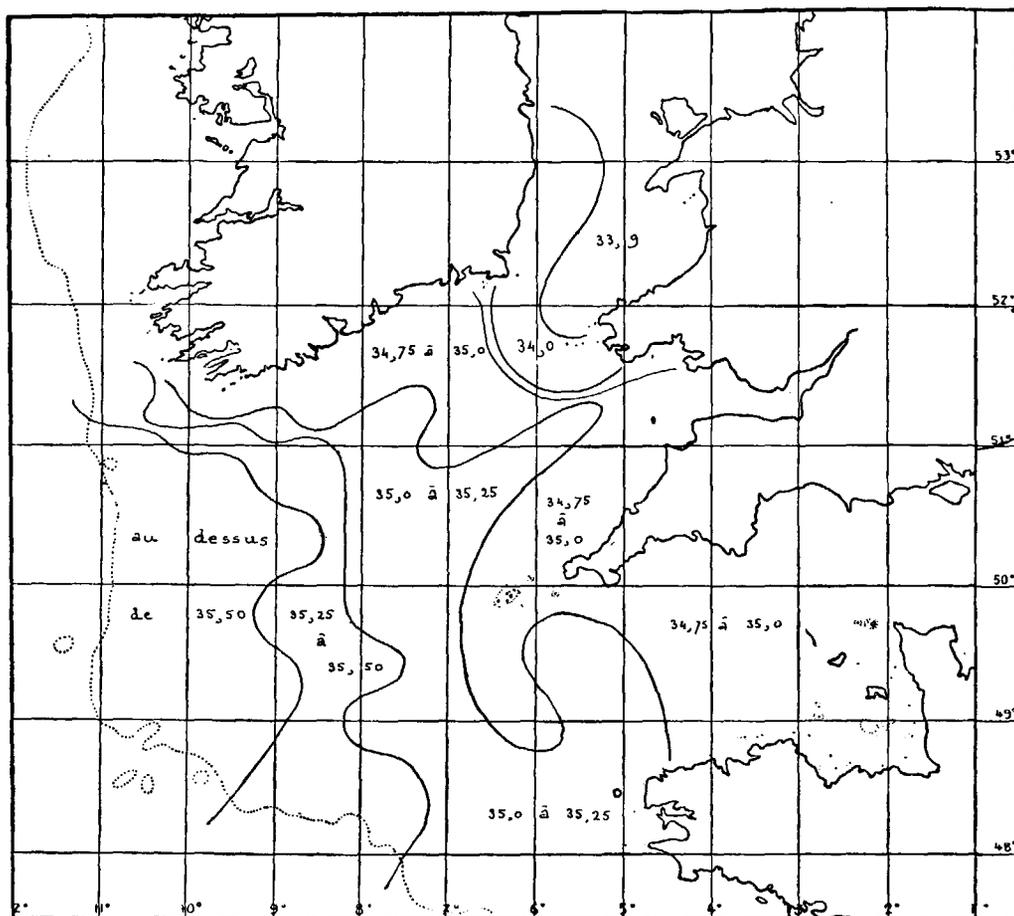


Fig. 41.

Salinités à 50 mètres, au sud-ouest des îles Britanniques, en août 1926.

M. MATTHEWS en 1904, au mois de février. L'examen de cette carte prouvait nettement en hiver une large pénétration des eaux atlantiques dans les couches superficielles de la Manche. Je ne pus, à cette époque, répondre aux objections valables de MM. MATTHEWS et HARVEY et me bornai à supposer que la pénétration atlantique en Manche avait lieu seulement en surface au-dessus de la barrière profonde formée par la zone neutre des Sorlingues.

Les nouvelles observations qui ont été apportées depuis cette époque et la mise au point

de plus en plus grande de la théorie des transgressions, me permettent de dire maintenant que nous avons tous raison.

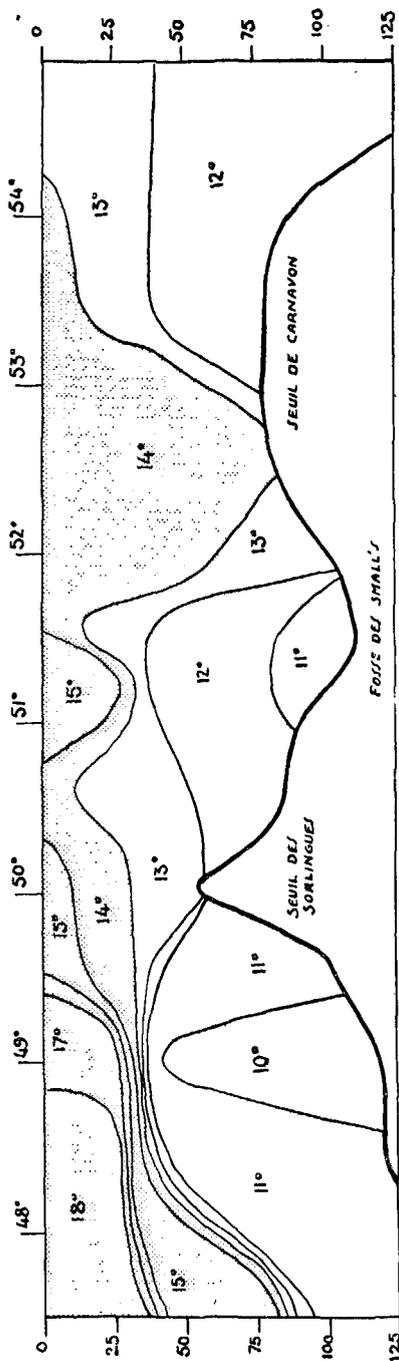


Fig. 42. Coupe nord-sud, à l'ouest du 6° W. G. en août 1926. Températures.

