

SCIENCES D'AUJOURD'HUI
COLLECTION DIRIGÉE PAR ANDRÉ GEORGE

ED. LE DANOIS

Docteur ès-sciences.

Directeur de l'Office Scientifique et Technique des Pêches Maritimes.

L'ATLANTIQUE

HISTOIRE ET VIE D'UN OCÉAN

SERVICE CENTRAL HYDROGRAPHIQUE
ÉCOLE D'APPLICATION

ÉDITIONS
ALBIN MICHEL

22, rue Huyghens, 22

PARIS

IL A ÉTÉ TIRÉ DE CET OUVRAGE :

20 EXEMPLAIRES

SUR VÉLIN DE RIVES

NOMINATIFS

HORS COMMERCE

**Droits de traduction, de reproduction et d'adaptation
réservés pour tous les pays.**

Copyright 1938, by ALBIN MICHEL.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
PRÉFACE	9
INTRODUCTION : <i>La Découverte de l'Atlantique</i>	11
A. L'époque des légendes et des traditions	12
B. L'époque des navigateurs et des découvertes géographiques	15
C. L'époque des océanographes et des croisières scientifiques	18
D. L'époque des techniciens et des recherches méthodiques	26

PREMIÈRE PARTIE

STRUCTURE ET PALÉO-OCÉANOGRAPHIE

CHAPITRE PREMIER. — <i>La morphologie du relief sous-marin et la structure générale de l'Atlantique</i>	43
La technique des sondages ; le relief sous-marin ; limites de l'Atlantique ; structure générale.	
CHAPITRE II. — <i>La paléo-océanographie de l'Atlantique</i>	61
La formation continentale ; la théorie de Wegener ; les premiers plissements : la Tethys ; les ponts continentaux ; le géosynclinal atlantique.	
CHAPITRE III. — <i>Paléo-océanographie et structure de quelques régions de l'Atlantique</i>	78
Les mers du bouclier scandinave ; le plateau franco-britannique ; le golfe de Gascogne ; la région ibéro-africaine ; la Méditerranée et ses tributaires ; la zone du bouclier canadien ; la mer des Antilles ; la mer des Antilles du Sud.	

DEUXIÈME PARTIE
LA CIRCULATION OCÉANIQUE

- CHAPITRE PREMIER. — *Les Eaux atlantiques* 129
 La technique hydrologique ; températures, salinités et oxygène ;
 principe de l'immixibilité des eaux ; origine des eaux atlanti-
 ques ; troposphère et stratosphère océaniques ; classification
 des eaux atlantiques.
- CHAPITRE II. — *La circulation océanique : les transgressionsatlan-
 tiques et les courants marins.* 150
 Les transgressions atlantiques ; stabilisation hivernale (règres-
 sion) ; extension estivale (transgression) ; mécanisme des
 transgressions ; causes et périodicité des transgressions ; les
 courants marins ; courants des fronts polaires ; courants des
 eaux transgressives ; le Gulf-Stream ou courant de Floride.
- CHAPITRE III. — *Étude des transgressions dans quelques régions de
 l'Atlantique.* 185
 Atlantique occidental ; Atlantique oriental ; Golfe de Gascogne ;
 plateau franco-britannique ; front polaire européen ; front
 polaire américain.

TROISIÈME PARTIE
LES CONSÉQUENCES BIOLOGIQUES

- CHAPITRE PREMIER. — *Remarques générales et technique biologique.* 229
 Benthos, plankton et necton ; facies bionomiques ; facies hydro-
 logiques ; sténothermie ; migrations des poissons ; ichthyo-
 métrie ; marquage ; outillage biologique.
- CHAPITRE II. — *Influence des transgressions sur la biologie et la
 pêche.* 246
 Poissons migrateurs et saisonniers : le thon blanc ou germon,
 le thon rouge, le maquereau, le hareng, la sardine ; — Pois-
 sons de fond : la morue, le merlu ; — Poissons anadromes
 et catadromes : le saumon, l'anguille.

PREFACE

A la limite du domaine terrestre où les hommes abritent leur illusoire sécurité, s'étend une énorme plaine liquide, plus infranchissable que les hautes montagnes, et que son immensité rend indéfinie comme le ciel avec lequel elle se confond dans les lointains horizons. Dans l'Océan, toutes choses nous sont étrangères, souvent hostiles. Quand il est calme dans la luminosité de son miroir tropical, il condamne au supplice de la soif l'homme confiant que ne peut désaltérer son eau imbuvable ; quand, dans ses colères, il se rue à l'assaut des rivages continentaux, la mort et le désastre chevauchent les crêtes de ses lames furieuses qui semblent désirer ensevelir dans leur mouvant linceul les terres et les civilisations : aux premiers âges, l'Humanité fut fascinée par l'Océan, toujours changeant, toujours immuable, et le peupla de monstres, symboles de ses périls, et de divinités gracieuses et féminines évoquant son pouvoir de créer la vie, puis, avec son audace habituelle, en commença la conquête, tirant des eaux fécondes une nourriture inépuisable et transformant la barrière primitive en la plus grande des routes, la route de toutes les nations.

Délivrées des superstitions et des croyances médiévales, les sciences modernes ont remplacé par des problèmes positifs la confusion des terreurs et des mystères antiques : mais loin de

restreindre la conception du monde océanique, elles en ont augmenté la grandeur en révélant des profondeurs insoupçonnées et en remontant à la lumière du jour des formes vivantes d'une incomparable étrangeté.

Les hydrographes et les géologues ont approfondi le lit de la Mer Océane et retrouvé la trace de cataclysmes tellement puissants qu'auprès d'eux la tradition du Déluge fait figure de fable puérile. La tectonique par sa force inductive permet non seulement de reconstituer le passé; mais d'envisager l'avenir et de soutenir des hypothèses raisonnables sur la formation de continents futurs qui émergeront peut-être alors que les hommes ne seront plus là pour les peupler. L'océanographie physique a montré le complexe infini des eaux marines; elle précise l'individualité des diverses masses liquides qui s'affrontent, se combattent et conquièrent à tour de rôle une hégémonie temporaire et périodique. Dépassant la localisation planétaire, l'hydrologie se hausse vers le monde astral et se rattache par son amplitude à l'universalité des lois cosmiques. Les êtres vivants contenus au sein des eaux océaniques se révèlent les inconscients esclaves de ces forces lointaines: les apparentes initiatives de la faune marine, les migrations des poissons se traduisent comme les conséquences immédiates des variations de leur milieu thermique et salin.

L'Océan, malgré la diversité des sciences et des méthodes qui lui arrachent ses secrets, garde son Unité. Dépassant la puissance que les mythologies confèrent à Oannès, à Neptune ou à Poseidon, il étend sur la plus grande partie de la Terre un empire que morcellent à peine les terres émergées. C'est un des fragments de cet empire, l'Atlantique, que nous avons pris comme sujet de cet ouvrage, et nous aidant des différentes branches de la connaissance humaine, nous essaierons de retracer son histoire et d'interpréter sa vie.

Paris, le 1^{er} août 1938.

INTRODUCTION

LA DECOUVERTE DE L'ATLANTIQUE

L'histoire de la découverte de l'Océan Atlantique est parallèle à l'histoire de la civilisation. Elle sort des légendes et des traditions confuses pour entrer dans les données précises des géographes ; puis plus tard, au XIX^e siècle, créateur des sciences exactes, la découverte géographique fait place à des recherches qui permettent d'étudier la nature même de l'Océan qui, jusque-là, n'avait servi que de chemin aux navigateurs découvreurs de terres. C'est l'aurore de l'Océanographie ; un monde sous-marin se révèle aux savants étonnés par l'étrange multiplicité des formes abyssales. Au début du XX^e siècle, on réclame de la Science nouvelle des applications pratiques, et pour répondre aux demandes des armateurs et des pêcheurs, se crée une technique susceptible de mettre au point les problèmes économiques qui les intéressent directement.