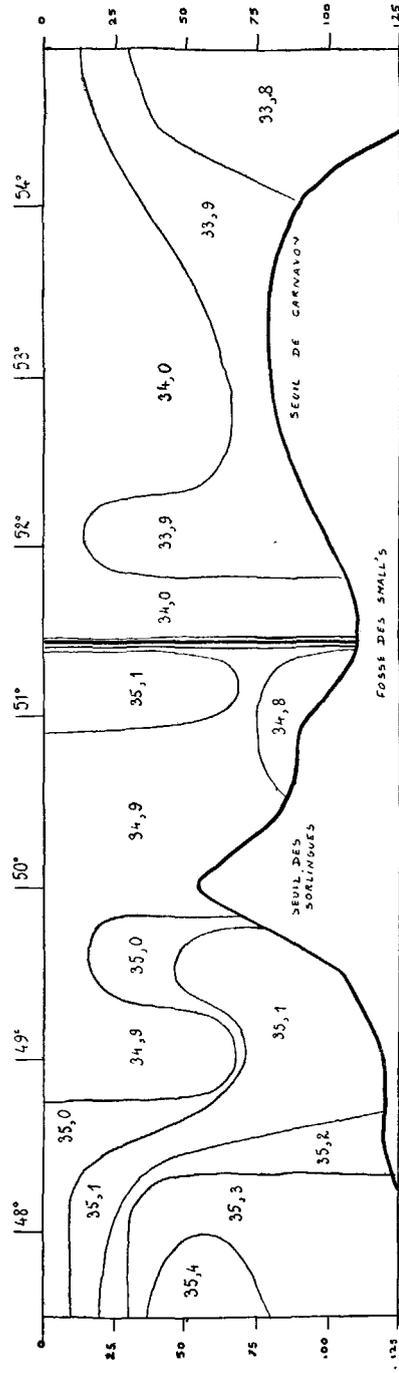


Fig. 43. Coupe nord-sud à l'est du 6° W. G. en août 1926. Salinités.

Il se trouve, en effet, que les observations de M. MATTHEWS furent effectuées en février 1904, c'est-à-dire dans une année qui suivit exactement le grand maximum octo-décimal de 1903,

dont le culmen se trouvait justement reporté au mois de février. M. MATTHEWS s'est donc trouvé en présence d'une année exceptionnelle ; il aurait pu, du reste, retrouver les mêmes conditions,

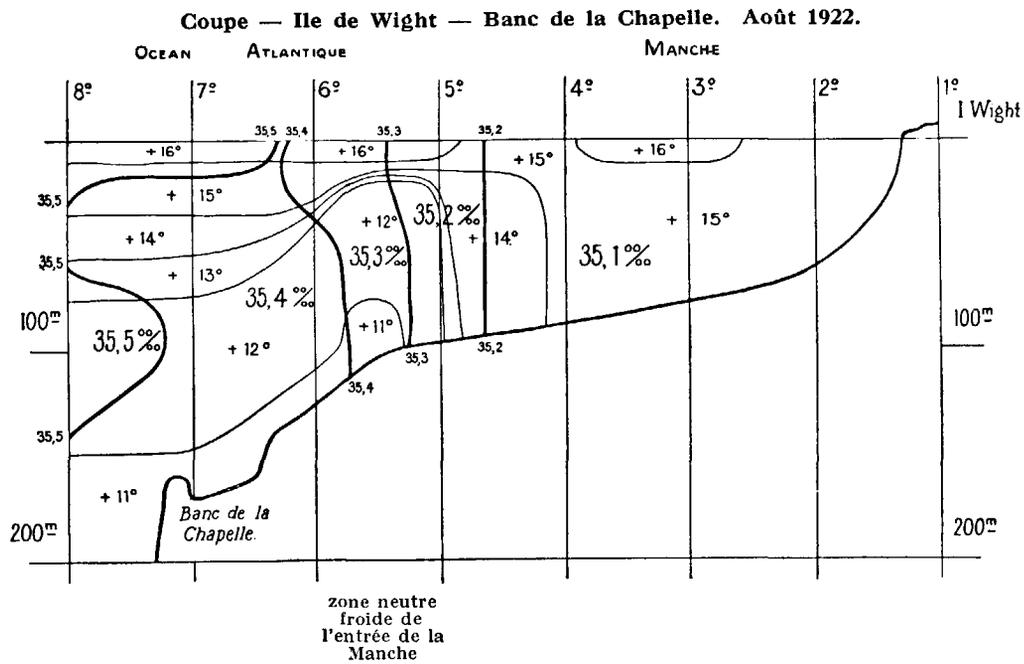


Fig. 44.

Coupe du Banc de la Chapelle à l'Ile de Wight, montrant la zone neutre des Iles Sorlingues.

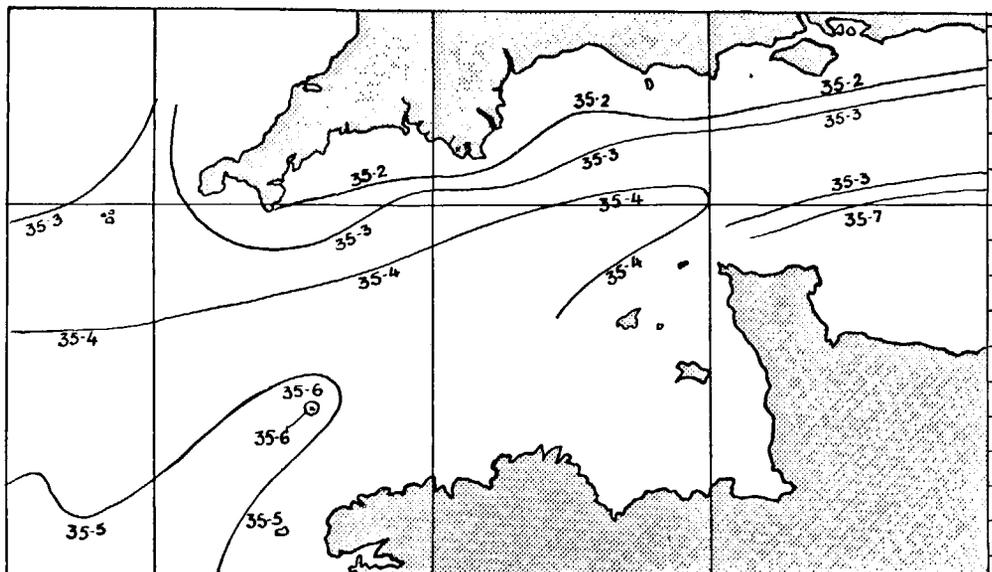


Fig. 45.

Distribution des salinités en surface, dans la Manche, en février 1904 (d'après Matthews).

comme nous l'avons dit plus haut, dans les années qui suivent les maxima transgressifs en 1922, ou en 1927, au mois de février, mais dans les années normales, c'est bien entre octobre et novembre qu'a lieu la pénétration des eaux atlantiques en Manche après la rupture de la zone neutre des îles Sorlingues, et d'une façon générale, la transgression atlantique ne se fait sentir que dans les eaux superficielles.

E. — ZONE DU NORD DES ILES BRITANNIQUES ET MER DU NORD.

Les Iles Britanniques forment un massif compact au point de vue hydrologique et les eaux continentales entourent le bloc formé par la Grande-Bretagne, l'Irlande, les Hébrides et les Orcades. Au large de l'Écosse, se trouve le plateau sous-marin de Rockall, séparé par un profond chenal de la masse des Iles Britanniques. Le plateau continental, vers l'Ouest, au large de l'Irlande et des Hébrides, est relativement étroit, aussi de ce côté, l'isohaline 35 p. 1.000 enferme la côte du Royaume-Uni de très près. Dans les années normales, c'est-à-dire celles dans lesquelles le maximum transgressif dans la région du golfe de Gascogne se place vers août, les eaux équatoriales à 35,5 p. 1.000 se trouvent arrêtées par un centre de résistance important car le plateau de Rockall est alors uni aux Iles Britanniques par des eaux de moindre salure, mais faisant cependant partie du groupe des eaux atlantiques. Ce phénomène se fait sentir pendant les mois d'hiver et au printemps jusqu'en mai. Vers juin, le centre de la masse transgressive à 35,5 p. 1.000 déborde le plateau de Rockall et s'avance particulièrement au-dessus du chenal profond qui le sépare de l'Irlande et de l'Écosse. Vers juillet, dans les années moyennes, les eaux à 35,5 p. 1.000 atteignent le nord de l'Écosse, vers 58 degrés ou 59 degrés nord et ne dépassent pas cette latitude. Cependant les eaux à 35 p. 1.000 se glissent dans le chenal placé entre les Shetlands et les Orcades, et faisant route vers le Sud en suivant la côte écossaise, pénètrent en mer du Nord. Ce mouvement est un mouvement superficiel mais il se trouve grandement facilité, car dans la partie septentrionale de la mer du Nord se trouvent des eaux de salure égale, en profondeur.

La crête Wyville-Thomson, qui joint l'Islande aux Féroë et ce dernier archipel aux Shetland, joue un rôle important au point de vue hydrologique. Pendant la majeure partie de l'année, en effet, cette crête sert de limite aux eaux atlantiques à 35 p. 1.000. C'est la ligne de démarcation du bassin polaire. Entre les Féroë et les Shetland existe un chenal profond qui aboutit en cul de sac, contre la crête Wyville-Thomson. Les eaux profondes de ce chenal Féroë-Shetland sont extrêmement froides, avec des températures, vers 2.000 mètres, au-dessous du zéro centigrade, et cette masse d'eaux forme un point d'appui aux eaux froides de la mer de Norvège; mais cependant, les eaux atlantiques débordent le centre de résistance formé successivement par le plateau des Shetland et surtout par le plateau des Féroë et prennent place dans les couches de surface jusque vers 500 mètres dans le chenal. Il s'établit ainsi, entre l'Islande et l'Écosse, une nappe centrale d'eaux transgressives qui va alimenter d'une part le lobe qui pénètre en mer du Nord vers le Sud, et d'autre part, le rameau arctique que nous étudierons plus tard.

D'une façon générale, les eaux à 35,25 p. 1.000 ne dépassent pas le plateau des Féroë vers le Nord.

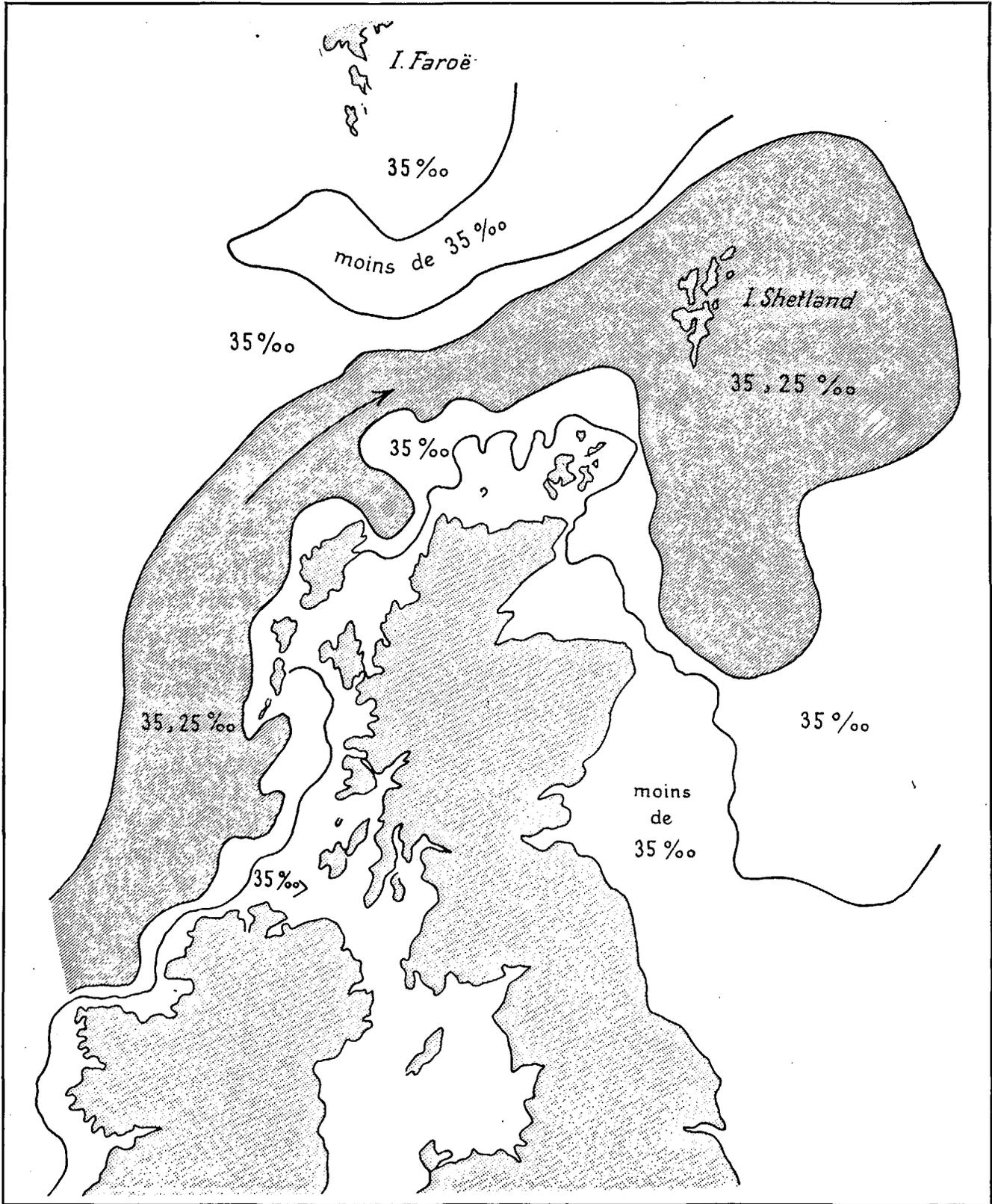


Fig. 46. — Mouvement transgressif au nord de l'Écosse.