Ainsi, la découverte de l'Atlantique se divise en quatre périodes d'inégale importance du point de vue scientifique :

- a) L'époque des légendes et des traditions ;
- b) L'époque des navigateurs et des découvertes géographiques ;

- c) L'époque des océanographes et des croisières scientifiques ;
- d) L'époque des techniciens et des recherches méthodiques.

A. — L'ÉPOQUE DES LÉGENDES ET DES TRADITIONS

Aux diverses époques de la préhistoire, les hommes primitifs osèrent se hasarder sur les flots, entourant leur cœur de la triple cuirasse d'airain qu'attribue le poète Horace au premier navigateur. Les chasseurs de rennes durent construire des kaïaks semblables à ceux des Esquimaux actuels à l'aide de peaux de phoques soigneusement ajustées et ces fragiles embarcations furent souvent mises en péril par les icebergs détachés des grands glaciers qui couvraient alors l'Europe occidentale. Leurs engins de pêche ressemblaient à ceux des Lapons, des Samoyèdes et des Kamtchadales ; l'os du renne servait à la fabrication de harpon, et les arêtes des poissons fournissaient des hameçons acérés.

La race africaine utilisait des pirogues, comparables à celles des Polynésiens : l'endurance des nombreux rameurs permettait des excursions lointaines vers des archipels maintenant disparus. Les ethnographes et les anthropologistes tiennent rarement compte de ce fait que les populations primitives connaissent l'art de naviguer et, pour expliquer certaines migrations, ils se croient obligés de faire surgir de la mer d'hypothétiques continents, pour servir de passage aux tribus en marche. Ils ont pourtant sous les yeux l'exemple de l'Océanie dont le peuplement s'est effectué peu à peu, d'île en île, par la voie maritime.

Tandis que les chasseurs de rennes paléolithiques remontaient vers le Nord, en suivant le retrait du grand glacier, pour se localiser dans les régions qu'ils habitent encore, la race

méditerranéenne, sortie d'Afrique, s'étendait sur toute l'Europe et s'y établissait fortement. Cette race fournit les populations que les anciens auteurs qualifiaient d'autochtones : Lybiens d'Égypte, Cariens d'Asie Mineure, Pélasges de Grèce, Sicules d'Italie, Ligures de Gaule, Ibères de la Péninsule, Gétules, Garamantes de l'Afrique du Nord, et Atlantes. Tous ces gens furent de grands navigateurs et il est probable qu'on leur doit la découverte de la voile. Le prêtre de Saïs dit à Solon que la flotte des Atlantes était considérable ; ces robustes marins ne craignaient point de traverser la Méditerranée dans sa longueur pour faire des incursions en Égypte et dans l'Helade. Plus tard, une tribu des Pelasges, les Tyrrhènes, ayant fondé en se mêlant à des peuples venus de la Rhétie l'Empire Étrusque, organisa le commerce et la piraterie dans toute la Méditerranée occidentale. Dans le courant du deuxième millénaire avant notre ère, la navigation méditerranéenne était devenue si intense que le grand empire de Ramsès II faillit tomber sous les attaques des Peuples de la mer, Poulousati ou Philistins, Schakalassas ou Sicules, Dardiens, Lyciens, etc.

De nouvelles races, venues d'Asie, devinrent rapidement les émules des anciens peuples méditerranéens. A l'Empire Hittite, on doit la mémorable croisière de Jason et des Argonautes ; peu après, le divin Homère enrichissait l'épopée achéenne du récit du voyage d'Ulysse.

C'est vers l'an 600 avant J.-C. que devraient se placer les exploits des navigateurs phéniciens qui, par ordre du Pharaon Nechao II, auraient accompli le fabuleux voyage autour de l'Afrique, et qui, partis par la mer Erythrée, seraient revenus trois ans après en passant les colonnes d'Hercule, mais Hérodote lui-même ajoute peu de foi à cette extraordinaire aventure.

Il est en tout cas certain que les Phéniciens se risquèrent dans l'Océan Atlantique ; pendant longtemps ils tinrent secrets ces voyages pour ne pas révéler d'où ils tiraient les matières

aussi précieuses que l'étain ou l'ambre jaune. Vers 465 avant J.-C. le Carthaginois Hannon s'avança au large de la côte d'Afrique, probablement jusqu'aux îles Bissagos, qu'il décrivit sous le nom d'îles des Gorilles. Vers le nord, Himilcon découvrit l'Armorique et les fameuses îles Cassitérides. Enfin, le Phocéén Pythéas, vers 325 avant J.-C. reconnut les falaises de craie de la Grande-Bretagne, parcourut la mer du Nord et atteignit la mystérieuse Thulé ou Thyland dans laquelle on a voulu souvent voir les îles Shetland, mais qui paraît, par suite de la présence de l'ambre, être plutôt le Jutland danois. Pythéas pénétra sans doute en Baltique, car il se trouva en rapports commerciaux avec les Guttones, ou Goths, ancêtres des Normands, qui occupaient déjà le sud de la Scandinavie et les côtes de Poméranie.

Peu avant l'ère chrétienne, nous quittons le domaine de la légende pour entrer dans celui de l'histoire, avec les expéditions de César sur les côtes d'Armorique et de Grande-Bretagne.

Du v^e au vii^e siècle une navigation active réunit à l'entrée de la Manche les peuples de langue celtique, Armoricains, Irlandais et Bretons. Puis, au déclin de l'empire de Charlemagne commence l'épopée navale des Normands. Ceux-ci, dans le courant du ix^e et du x^e siècles, se lancent dans les dangers des mers boréales. Avec Erik le Rouge et Leif, ils découvrent la Terre de Glace ou Islande, la Terre Verte ou Groënland, et y fondent des établissements. David Eriksen reconnaît Terre-Neuve, qu'il appelle Marktland, et y fait commerce de fourrures ; il débarque sur le continent américain, d'une part au Labrador, auquel ses solitudes glacées valurent le nom de Helluland ou Terre d'Enfer, et d'autre part, aux environs du Cap Cod, dans le Vinhland ou pays du vin. Les Normands naviguèrent sur les grands lacs et s'aventurèrent jusqu'au bassin du Mississipi, car on a retrouvé des pierres gravées de caractères runiques dans le Minnesota et le Kentucky. Puis,

attirés par d'autres conquêtes, ils oublièrent ces terres lointaines, à l'exception de l'Islande.

Le moyen âge transforma le grand Océan en une région terrifiante, peuplée de monstres fabuleux. Cependant vers le XII^e siècle, les Basques osèrent se lancer sur la Mer Ténébreuse ; en poursuivant les baleines, ils trouvèrent les bancs de Terre-Neuve, nommèrent l'île « Terra Bacalhaos », la terre des morues, et furent bientôt suivis par les Bretons et les Normands. Seule la tradition transmise de capitaine à capitaine permettait de retrouver la direction de ces parages éloignés ; les pêcheurs de morues et les chasseurs de baleines, illettrés, ne pouvaient laisser la trace de leurs découvertes successives. Il fallut attendre le mouvement intellectuel de la Renaissance et l'usage de la boussole pour faire renaître la science géographique, bien oubliée depuis Ptolémée et Strabon.

B. — L'ÉPOQUE DES NAVIGATEURS ET DES DÉCOUVERTES GÉOGRAPHIQUES

Henri de Viséu, le Navigateur, fut au début du XV^e siècle, le promoteur des grandes expéditions qui devaient amener la connaissance géographique des Océans. Pendant quatre cents ans, Portugais, Espagnols, Hollandais, Français et Anglais, rivalisèrent dans cette recherche des terres nouvelles. L'appât de l'or, le goût de l'aventure, les opérations militaires, le désir de fonder des colonies furent, plus que l'esprit de découverte, les mobiles de ces longues croisières. Elles sont trop connues pour nécessiter d'être à nouveau décrites et se terminent avec les derniers voyages du capitaine Cook. Plus tard, les explorations se localisent dans les régions polaires et prennent un caractère nettement scientifique.