Mer du Nord. — La mer du Nord est formée de deux parties bien distinctes : 1° la partie septentrionale profonde, qui comprend un large plateau entre 100 et 200 mètres, séparé de la côte de Norvège par un chenal étroit et abrupt, atteignant 400 mètres et se terminant dans le Cattégat par une fosse de 800 mètres. Cette partie profonde est occupée été comme hiver, sur le fond, par des eaux froides et salées à 35 p. 1.000 et seul le régime des eaux de surface varie; 2° la partie méridionale, peu profonde, variant entre 20 et 60 mètres avec des bancs nombreux séparés par de petits chenaux. Cette zone, qui garde la trace d'effondrements très récents, puisqu'on y trouve fréquemment des os de mammouth, a un caractère purement

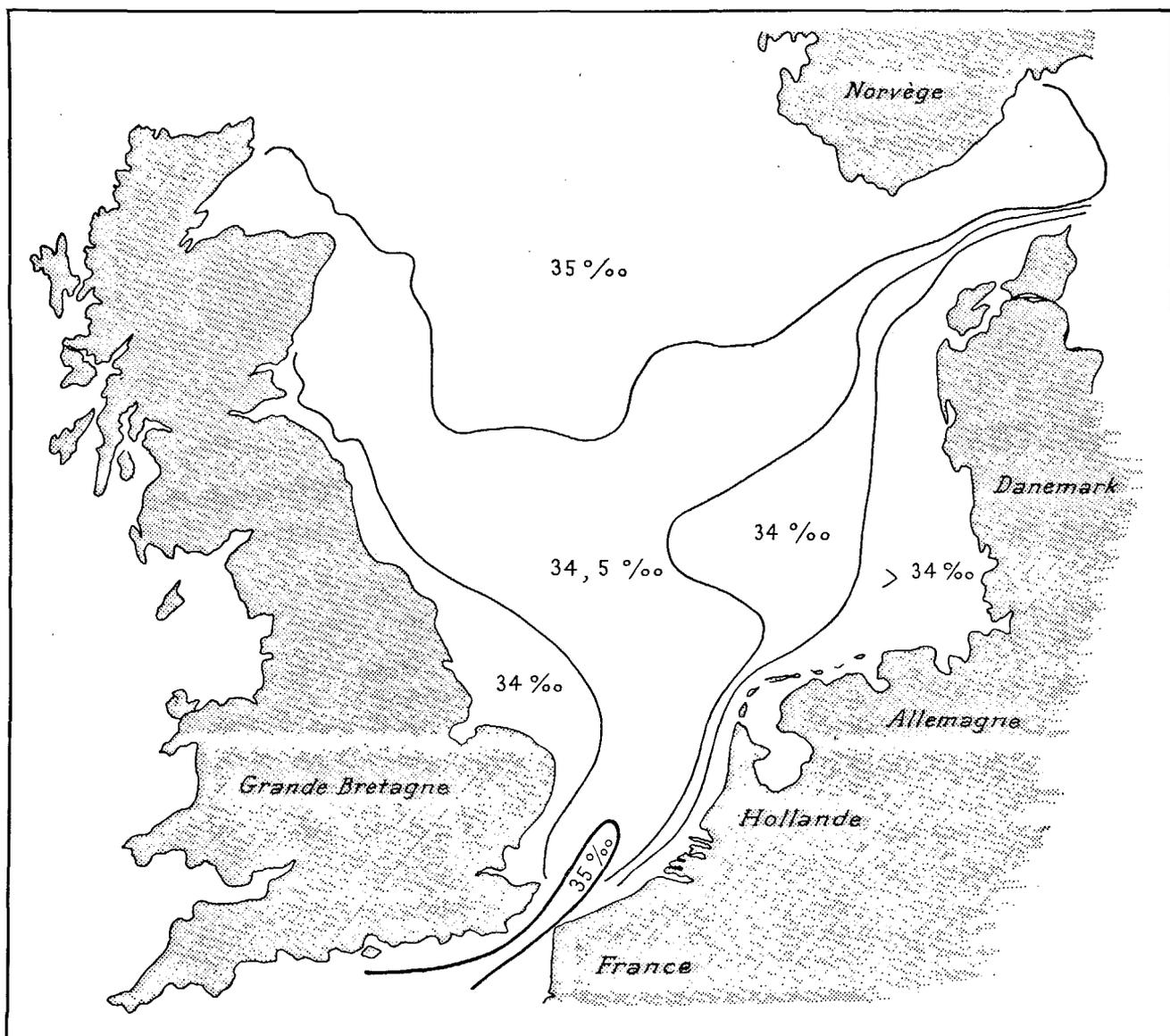


Fig. 47. — Distribution normale des salinités en août dans la mer du Nord (d'après les travaux de la Deutsche Seewarte).

continental, et la salure moyenne des eaux qui y règnent est de 34 p. 1.000. La différenciation entre ces deux zones joue un rôle important au point de vue hydrologique. C'est, en général, vers mai, dans les années moyennes, que la mer du Nord affecte spécialement un caractère continental. La cuvette que forme la partie septentrionale s'emplit très rapidement d'eaux à 35 p. 1.000 qui se mettent en liaison avec les eaux profondes de même salure; quelquefois vers le mois d'août, il se produit certains phénomènes de rétraction en surface, les eaux salées reculent en se tronçant, laissant en place de petites nappes isolées que retrouvera la transgression suivante. Celle-ci, à vrai dire, ne se manifeste que vers octobre et elle tente d'empiéter

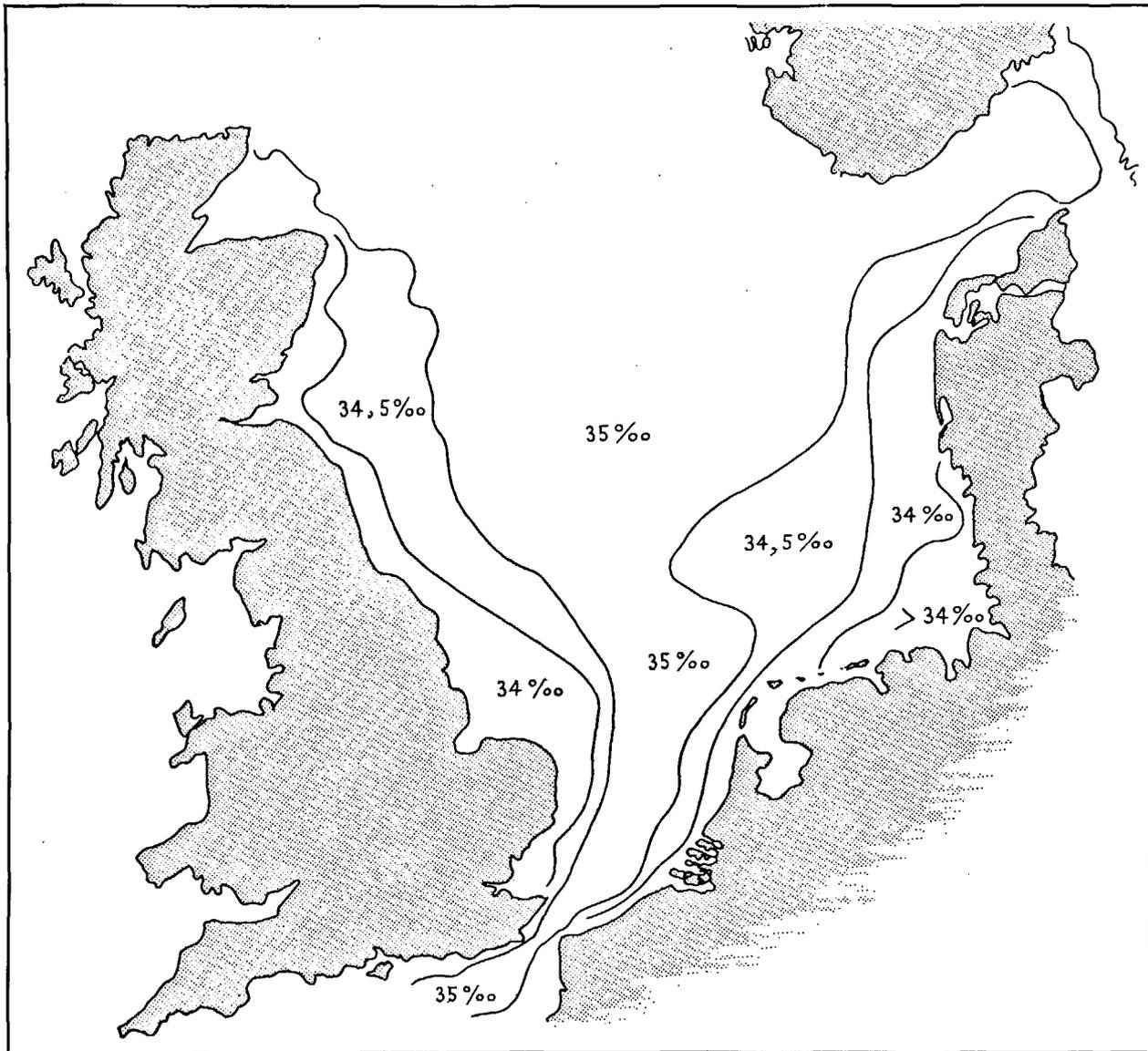


Fig. 48 — Jonction des eaux atlantiques dans la mer du Nord dans les années de fortes transgressions (1909 et 1922).

sur la partie continentale du Sud ; le Dogger Bank joue le rôle d'un point stratégique dans ce siège des eaux atlantiques et il est rare que celles-ci arrivent à rompre complètement cette barrière. La masse transgressive augmente pendant les mois d'hiver et en janvier et février elle arrive à son maximum d'extension. A ce moment, la partie septentrionale de la mer du Nord est complètement remplie d'eaux atlantiques et sous la pression de celles-ci, les eaux à 34 p. 1.000 envahissent le Cattégat. Dès le printemps se produit le mouvement de recul.

Manche orientale. — Les eaux atlantiques, nous l'avons vu, pénètrent dans les années moyennes à partir de septembre ou d'octobre, dans la Manche occidentale. Ces eaux dépassent la presqu'île du Cotentin en suivant la grande fosse et s'épandent en Manche orientale, tout au moins en surface. Vers la fin de l'hiver, la rupture se produit en Manche occidentale, mais les eaux de la Manche orientale continuent à progresser vers l'Est et franchissent, dans les couches purement superficielles, le Pas-de-Calais. Ce petit diverticule des eaux de la Manche orientale ne dépasse pas la latitude de Yarmouth.

Année de forte transgression. — Dans les années de forte transgression se produit un phénomène inusité : l'envahissement par les eaux atlantiques de la partie méridionale de la mer du Nord ; le résultat de cette exceptionnelle transgression est une liaison entre les eaux atlantiques de la partie septentrionale de la mer du Nord et les eaux atlantiques de la Manche orientale. Les eaux continentales se trouvent ainsi divisées par un chenal superficiel en deux parties : l'une appliquée contre la côte anglaise, l'autre contre la Hollande et le Danemark. Cette situation se trouve clairement indiquée dans le Bulletin hydrographique du Conseil international, en février 1903 et en novembre 1907. Nous avons pu le vérifier depuis dans l'hiver 1921-1922. Ces diverses années correspondent exactement avec des maxima transgressifs.

F. — ZONE DES MERS BORÉALES EUROPÉENNES.

La crête Wyville-Thomson limite, du côté de l'Europe assez exactement la zone boréale. Dans les années à transgressions très faibles comme en 1902, cette limite n'est pas dépassée par les eaux atlantiques à 35 p. 1.000, mais dans les eaux moyennes, la nappe centrale que nous avons décrite entre l'Islande et l'Écosse, émet vers le Nord, un large lobe transgressif. Dans cette région on sent que la transgression est arrivée presque à son épuisement et les phénomènes suivent étroitement la courbe de périodicité. Dans les années de faible amplitude, le mouvement est presque nul ; dans les années voisines des maxima transgressifs, il peut être très important. C'est qu'en effet, dans cette zone intervient directement un autre facteur : l'intensité de la dérive glaciaire.

Transgression et dérive glaciaire sont inversement proportionnelles. Les années où la grande dérive des icebergs emplit l'Océan boréal, la masse des eaux polaires résultant de leur fonte, arrête net la transgression ; au contraire quand l'apport glaciaire est faible, elle se développe de façon inaccoutumée. Ce sont là deux aspects d'un même phénomène d'ordre cosmique et il est difficile de dire s'ils sont simplement concomitants et de sens inverse ou si l'un des deux régit l'autre.