Le rôle des géographes fut particulièrement important au

xv^e et au xvi^e siècles. L'astronome Toscanelli, peut-être devancé par Léonard de Vinci, en établissant le principe de la rotondité de la terre, fut l'inspirateur des premiers voyageurs. Certains géographes n'hésitèrent pas à prendre part aux campagnes des navigateurs, tel Martin Behaim, de Nuremberg, qui accompagna comme officier de navigation le Portugais Diego Caô jusqu'à l'embouchure du Congo. Les vieux portulans dressés au retour de chaque voyage, comme celui du Basque Juan de la Cosa, après les découvertes de Colomb, firent bientôt place à de véritables cartes de géographie. Rappelons ici les noms de Diego Ribero (1529), de Gerhardt Kraemer ou Mercator (1569), d'Ortelius (1570), de Kircher (1678) dont les planisphères sont justement célèbres.

Il faut noter qu'au cours des grandes expéditions, certains esprits curieux essayèrent de pénétrer les mystères de ces océans sur lesquels ils naviguaient ; c'est ainsi que le cardinal Nicolas de Cusa (Nicolaüs Cusanus), au milieu du xv^e siècle, inventa un bathymètre qui consistait en une sphère creuse lestée d'un poids assez lourd et attachée à un hameçon ; en touchant le fond, le poids se détachait et la sphère remontait à la surface : l'espace de temps entre le décrochement de l'appareil et la réapparition de la sphère à la surface donnait, d'après un barème établi empiriquement, la profondeur du fond. Cent ans plus tard, Puehler perfectionna cet appareil en y joignant une clepsydre ; l'intervalle de temps entre le décrochement de la sphère et sa réapparition en surface était calculé d'après le volume d'eau qui avait pénétré dans la clepsydre, faite d'un vase d'argile avec un orifice de diamètre calculé.

Peu après, Alberti, puis Robert Hooke en 1667, construisirent également des appareils de sondage mais de faible valeur pratique.

Le premier sondage de grande profondeur semble avoir été opéré par Magellan. Il se servit d'une ligne de sonde de 100 ou 200 brasses de longueur, et n'ayant pas touché le fond dans

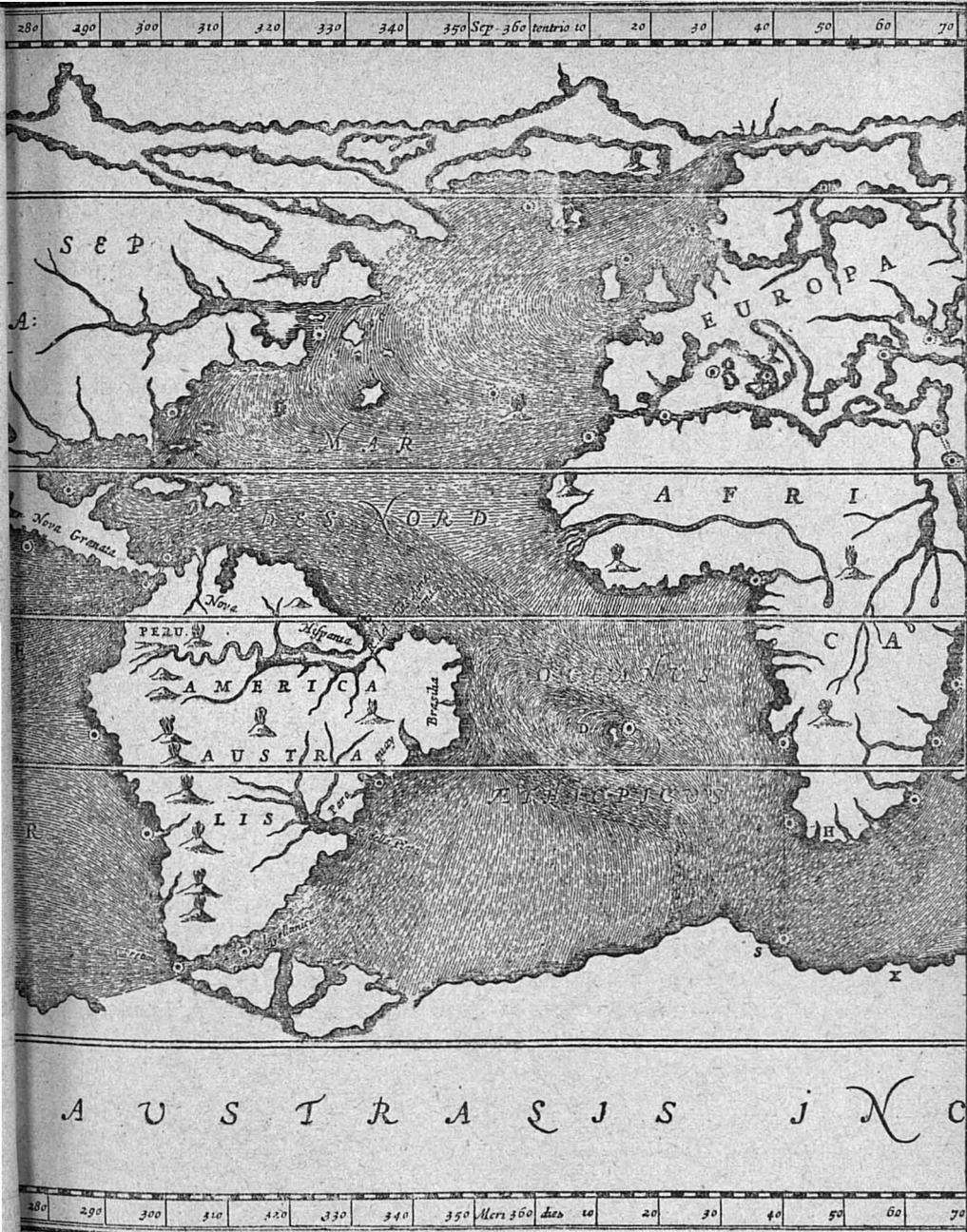


Fig. 1. — Carte d'Althanasius Kircher (1678).

les parages de l'îlot Saint-Paul, il déclara avoir trouvé l'endroit le plus profond de l'Océan.

En 1750, deux Italiens, le comte Marsigli et Donati se livrèrent à de véritables recherches océanographiques ; ils entreprirent les premiers essais de dragages pour obtenir des animaux du fond, sur les côtes de Provence. Marsigli compléta ses études par des observations sur la température et sur la couleur des eaux marines.

Divers modèles de thermomètres furent essayés par Forster, pendant les voyages du capitaine Cook en 1772, puis par de Saussure en 1780. L'usage du thermomètre à minimum et maximum inventé par Six en 1782 se généralisa dès le début du XIX^e siècle.

En 1773, au cours du voyage de lord Mulgrave dans les régions arctiques, le Dr. Irving utilisa un appareil pour récolter des échantillons d'eau aux différentes profondeurs ; cet appareil était accompagné d'un thermomètre. Dans la même expédition, le capitaine Phipps opéra des sondages au delà de 600 brasses et parvint à rapporter un échantillon de vase bleue.

Péron, en 1800, et Scoresby en 1811, recueillirent des échantillons d'eau de profondeur, relativement chaude, au-dessous des couches froides des eaux arctiques, à l'aide de bouteilles isolées et calorifugées.

Ainsi s'établit peu à peu, au cours des grands voyages de découverte, une première technique de l'océanographie.