Cependant quand nous nous éloignons dans le passé, comme nous l'avons fait au chapitre II, nous voyons que les grands maxima transgressifs géologiques ont pu changer totalement la

faune et la flore du Spitzberg. Ils prévalaient peut-être alors sur l'influence glaciaire à moins que tout simplement la barrière du continent nord-atlantique empêchât à cette époque la grande banquise de se déverser dans les mers boréales.

Dans les années moyennes, les eaux transgressives baignent régulièrement, dans la majeure partie de l'année, la côte sud de l'Islande, tout au moins en surface et le lobe transgressif boréal prend comme base une ligne s'étendant du sud-est de cette île au sud de la Norvège. Il ne comprend guère que des eaux à 35 p. 1.000 même dans les meilleures années. Les eaux à 35,5 p. 1.000 se sont arrêtées au nord de l'Écosse, les eaux à 35,25 p. 1.000 au plateau des Féroë. La direction vraie du rameau boréal est le Nord-Nord-Est. Il remonte en suivant la côte de Norvège, en dedans de la ligne Islande-Jan Mayen-Spitzberg. Cette ligne divise nettement l'Atlantique boréal entre les deux grandes influences, transgression et dérive glaciaire. Les eaux transgressives atteignent le Spitzberg entre novembre et février dans les années où le maximum transgressif se fait sentir en août dans le golfe de Gascogne, et le point culminant de leur influence se place en mai, c'est-à-dire presque neuf mois après le maximum vrai. Toutefois, quand les maxima se placent en hiver, ce phénomène se trouve hâté de ce fait, et il y a renforcement du mouvement transgressif dans ces hautes latitudes quand, par exemple, un maxima octo-décimal ou même simplement semi-novennal a lieu en novembre ou en février. Les maxima placés en mai ou en août se font beaucoup moins sentir dans l'Atlantique septentrional. Nous pouvons fournir un exemple de la salinité des eaux du Spitzberg au moment de l'influence de la transgression, de 1902 à 1912 :

1902. Transgression faible	34	p. 1.000
1903. Maximum octo-décimal en février.....	35	—
1904. Transgression forte	35	—
1905. Transgression forte	34,9	—
1906. Transgression forte	34,9	—
1907. Maximum semi-novennal	35	—
1908. Transgression faible.....	34	—
1909. Transgression faible.....	34	—
1910. Transgression moyenne	34,5	—
1911. Transgression moyenne	34,7	—
1912. Maximum semi-novennal en mai	34,7	—

Dans les années de fortes transgressions, un lobe à 35 p. 1.000 dépasse d'autre part, vers l'Ouest, la côte sud de l'Islande et pénètre dans le détroit de Danemark.

Pour compléter cette étude de la marche des transgressions dans le nord de l'Atlantique oriental, il me reste à signaler que sur la côte sud du Spitzberg, en suivant la ligne des grandes profondeurs, le dernier rameau de la transgression océanique s'enfonce dans la mer de Barentz. Les travaux de Bruno SCHULZ (campagne du «*Poséidon*» en 1927) et de BEAUGÉ en 1932 ont mis en évidence cette dernière extension des eaux atlantiques. Bruno SCHULZ a signalé des eaux à 35 p. 1.000 de la surface au fond, en septembre 1927 jusqu'au 30° degré E. G. Il semble que le rameau profond a tendance à remonter vers le Nord-Est et qu'ainsi la transgression viendrait prendre fin entre le Spitzberg et la terre François-Joseph. Toutefois les derniers travaux russes et en particulier ceux de WIESE, laissent croire que, jusqu'à la Nouvelle-Zemble et peut-être au delà, se manifesteraient certaines influences de l'avance des eaux transgressives, soit directement soit par réchauffement des eaux polaires environnantes.

PRINCIPAUX OUVRAGES CONSULTÉS.

D'ARCY W. THOMPSON.

Mean Sea temperatures of routes across the north sea. (N. Sea Fish. Invest. [N. Area] 1906-1908, Cd. 4893, 1909.)

Mean Sea temperatures of routes across the north sea. (N. Sea. Fish Invest. [N. Area] Cd. 3358, 1907.)

BEAUGÉ (L.).

Rapports de mission sur le banc de Terre-Neuve et au Groënland. (Campagnes 1927, 1928, 1929, 1930.) [*Revue des travaux de l'Office des Pêches maritimes*, t. I, f. 1, 2, 3, 1928; t. II, f. 1, 2, 4, 1929; t. III, f. 1, 1930; t. IV, f. 1, 3, 1931; t. V, f. 1, 1932; t. VI, f. 1, 1933.]

(Avec Ed. LE DANOIS). Remarques sur les conditions hydrologiques des bancs de Terre-Neuve. (*Revue des travaux de l'Office des Pêches maritimes*, t. IV, f. 2, 1931.)

Les régions de pêche de l'Atlantique Nord (Islande, Mer de Barentz). (*Revue des travaux de l'Office des Pêches maritimes*, t. V, f. 4, 1932.)

BELLOC (Gérard).

(Avec Ed. LE DANOIS). Remarques sur le régime des eaux atlantiques et sur la biologie des poissons comestibles (3^e série). [Notes et Mémoires de l'Office des Pêches maritimes, n° 34, 1923.]

La croisière de «Tanche» (août 1927). [Rapp. Atl. 1927. Rapp. P. V. Cons. Int. Exp. Mer, vol. LV.]

La croisière de «Tanche» (août 1928). [Rapp. Atl. 1928. Rapp. P. V. Cons. Int. Exp. Mer, vol. LXII.]

DE BUEN (Rafaël).

Remarques hydrologiques (secteur Sud).

(Rapp. Atl. 1926. Rapp. P. V. Cons. Int. Exp. Mer, vol. XLIV.)

—	1927.	—	—	—	LV.)
—	1928.	—	—	—	LXII.)
—	1929.	—	—	—	LXX.)
—	1930.	—	—	—	LXXXVII.)
—	1931.	—	—	—	LXXXIV.)
—	1932.	—	—	—	LXXXVII.)

Résultats des investigations espagnoles dans le Déroit de Gibraltar. (Rapp. Atl. 1926. Rapp. P. V. Cons. Int. Exp. Mer, vol. XLIV.)

Régime hydrologique dans la Mer d'Espagne et sur la côte portugaise en 1932. (Rapp. Atl. 1932. Rapp. P. V. Cons. Int. Exp. Mer, vol. LXXXVII.)

Les caractères des eaux du Guipuzcoa. (*Loc. cit.*)

Quelques observations sur le régime des courants du déroit de Gibraltar. (C. R. Ac. Sc. Paris, t. CLXXVII, p. 1146, 24 nov. 1924.)

Contribucion al estudio del relieve del estrecho de Gibraltar. (Instituto esp. de Oceanog. Notas y resúmenes II 66, 1933.)

CARRUTHERS (J. N.).

The water movements in the neighbourhood of the English Channel North Sea Junction. Drift bottle experiments, (*Journ. M. B. A.*, Plymouth, vol. XIII, n° 3, 1925.)

The water movements in the Southern North Sea. (Fish. Invest, séries 11, vol. VII, n° 4, 1924, vol. IX, n° 3, 1926 et vol. IV, n° 6, 1929.)

CLEVE, EJKMANN, PETTERSSON.

Les variations annuelles de l'eau de surface de l'Océan Atlantique. (Göteborg, 1901.)

LE DANOIS (Édouard).

- (Avec L. JOUBIN). Remarques biologiques sur la thermométrie des eaux atlantiques au large d'Ouessant. (C. R. Ac. Sc. Paris, t. 171, p. 1026, 22 nov. 1920.)
 Sur les variations des eaux atlantiques au large des côtes de France. (C. R. Ac. Sc. Paris, t. 173, p. 923, 14 nov. 1921.)
 La biologie du thon blanc ou germon. (C. R. Ac. Sc. Paris, t. 173, p. 1028, 21 nov. 1921.)
 Sur l'hydrologie des eaux atlantiques. (C. R. Ac. Sc. Paris, t. 175, p. 611, 16 oct. 1922.)
 Sur la prévisibilité de la valeur de la pêche du hareng en hiver. (C. R. Ac. Sc. Paris, t. 175, p. 1107, 27 nov. 1922.)
 Conseil international pour l'Exploration de la Mer. Rapports atlantiques (Atlantic Slope Committee). [Rapp. et P. V. des réunions, vol. XXIX, 1921; vol. XXXI, 1922; vol. XXXV, 1923; vol. XXXVII, 1924; vol. XL, 1925; vol. XLIV, 1926; vol. LV, 1927; vol. LXII, 1928; vol. LXX, 1929; vol. LXXVII, 1930; vol. LXXXIV, 1931; vol. LXXXVII, 1932.)
 Recherches sur le régime des eaux atlantiques au large des côtes de France et sur la biologie du thon blanc ou germon. (Notes et Mémoires de l'Office des Pêches maritimes, n° 9, 1921.)
 Nouvelles recherches sur le régime des eaux atlantiques et sur la biologie des poissons comestibles. (Notes et Mémoires de l'Office des Pêches maritimes, n° 17, 1922.)
 (Avec G. BELLOC). Recherches sur le régime des eaux atlantiques et sur la biologie des poissons comestibles (3^e série). [Notes et Mémoires de l'Office des Pêches maritimes, n° 34, 1923.]
 Étude hydrologique de l'Atlantique Nord. (*Ann. Inst. Océanog.*, N. S., t. I, fasc. 1, 1924.)
 Les conditions de la pêche à la morue sur les bancs de Terre-Neuve (rapport de mission). [Notes et Rapports de l'Office des Pêches maritimes, n° 35, 1924.]
 (Avec H. HELDT). Les harengs des Smalls et les conditions hydrologiques de leurs migrations. (Notes et Rapports de l'Office des Pêches maritimes, n° 36, 1924.)
 (Avec L. JOUBIN et L. GERMAIN). Une esquisse du passé de l'Atlantique Nord. (*La Géographie*, sept.-oct. 1923, t. XL.)
 Rapport sur le fonctionnement de l'Office des Pêches maritimes pour l'année 1929. (*Revue des Travaux de l'Office des pêches maritimes*, t. III, f. 1, 1930.)
 Rapport sur le fonctionnement de l'Office des Pêches maritimes pour l'année 1930. (*Revue des Travaux de l'Office des Pêches maritimes*, t. IV, f. 1, 1931.)
 (Avec L. BEAUCÉ). Remarques sur les conditions hydrologiques des bancs de Terre-Neuve. (*Revue des Travaux de l'Office des Pêches maritimes*, t. IV, f. 2, 1931.)
 Les transgressions océaniques. (*Bull. Inst. Océanog.*, n° 613, 20 janv. 1933, Monaco.)
 Note sur l'Océanographie de la région située au large des côtes marocaines. (58^e Congrès Ass. Fr. p. Av. Sc., Casablanca, 1934.)

DEFAUT (A.).

- Die systematische Erforschung des Weltmeeres. (Z. d. ges. f. Erdkunde zu Berlin. Jubiläumssonderband 1928.)
 Die Ozeanische Zirkulation. (Madrid, 1930.)

DEUTSCHE SEEWARTE.

- Meereskündliche Beobachtungen auf deutschen Feuerschiffen der Nord- und Ostsee. (Deutsche Seewarte, Jahrgg., 1924-1930.)
 Atlas für Temperatur, Salzgehalt und Dichte der Nordsee und Ostsee. Hambourg, 1927.

FARRAN (G. P.).

- Graphiques hydrologiques (en particulier le long du 8° W.G. de la côte d'Irlande au bord du plateau continental). [Rapports Atlantiques 1921-1922. Rapp. et P. V. Cons. Int. Exp. mer.]

HARVEY (H. W.).

- Hydrography of the English Channel. (Rapp. et P. V. Cons. Int. Exp. mer, XXXVII, Rapp. Atl., 1923.)
 Hydrographic features of the water in the neighbourhood of Plymouth during the years 1921-1922. (*Journ. M. B. A., Plymouth*, vol. XIII, n° 1, 1923.)

HELLAND HANSEN (Bjoïn).

(Avec Fridjof NANSEN). The Norwegian Sea. (Rep. on Nouv. Fish. Invest., vol. II, Bergen, 1909.)

(Avec Fridjof NANSEN). Temperature variations in the north atlantic ocean and in the atmosphere. (Washington Smiths. Instt., 1920.)

HJORT (Johan).

The Depths of the Ocean. (Mac Millan, Londres, 1912.)

INTERNATIONAL ICE OBSERVATION AND ICE PATROL SERVICE IN THE NORTH ATLANTIC OCEAN.

Bulletins 1914-1932.

JACOBSEN (J. P.).

Contribution to the Hydrography of the North Atlantic. (The Danish Dana Exp. 1920-1922, Londres, 1929.)

KÖPPEN et WEGENER.