C. — L'ÉPOQUE DES OCÉANOGRAPHES ET DES CROISIÈRES SCIENTIFIQUES

En 1830, Audouin et Milne-Edwards effectuèrent des dragages méthodiques sur les côtes de France et affirmèrent la

présence de la vie dans les fonds sous-marins. En 1835, le grand naturaliste norvégien Michaël Sars confirmait leurs observations à la suite d'expériences faites en Norvège. En 1839, Edward Forbes fut prié par les corps savants d'Angleterre, d'étudier la distribution de la vie animale suivant les profondeurs. Forbes eut la malencontreuse idée d'effectuer ses expériences en Méditerranée ; dans cette mer pauvre, il constata que la vie animale diminuait rapidement vers les grands fonds et, influencé par le principe alors admis de l'impossibilité de la vie sous de fortes pressions, il déclara qu'au-dessous de 300 brasses il n'y avait plus d'êtres vivants.

Cette déclaration fondamentale ne découragea pas les chercheurs. Sir James Clarke Ross dans son expédition antarctique dragua avec succès au-dessous de 400 brasses et rapporta de nombreux animaux. En 1850, Michaël Sars et son fils, G. O. Sars, publiaient une liste d'une centaine d'espèces recueillies au delà de 450 brasses.

Aux États-Unis, le lieutenant M. F. Maury entreprenait un énorme travail de prospection pour déterminer les profondeurs de l'Atlantique Nord. Il fut aidé dans cette œuvre par l'invention d'un jeune enseigne de la marine américaine, Brooke, qui construisit un appareil de sondage à plomb perdu. Le principe de cet appareil était le suivant : sur une tige métallique était suspendu un boulet perforé, retenu à cette tige par un système de déclanchement : la tige et le boulet descendus au bout d'un fil de sonde se séparaient en atteignant le fond ; le boulet était perdu, mais il était facile d'enregistrer la longueur de fil déroulé. Pour éviter les secousses dues à la houle, Brooke avait adjoint à son appareil un accumulateur ou dynamomètre formé de deux disques de bois reliés par des rubans de caoutchouc. Cet ingénieux instrument permit à Maury de déterminer dans le Nord-Atlantique, à bord des navires *Dolphin* et *Artic*, le tracé des lignes isobathes jusqu'à 4.000 brasses. La première carte fut publiée vers 1859 et mon-

tra assez exactement la présence de deux bassins profonds séparés par une crête médiane, à laquelle fut donné le nom de « Dolphin ridge ».

En 1857, de sensibles améliorations furent apportées à la technique océanographique au cours de la croisière du navire anglais *Cyclops*. Le capitaine Pullen employa pour la première fois un thermomètre construit spécialement pour résister aux fortes pressions et cet appareil fut, peu après, modifié par Negretti et Zambra, qui créèrent le premier thermomètre à renversement ; Pullen avait, d'autre part, perfectionné le sondeur de Brooke en substituant un câble métallique au câble de chanvre précédemment employé ; de plus un dispositif spécial permettait la récolte d'échantillons de fond. Ce sont ces échantillons rapportés par le *Cyclops* qui furent examinés par Huxley, et le naturaliste anglais y découvrit le fameux *Bathybius*, qu'il considéra comme la matière vivante fondamentale, source de toute la vie. Des observations ultérieures devaient prouver que le *Bathybius* n'était qu'un précipité chimique de l'eau de mer dans l'alcool.

La rupture d'un câble télégraphique en Méditerranée à une profondeur de plus de 2.000 mètres, dont les morceaux furent étudiés par Jenkin, prouva l'existence d'êtres vivants à de très grandes profondeurs ; les débris du câble, en effet, étaient couverts de mollusques, de vers, d'hydroïdes, de bryozoaires. Cet événement attira à nouveau l'attention du monde savant sur les conditions de la vie abyssale.

Aussi, entre 1867 et 1870, s'organisèrent les premières expéditions spécialement chargées d'effectuer des dragages pour récolter les formes animales vivant en profondeur.

Wyville-Thomson et Carpenter embarquèrent sur le *Lightning* et recueillirent un très important matériel ; les océanographes anglais examinèrent également dans le chenal des îles Feroë, de chaque côté de la crête qui porte depuis le nom de Wyville-Thomson, la température des eaux et furent frappés

des contrastes présentés par ces températures ; ils en conclurent que « dans la circulation océanique, de grandes masses « d'eaux de températures différentes ne se mélangeaient pas et « permettaient, en moins d'une heure de navigation, de passer « d'un froid extrême à la grande chaleur ». On peut dire que Wyville-Thomson et Carpenter ont défini, en 1868, le principe de l'immixibilité des eaux.

Ces deux savants embarquèrent ensuite, en 1869, sur le *Porcupine* et découvrirent, à l'ouest de l'Irlande, le banc qui porte le nom de ce navire. L'année suivante, Louis Agassiz et Pourtalès effectuaient, pour le service des États-Unis, une croisière de dragages dans le golfe du Mexique. Agassiz établit la parenté entre certaines formes fossiles et des animaux vivant dans le fond des mers, comme les Crinoïdes.

C'est de 1872 à 1876 que se place la grande expédition scientifique du *H. M. S. Challenger*, qui accomplit tout autour du monde un voyage de circumnavigation, parcourant en tous sens les grands océans. A son bord se trouvaient des savants illustres : John Murray, Wyville-Thomson, Carpenter, Buchanan. L'équipement technique du navire avait été étudié avec grand soin ; les sondeurs automatiques de Leblanc et de lord Kelvin, les thermomètres à renversement, des dragues de modèles variés, permirent la récolte d'échantillons et de données physiques et hydrographiques en nombre considérable. Les résultats de cette brillante expédition sont contenus dans cinquante volumes qui, encore maintenant, servent de base à la science océanographique.

Au même moment, le navire allemand *Gazelle*, explora du nord au sud l'Océan Atlantique.

De 1876 à 1880, les navires américains *Gettysburg*, *Blake*, *Albatross*, explorent également l'Atlantique Nord, le golfe du Mexique, la mer Caraïbe. Le capitaine Goringe, commandant le *Gettysburg*, découvre au large du Portugal le banc qui porte soit son nom, soit celui de son navire. Alexander Agassiz

publie les résultats des croisières du *Blake* et de l'*Albatross* et notamment les premières données hydrologiques de la région des Bancs de Terre-Neuve. Entre 1876 et 1878, une expédition norvégienne embarquée sur le *Vöringen* explore les fonds entre la Norvège et le Groënland.

La France, entre 1880 et 1883, arme trois expéditions sur les navires *Romanche*, *Travailleur* et *Talisman*. La *Romanche* découvre en octobre 1883, par 18° W. sur l'équateur, une des fosses les plus profondes de l'Atlantique, qui atteint 7.370 mètres et porte le nom du navire. Les collections recueillies par le *Travailleur* et le *Talisman*, furent systématiquement étudiées par un groupe de savants, sous la direction de A. Milne-Edwards. Elles figurèrent à l'Exposition de 1889 où le public français, pour la première fois, eut la révélation des animaux abyssaux.

Toutes les nations européennes rivalisent de zèle scientifique et arment des expéditions. En 1883 et 1887 se placent les croisières des navires italiens *Washington* et *Vittor Pisani*, qui travaillent en Méditerranée; du navire russe *Vitiaz*, placé sous le commandement de l'amiral Makharoff, qui parcourut l'Atlantique du détroit de Gibraltar au détroit de Magellan.

Buchanan, sur le navire câblé *Dacia*, effectue des sondages systématiques de l'Espagne au golfe de Guinée et découvre le banc nommé d'après ce navire. Mentionnons encore les croisières du *Knight Errant*, du *Triton*, avec Wyville-Thomson, du *Buccaneer*, avec Rattray, de l'*Enterprise*, de la *Medusa*, avec Sir John Murray.

C'est en 1885 qu'apparaît, dans la science océanographique, la grande figure de S. A. S. le Prince Albert I^{er} de Monaco, qui consacra pendant plus de trente années, toute son activité à l'étude de la faune abyssale. Le prince Albert s'entoure d'un état-major de savants, parmi lesquels figurent presque tous les grands noms de l'océanographie française : Richard, Joubin, Koehler, Thoulet, Roule, etc... .

L'outillage océanographique se perfectionne avec la bouille à renversement de Richard, l'emploi de nasses lumineuses pour la capture des animaux de profondeur et de vastes filets pélagiques pour la récolte du plankton. Avec ses yachts *Hirondelle*, *Hirondelle II*, *Princesse Alice*, *Princesse Alice II*, le Prince parcourt l'Atlantique en tous sens, effectue de nombreux relevés du relief sous-marin, particulièrement autour des Açores. Les admirables collections rapportées de ces voyages figurent au Musée Océanographique de Monaco, une de ses fondations.

L'expédition du navire allemand *National* sous la direction de Victor Hensen, est le premier exemple de spécialisation dans les recherches océanographiques. Cette croisière, en effet, fut consacrée uniquement à l'étude du plankton de l'Atlantique Nord (1889).

Pendant huit ans, de 1890 à 1898, le navire autrichien *Pola*, travailla en Méditerranée. A la même époque, le bateau danois *Ingolf*, explore le Nord Atlantique, ayant à son bord le professeur Knudsen.

Une grande expédition allemande, en 1898 et 1899, celle du *Valdivia*, rapporte une magnifique documentation sur l'Atlantique Sud et donne lieu à une série de publications sous la direction de Chun. Un peu plus tard, vers 1903, de nouvelles recherches sont faites par les Allemands à l'aide des navires *Edi*, *Stephan* et *Planet*.

Telles sont les principales expéditions scientifiques qui prennent place de 1830 à 1900, et auxquelles on doit les bases fondamentales de nos connaissances sur l'océanographie de l'Atlantique.

★ ★

C'est auprès de ces expéditions que doivent être mentionnés les voyages d'exploration qui ont été accomplis au Nord et au

Sud de l'Atlantique, dans les régions polaires, arctiques et antarctiques.

Dans le nord de l'Atlantique, les Hollandais et les Anglais avaient, de la fin du xvi^e siècle au début du xix^e, découvert la majorité des terres polaires. Beaucoup d'expéditions avaient eu pour but de rechercher un passage conduisant vers l'Océan Pacifique, soit par le Nord-Ouest, c'est-à-dire en franchissant les archipels de l'Amérique boréale, soit par le Nord-Est, en suivant la côte septentrionale de la Sibérie.

Du côté américain, Parry et John Ross, l'un en 1819, l'autre en 1829, avaient réussi à hiverner au voisinage de la terre Albert I^{er}. La fin malheureuse de Sir John Franklin en 1845, qui disparut avec ses vaisseaux, détermina les nombreuses recherches qui amenèrent enfin la découverte du passage du Nord-Ouest, mais le révélèrent inutilisable commercialement. Du côté sibérien, on doit au Suédois Nordenskjöld d'avoir réussi, en 1883, après hivernage, à passer de l'Atlantique dans le Pacifique par le détroit de Behring. Mais c'est au Norvégien Fridtjof Nansen que l'on doit la découverte océanographique du Pôle. Ayant appris que l'épave du baleinier la *Jeannette*, qui s'était perdu en 1867 près des îles de la nouvelle Sibérie, avait été retrouvée à proximité du Groënland, Nansen conclut que cette épave avait été entraînée par la dérive glaciaire et avait dû passer à un point très voisin du pôle. Il forma le dessein hardi de suivre volontairement la dérive de cette épave avec un navire spécialement construit pour résister à la pression des glaces, le *Fram* ; Nansen, en 1893, se fit prendre par la banquise près de la terre de Wrangel. Trois ans après, il arrivait près du Spitzberg, tandis que le *Fram* semblait écrasé par les glaces ; mais après les trois années de la dérive, Nansen pouvait affirmer l'absence de toute terre au voisinage immédiat du pôle. Par ses sondages, il avait reconnu la présence de la grande cuvette arctique et avait de plus étudié les conditions physico-chimiques de l'Océan polaire.



L'exploration de l'Océan austral et du continent antarctique appartient presque entièrement au XIX^e siècle. Les vieux géographes du XVI^e siècle, en particulier Schöner (1515) et Ortelius (1570) avaient figuré sur leurs cartes au Sud du monde, la Terra Australis Incognita. Ils considéraient que la Terre de Feu était une partie de ce continent, mais au XVII^e et au XVIII^e siècles, l'exploration des archipels des mers australes fit nier l'existence d'un continent polaire. En revenant de son second voyage, le capitaine Cook affirmait qu'il n'y avait aucune terre au Sud du 60° S. Ce n'était point là l'avis du Français Lozier de Bouvet, puisque, lorsqu'il découvrit, sur un navire de la Compagnie des Indes, le 12 janvier 1739, la petite île qui depuis porte son nom, il l'appela Cap Circoncision, croyant avoir affaire à un promontoire de la terre australe. En 1820, Bellingshausen, avec une expédition russe, descendit jusqu'au 70° Sud sans rencontrer de terre ; de même le phoquier Weddell atteignit dans la mer qui porte depuis son nom, le 74° Sud en mer libre. C'est seulement en 1831 que Bellingshausen, revenu dans les mers australes, trouva la terre Alexandre I^{er}, dans l'Antarctide américaine. En 1838, l'amiral français Dumont d'Urville, sur les navires l'*Astrolabe* et la *Zélée*, découvrit le nord-est de la terre de Graham et l'appela terre Louis-Philippe ; il reconnut une île voisine, l'île Joinville. Parti vers l'Est, le même explorateur trouva la terre Adélie, qu'il nomma du nom de sa femme. De 1839 à 1843, Sir James Clarke Ross dirigea l'expédition britannique antarctique, remarquable par ses observations scientifiques. C'est à lui qu'on doit la découverte du vaste golfe appelé depuis mer de Ross, et des deux volcans « *Erebus* » et « *Terror* », ainsi appelés du nom de ses vaisseaux.

Ce n'est qu'en 1897 que pour la première fois un navire hiverna dans les glaces du pôle sud ; ce navire était la

Belgica, conduit par l'explorateur de Gerlache, dans une expédition organisée par le duc d'Orléans. A partir de ce moment, les expéditions se multiplient. Le navire suédois *Antarctic*, avec Otto Nordenskjöld ; le navire allemand *Gauss*, avec Drygalski ; la *Discovery*, avec le capitaine Scott ; le navire écossais *Scotia*, avec Bruce, suivent l'exemple de la *Belgica*.

On doit au commandant Charcot, au moment de cette grande émulation internationale de découvertes, d'avoir organisé dans l'Antarctique deux expéditions sous pavillon français, celle du *Français*, de 1903 à 1905, et celle du *Pourquoi-Pas ?* de 1908 à 1910. De 1907 à 1909, Shackleton à bord du *Nimrod*, hiverna dans l'Antarctique, ainsi qu'en 1911, le navire allemand *Deutschland*. En 1912, le Norvégien Amundsen, après un raid sur le continent antarctique, passait au point géographique du pôle sud, tandis que le capitaine Scott, qui avait tenté une nouvelle expédition, mourait sous sa tente à quelque distance du but.

D. — L'ÉPOQUE DES TECHNICIENS ET DES RECHERCHES MÉTHODIQUES

L'immense documentation recueillie par les grandes croisières scientifiques avait le grave défaut d'être sporadique, car les programmes des expéditions avaient été établis sans aucune liaison entre eux. Certaines régions étaient assez bien connues, mais par contre d'autres zones n'avaient pas été explorées et parmi celles-ci se trouvait l'une des plus importantes du point de vue économique, la mer du Nord ; aussi, dès 1893, pour combler cette lacune, s'établissait, à titre privé, une collaboration entre certains hydrographes des nations scandinaves et de Grande-Bretagne.