Die Klimate der geologischen Vorzeit. (Berlin, 1924.)

KNUDSEN (M.).

Bulletin hydrographique du Conseil international pour l'Exploration de la mer de 1902 à 1933. (44 volumes.)

KRUMMEL (Otto).

Handbùch der Ozeanographie. (Stuttgart, 1907-1911.)

LALLEMAND (Ch.) et PRÉVOT (E.).

Variations lentes du niveau moyen de la mer sur le littoral français. (C. R. Ac. Sc. Paris, t. 188, p. 1345, 27 mai 1929.)

LE GALL (Jean).

Croisière à bord du garde-pêche *Sentinelle*. (Rapp. P. V. Cons. Int. Expl. mer, vol. LXII, rapp. Atl., 1928.)

Travaux à la mer du Laboratoire de Boulogne. (Rapp. P. V. Cons. Int. Expl. mer, vol. LXX, rapp. Atl., 1929.)

Remarques hydrologiques (croisières du navire *Estafette*). [Rapp. P. V. Cons. Int. Expl. mer, vol. LXXXIV, rapp. Atl., 1931.]

LJUNGMANN (A. W.).

Bidrag till lösningen af fragen om de stora sillfiskenas sekularä periodicitet. (Nordisk Tidskr, f. Fisk, 1879, Copenhagen.)

LUMBY (J. R.).

A note on the water movements in the English Channel and neighbouring seas, considered on the basis of salinity distribution. (*Journ. M. B. A.*, Plymouth, vol. XIII, n° 3, 1925.)

The salinity and temperature of the southern north sea and english channel during the period 1920-1921. (Cons. Int. Expl. Mer, Publ. circ., n° 80, 1923.)

MATTHEWS (D. J.).

Physical conditions of the English Channel. 1st Report 1902-1903. (Intern. Invest., M. B. A. Cd., 2670.)

2d report 1904-1905, Part. I, Cd. 3837.

2d report 1904-1905, Part. II, Cd. 4641.

3d report 1906-1908, Cd. 5546.

Fisheries Ireland Sc. Crust., 1913, IV. 1914.

Observations of temperature and salinity made in 1929 on the Rockall Bank and west of Ireland by H. M. Surveying ships «*Ormonde*» and «*Rosemary*». (Rapp. P.V. Cons. Int. Expl. mer, LXX, rapp. Atl., 1929.)

The influence of tidal movements on the thermal layers in the approaches to the English Channel. (*Loc. cit.*)

MILANKOVITCH.

Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire. (Paris, 1920.)

NANSEN (Fridjof).

The waters of the north eastern north atlantic. (*Rev. d. gesamt. Hydrob. u. Hydrogr.*, Leipzig, 1913.)

NEUPARTH A. (Amiral).

Note sur les fluctuations de la pêche du thon (*Thunnus thynnus* L.) sur la côte sud du Portugal. (Rapp. Atlantique, 1923, rapp. P. V. Cons. Int. Exp. mer, XXXV.)

NIELSEN (J. N.).

The influence of the outflowing Mediterranean water on the Atlantic Ocean. (Rep. Danish Oceanog. Exp. 1908-1910 to Med. and adjac. seas Copenhagen, 1912.)
Golfstrommen. (*Geogr. Tidskr.* 28 B. Hft., 1, 1925.)

PETTERSSON (Otto).

Études sur les mouvements internes dans la mer et dans l'air. (Ur Svenska Hydr. biol. Komm. Skr., VI.)
Der Golfstrom und der Atlantische Strom. (Svensk. Hydr. biol. Komm. Skr. N. S. Hydr., IV, n° 4.)
Aperçu d'orientation vers la conception actuelle de la circulation océanique dans l'Atlantique. (Svensk. Hydr. biol. Komm. Skr. N. S. Hydr., V, n° 5.)
The tidal force. (*Geogr. Annaler.*, 1930, II. 4.)

RAMALHO (Alfredo).

(Avec L. DETINHO). Remarques sur les conditions hydrologiques au large de la côte de Portugal en 1927. (Rapp. Atl. 1927; rapp. P. V. Cons. Int. Exp. Mer, vol. LV.)
(Avec L. DETINHO). Contribution à l'étude océanographique du golfe de Gibraltar. (Rapp. Atl., 1929, rapp. P. V. Cons. Int. Exp. Mer, vol. LXX.)

RIVERA (Victoriano).

El Gulf Stream y las transgresiones atlanticas. (Real Soc. esp. de Inst. Nat., V, 1, Madrid, 1930.)

SANDSTROM (J. W.).

The Hydrodynamics of Canadian Atlantic waters. (Can. Fish. Exp., 1914, Ottawa, 1918.)
Deux théorèmes fondamentaux de la dynamique de la mer. (Ur Svenska Hydr. Biol. Komm. Skr., VI, Göteborg, 1921.)

SCHMIDT (Johs.).

Oceanographical expedition of the Dana 1928-1930. (*Nature*, mars 1931.)

SCHOTT (G.).

Geographie des Atlantischen Ozeans, 1914, Hambourg.
Die Wasserbewegungen in dem Gebiete der Gibraltarsstrasse. (*Annalen der Hydrogr. u. Marit. Meteorolog.*, mars 1928.)
Idem. (Rapp. Atl. 1927, Rapp. P. V. Cons. Int. Exp. mer, vol. LV.)
Die Verteilung des Salzgehaltes im Oberflächenwasser der Ozeane. (*Ann. Hydr. u. Mar. Hydr.*, LVI, 1928, Hft. 5.)

SCHULZ (Bruno).

Die Hydrographie des Barents meeres. (*Journ. Cons. Int. Exp. mer*, vol. V, n° 3, 1930.)

STORROW (B.).

Report Dove Marine Laboratory 1922.
Concerning fluctuations in marine food fishes. (*Cambridge Journ. of an. biology*, I, n° 2, 1932.)
Changes in weather and climate during the salmon's history (Salm. and Trout Mag., Manchester, 1932.)

THOMSEN (Helge).

Oxygen in the tropical pacific. (*Nature*, mars 1931.)

VALLAUX (Camille).

Géographie générale des mers. (Paris, Alcan, 1933.)

WATTENBERG (H.).

Die Durchlüftung des Atlantischen Ozeans. (*Journ. Cons. Int. Expl. mer*, vol. VI, n° 1, p. 58.)

WEGENER.

Cf. Köppen.

WUST (G.).

Der Ursprung der Atlantischen Tiefenwässer. (*Z. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin. Jubiläumssonderband*, 1928, p. 506.)