D'autre part, l'attention des biologistes fut attirée entre

1884 et 1893, par une abondance extraordinaire du hareng sur les côtes de Norvège et dans le Skagerrak ; ces savants voulurent découvrir la cause de cette « pêche miraculeuse » et par suite définir les migrations périodiques des poissons.

De plus, les progrès de la navigation avaient apporté une très importante modification dans l'industrie de la pêche : l'introduction du chalutage à vapeur. La force de capture des nouveaux chaluts et leur multiplication sur des fonds de pêche assez restreints provoquèrent l'inquiétude justifiée des naturalistes, qui craignirent un appauvrissement rapide de ces fonds en poissons comestibles.

Sur les instances du grand savant suédois Otto Pettersson, âgé maintenant de 90 ans, S. M. le roi Oscar II, roi de Suède et de Norvège, réunit à Stockholm en juin 1899, une conférence à laquelle furent conviés les représentants des nations riveraines de la mer du Nord et de la Baltique. A cette réunion un certain nombre de résolutions furent prises en vue d'établir une étroite collaboration entre les savants des divers pays, d'après un programme déterminé. Une seconde conférence se tint à Christiania en 1901 et les délégués se rendirent compte de la nécessité de grouper définitivement leurs efforts, en constituant un organisme scientifique permanent. Le 22 juillet 1902 était créé à Copenhague le Conseil International permanent pour l'Exploration de la mer. Parmi les savants qui procédèrent à cette mémorable fondation, on peut citer les Professeurs Otto Pettersson pour la Suède, Herwig et Krümmel pour l'Allemagne, Sir d'Arcy W. Thompson et Garstang pour la Grande-Bretagne ; Martin Knudsen, C. G. J. Petersen, et le commandant Drechsel pour le Danemark ; les Professeurs Fridjof Nansen et Johan Hjort pour la Norvège ; O. Nordqvist pour la Finlande ; N. Knipowitsch pour la Russie et P. P. C. Hoek pour les Pays-Bas.

Le Conseil International pour l'Exploration de la mer est une assemblée délibérante formée des délégués des États parti-

cipants, nommés par acte officiel de leurs gouvernements ; ces délégués, deux par pays, pouvant se faire accompagner d'experts sans limitation de nombre. Une commission exécutive instituée au sein du Conseil porte le nom de Bureau Central et son siège est fixé à Copenhague.

En 1903, le gouvernement belge entrait dans le Conseil International, avec les professeurs Hamman et Gilson comme délégués. Le premier président fut le docteur Herwig, auquel succéda en 1908 le délégué britannique W. Archer, puis, en 1912, l'Allemand Rose.

En 1914, l'Allemagne se retira du Conseil International qui, pendant la grande guerre, ne dut sa survivance qu'aux efforts de son fondateur Otto Pettersson. Dès 1920, celui-ci se retira avec modestie de la présidence, au moment où le Conseil prenait une nouvelle vitalité, par suite de l'adhésion de la France. Depuis cette époque et jusqu'à cette année, M. H. G. Maurice, secrétaire des Pêcheries d'Angleterre, a rempli les fonctions de président, dans lesquelles le professeur Hjort vient de lui succéder. Le Conseil International a reçu les adhésions de l'Espagne et du Portugal et l'Allemagne y est à nouveau rentrée en 1927.

Le bureau central comprend actuellement, en plus du président, J. Hjort, quatre vice-présidents : MM. Théodore Tissier (France), Heinrich (Allemagne), M. Knudsen (Danemark), A. T. A. Dobson (Grande-Bretagne).

Le gouvernement danois a récemment offert au Conseil International, comme résidence, le château royal de Charlottentlund.

Depuis 1900 le Conseil International pour l'Exploration de la mer a acquis une force scientifique considérable : tous les gouvernements riverains de l'Atlantique le considèrent comme un conseiller d'une autorité incontestable pour toutes questions concernant l'exploitation rationnelle des richesses de la mer.

Pour mener à bien la réalisation de l'énorme programme de recherches qui lui est dévolu, le Conseil a formé dans son sein un certain nombre de comités qui étudient, soit un problème précis, soit les questions qui intéressent une région déterminée. Les principaux de ces comités sont ceux de l'Atlantique septentrional (Groënland et Islande), de la Mer de Norvège, du Plateau Continental Atlantique (de l'Irlande à l'Équateur), de la Mer du Nord, de la Baltique ; le Comité hydrographique réunit toutes les données numériques fournies par les différents États sur les conditions physico-chimiques de l'eau de mer ; le comité statistique groupe par régions la valeur de production annuelle des différents fonds de pêche ; le comité limnologique porte ses investigations principalement sur le saumon et les autres poissons anadromes.

Les publications du Conseil International représentent une véritable bibliothèque où sont condensés tous les résultats importants acquis en océanographie depuis le début du xx^e siècle (Bulletin hydrographique, Bulletin statistique, Rapports et Procès-verbaux des réunions, Journal du Conseil).

Le Conseil a effectué la mise au point de la technique internationale grâce à laquelle s'est établie une unité parfaite entre les recherches des différentes nations. Il a été l'inspirateur de toutes les croisières entreprises, depuis sa fondation, dans l'Atlantique Nord. En 1934, les savants et techniciens ont pu arriver à formuler des propositions concrètes destinées à remédier à l'appauvrissement des fonds de pêche du plateau continental européen. Ces propositions ont revêtu en 1937 un caractère officiel, par la signature d'une convention à Londres, réglant la dimension des mailles des filets de pêche et la taille marchande minima de certains poissons comestibles. Dix gouvernements de l'Europe septentrionale ont signé cette convention ; la France ne figure pas parmi les signataires, mais le Gouvernement français a promulgué des textes réglementaires pour notre pêche nationale qui sont en plein accord avec les

principes édictés dans la dite convention (Décrets du 1^{er} septembre 1936 et du 2 juin 1937).

★
★★

L'exemple fécond du Conseil International pour l'Exploration de la Mer incita, dès 1914, S. A. S. le Prince Albert I^{er} de Monaco, à grouper en un organisme scientifique international, les nations riveraines de la Méditerranée et de ses tributaires. La grande guerre retarda la réalisation de ce projet mais, en 1919, avec l'aide de l'ex-roi d'Espagne Alphonse XIII, le Prince réunit à Madrid une conférence où furent jetées les bases de la Commission Internationale pour l'exploration scientifique de la mer Méditerranée. A cette réunion, la Principauté de Monaco, la France, l'Espagne, l'Italie, la Grèce, l'Égypte et la Tunisie donnèrent leur adhésion. Le Prince Albert fut le premier président et prit pour secrétaire général, son fidèle et éminent collaborateur, le Dr. J. Richard. Les délégués des États participants établirent immédiatement un programme de recherches et précisèrent les méthodes à employer pour l'exécution de ce programme. A la mort du Prince, le grand savant italien Volterra assura la présidence de la Commission, puis ensuite fut remplacé dans ses fonctions par S. Exc. le Grand Amiral Thaon di Revel, duc de la Mer. En 1924, le Dr. Richard se démit du secrétariat général qui me fut alors confié. De nouveaux pays se sont depuis rattachés à cette Commission Internationale : la Roumanie, la Yougoslavie, la Turquie, la Palestine, la colonie anglaise de Chypre. Le siège de cet organisme scientifique est fixé à Paris, à l'Institut Océanographique, en souvenir de son glorieux fondateur.

Tous les deux ans, une assemblée plénière réunit les délégués, dans une grande ville de l'Europe. La Commission Internationale de la Méditerranée publie régulièrement les Rapports et Procès-verbaux de ses réunions, dans lesquels figurent

des Mémoires confiés à des savants qualifiés sur les principales questions scientifiques qui font l'objet des travaux de la Commission : physique de la mer, recherches acoustiques, chimie marine, géophysique, marées, hydrologie, plankton, pêche du thon, des clupéidés, des crustacés, botanique algologique, faunistique générale, etc... De plus, les espèces animales et végétales de la Méditerranée sont cataloguées sur des fiches établies par des spécialistes et qui constituent déjà une fort belle collection.

*
**

En 1920, les États-Unis, le Canada et la colonie de Terre-Neuve se réunirent pour former une Commission scientifique, imitée du Conseil International pour l'Exploration de la Mer, afin de collaborer dans les recherches intéressant la pêche sur les côtes atlantiques du nouveau continent. La France, par suite des intérêts de la pêche de ses nationaux sur les bancs de Terre-Neuve, entra dans cette assemblée scientifique en 1923. Le Conseil International des Pêcheries de l'Amérique du Nord a, depuis sa fondation, pour président, le professeur H. B. Bigelow, de l'Université de Harvard, et comme secrétaire général le professeur Huntsman, de Toronto. Des recherches méthodiques sont poursuivies par les quatre gouvernements qui composent cette Commission, dans le secteur qui s'étend du Groënland au cap Hatteras et inclut toute l'étendue des bancs de Terre-Neuve, de Nouvelle-Écosse et du golfe du Maine.

*
**

A côté de ces trois conseils internationaux entièrement consacrés à la science océanographique, on doit citer l'Union Internationale de Géodésie et de Géophysique, fondée après la guerre et qui comprend une section d'océanographie. Le bureau hydrographique international de Monaco se rattache à

cette institution et groupe les représentants des services hydrographiques appartenant aux marines de toutes les nations.

Les récents événements d'Espagne ont interrompu dans son développement le Conseil Ibéro-Américain qui devait réunir les nations de la Péninsule ibérique et de l'Amérique latine, en une prospection océanographique de l'Atlantique Sud. Il faut ajouter à la liste des institutions internationales, les deux fondations du Prince Albert I^{er}, l'Institut Océanographique de Paris et le Musée Océanographique de Monaco.



En vue de faire face aux engagements pris par leurs délégués dans les Conseils Internationaux, les différents gouvernements ont organisé des services de recherches qui comportent des laboratoires placés sur les côtes et des navires spécialisés pour les observations en haute mer.

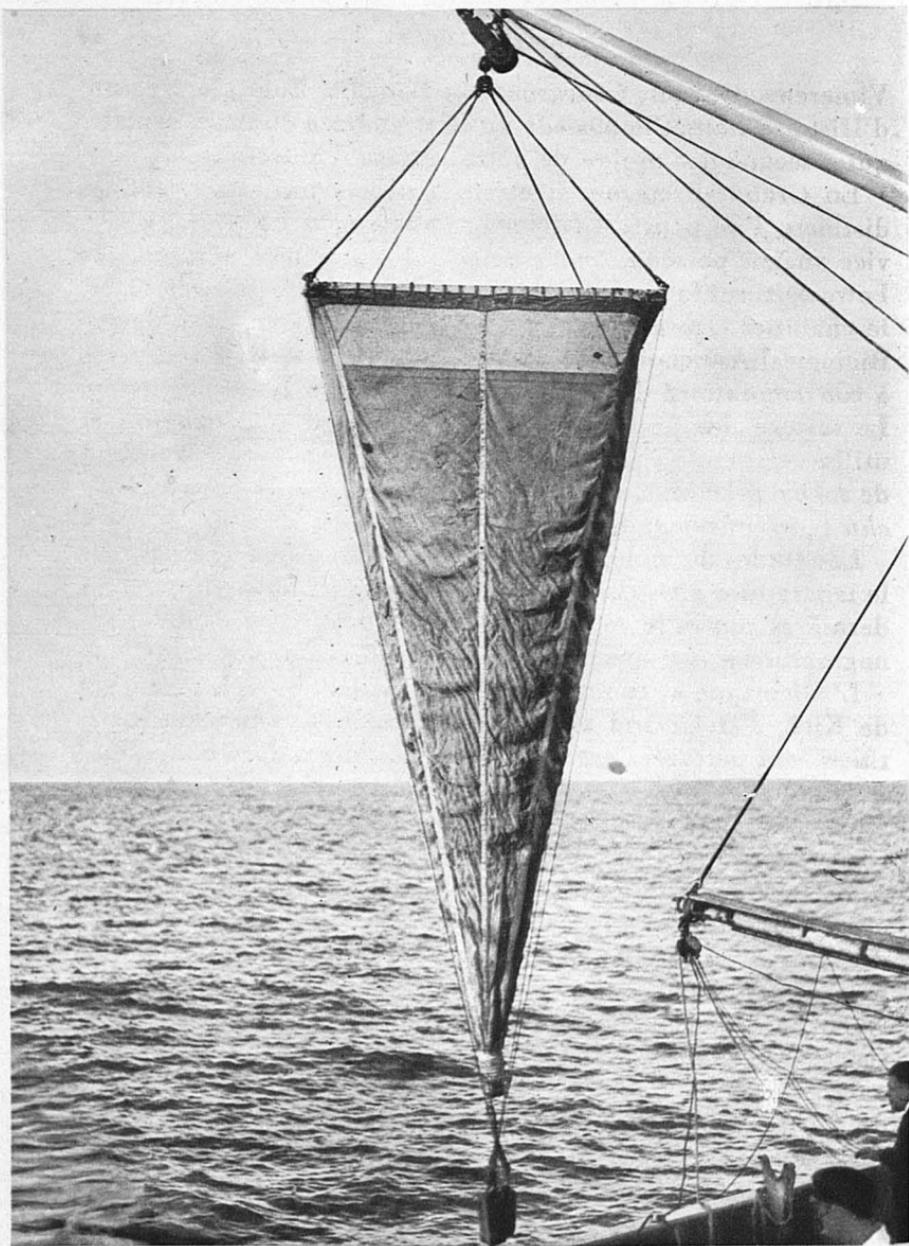
La représentation de la France dans les Conseils Internationaux a été confiée par le gouvernement à l'Office Scientifique et Technique des Pêches maritimes, établissement d'État, fondé par la loi du 31 décembre 1918 et doté de l'autonomie financière. L'Office des Pêches possède sur la côte quatre laboratoires spécialisés dans les études d'océanographie, à Boulogne, Lorient, La Rochelle et Biarritz ; une cinquième station sera bientôt construite à Marseille.

De 1920 à 1928, les chalutiers *Perche* et *Tanche* furent successivement affectés aux études en haute mer et accomplirent de nombreuses croisières. En 1933, l'Office fut doté par le gouvernement d'un excellent navire muni d'un outillage moderne des plus complets, le *Président Théodore Tissier*, (Pl. I).

A côté de l'Office des Pêches, de nombreux laboratoires appartenant aux différentes universités s'occupent également de biologie marine, mais sont plutôt consacrés à des études de science pure. Citons parmi eux les grands laboratoires de



BOUTEILLE A RENVERSEMENT HANSEN



FILET VERTICAL PÉLAGIQUE

Vimereux, Roscoff, Concarneau et Banyuls. Enfin, le Muséum d'Histoire Naturelle possède un laboratoire d'études coloniales qui s'occupe des pêches de notre empire d'outre-mer.

En Grande-Bretagne, il existe deux services des pêcheries distincts, l'un pour l'Angleterre, l'autre pour l'Écosse. Le service anglais possède comme principal laboratoire la station de Lowestoft, sur la mer du Nord, et comme navire de recherches, le chalutier *George Bligh*. Une institution privée, la « Marine Biological Association » collabore avec les services d'État grâce à son laboratoire de Plymouth et au navire *H. M. S. Salpa*. Le service des pêches d'Écosse a son siège à Edimbourg et utilise le chalutier *H. M. S. Explorer*. L'État libre d'Irlande a de même à Dublin, un service spécialisé, avec le navire *Muirchu* (anciennement *Helga*).

Les études de biologie marine en Belgique sont assurées par le laboratoire d'Ostende ; cet établissement employait dans ces dernières années le voilier *Oithona*. Le centre des études océanographiques est, aux Pays-Bas, le laboratoire du Helder.

L'Allemagne a, comme stations principales, les laboratoires de Kiel, d'Helgoland et de Hambourg. Les recherches maritimes sont partagées entre la Deutsches Meeresforschungskommission et la Deutsche Seewarte. Elle possède deux navires, l'ancien yacht *Poséidon* et le voilier mixte *Meteor*, doté d'un remarquable outillage.

Les nations scandinaves ont toujours été à la tête des études océanographiques, auxquelles s'intéresse toute la population des trois États. Au Danemark, il existe une commission nationale appointée par le gouvernement, avec un laboratoire à Nyborg ; de plus une importante firme de brasserie, la Société Carlsberg, a fourni les fonds des expéditions célèbres des navires *Thor* et *Dana*. Ce dernier bâtiment fut coulé en mer du Nord dans un abordage par temps de brume et vient d'être remplacé par le *Dana II*. En Norvège, l'Institut des Pêches de Bergen centralise les recherches maritimes ; l'ancien navire

d'exploration *Michaël Sars* a été remplacé par le voilier *Armauer Hansen*. En Suède, il faut citer le laboratoire de Lysekil avec le vapeur *Skagerrak*. Des observations à la mer sont effectuées autour des côtes d'Islande par le garde-pêche *Aegyrr*.

L'U. R. S. S. n'appartient à aucun des Conseils Internationaux, mais les techniciens russes ont fait preuve dans ces dernières années d'une grande activité en mer de Barentz, dans l'Océan Glacial et en mer Noire. Les recherches dans les mers polaires sont faites à bord de navires brise-glaces dépendant d'une institution, l'« Arctic Institute », à la tête duquel a été placé l'explorateur Otto Schmidt, célèbre par les odyssees du *Tcheliousskine* et du *Sibiriakov*.

Les travaux maritimes ont pris un grand essor en Pologne avec le nouveau port de Gdynia pour centre.

En Portugal existe un excellent laboratoire à l'Aquario Vasco de Gama. Un petit voilier du type de l'*Armauer Hansen*, l'*Albacora*, effectue des croisières sur la côte portugaise et jusqu'aux Açores.

La République espagnole possédait les laboratoires de San Sebastian, de Malaga et de Palma, rattachés à l'Institut Espagnol d'Océanographie, et employait à la mer un navire de guerre désaffecté, le *Xauen*.

En Italie, à côté du Service des Pêches, se place le Comité National Thalassographique, qui dirige les recherches maritimes. Sur la côte se trouvent le laboratoire de Messine, la station internationale de Naples et le laboratoire germano-italien de Rovigno. Les observations dans la lagune de Venise sont assurées par une antique corporation de la Cité : la magistrature de l'Eau.

La Principauté de Monaco dispose d'un petit navire, l'*Eider*, attaché au Musée Océanographique.

L'Université de Belgrade vient de fonder en Adriatique le laboratoire de Split, sur la côte dalmate. Le centre des études marines du gouvernement hellénique se trouve à Athènes. La

Turquie a installé sur le Bosphore un laboratoire pour l'étude des détroits. En Roumanie, les recherches maritimes et fluviales sont étroitement liées, dans toute la région du delta du Danube, où le gouvernement roumain poursuit la réalisation de remarquables travaux pour la développement de la pisciculture.

La Palestine possède un Service des pêches avec un laboratoire à Haïffa. En Égypte, des études sur le Delta et les lacs côtiers, sont poursuivies au laboratoire d'Alexandrie ; un navire fort bien outillé, le *Mahabiss*, a effectué de nombreuses croisières en mer Rouge et en Méditerranée orientale.

La Direction générale des Travaux Publics de la Régence de Tunis a édifié en 1925 un fort beau laboratoire à Salammbô, près de l'ancien port de Carthage.

En Algérie, se trouvent les deux stations biologiques d'Alger et de Castiglione. Les travaux d'océanographie relèvent, au Maroc, de l'Institut Chérifien.

Le Dominion de l'Afrique du Sud a organisé complètement un Service des Pêcheries avec une station expérimentale à Walfish bay.

Du côté américain de l'Atlantique, le Service des Pêcheries du Canada assure des observations régulières à l'aide de ses garde-côtes. L'Université de Toronto entretient un excellent laboratoire à Saint-Andrews (New Brunswick) et l'Université de Québec a fondé sur le Saint-Laurent la station de Trois-Pistoles.

Le gros centre scientifique maritime des États-Unis est placé dans l'énorme laboratoire de Woods'hole (Massachussets). L'ancien navire de recherches *Albatross* a été remplacé par un superbe voilier mixte, tout à fait moderne l'*Atlantis*. On ne saurait oublier de mentionner dans les eaux américaines les observations régulières effectuées sur le banc de Terre-Neuve pour les navires de l'« Ice Patrol Service ». Cette institution a un caractère international et est entretenue par les

gouvernements possédant des lignes de paquebots dans l'Atlantique Nord, en vue d'assurer la sécurité de la navigation dans la zone de dérive des icebergs. Ces observations font l'objet d'une publication régulière, d'une grande valeur du point de vue hydrologique.

En Amérique du Sud, les savants du Brésil, de l'Uruguay et de la République Argentine, ont entrepris d'utiles études faunistiques et dressé notamment la liste des poissons qui fréquentent leurs côtes.

Cet inventaire rapide des Services, laboratoires et navires dont dispose chaque État peut donner un aperçu de l'armature sur laquelle reposent les recherches océanographiques dans l'Océan Atlantique.

*
**

L'influence des grands Conseils internationaux et la collaboration intime qui s'est établie entre les gouvernements pour étudier la mer, ont profondément modifié la forme des croisières de recherches. Chaque navire océanographique étudie maintenant un secteur restreint, en effectuant des sorties fréquentes, de courte durée, en général périodiques. Cette régularité méthodique dans les observations, est certes moins brillante pour les techniciens, que la possibilité des découvertes que pouvaient permettre d'espérer les grandes croisières aventureuses, mais la science marine a gagné en précision par la multiplicité de ces investigations modestes. Cependant, le règne de la technique n'a pas, depuis le début du xx^e siècle, fait disparaître totalement les grandes expéditions scientifiques.

Parmi celles-ci, on doit citer la croisière du *Michaël Sars*, dans le Nord Atlantique, sous la direction scientifique de Sir John Murray et de Johan Hjort. En 1910, le navire norvégien traversa l'Océan, de l'Irlande à Terre-Neuve, puis revint par les Açores et les Canaries, pour remonter ensuite au large

de la côte d'Europe. Les deux savants qui furent les leaders de cette expédition, ont condensé leurs observations dans le remarquable livre, « *The Depths of the Ocean* ».

De 1903 à 1910, les océanographes danois, C. G. J. Petersen et Johannes Schmidt, effectuèrent à bord du navire *Thor*, de multiples croisières dans le Nord Atlantique, en particulier autour de l'Islande, et en Méditerranée. Ce sont les observations pratiquées dans cette mer qui donnèrent à J. Schmidt l'idée de rechercher dans l'Atlantique le lieu de ponte de l'anguille. C'est à ce problème que fut consacrée la célèbre croisière du navire *Dana*, de 1920 à 1922, au cours de laquelle l'océanographe danois précisa la distribution des larves dans l'Atlantique nord et put arriver à situer dans la mer des Sargasses le point de départ des leptocéphales. Quelques années plus tard le navire *Dana* devait parcourir deux fois l'Atlantique, à l'aller et au retour de la croisière autour du monde que Johannes Schmidt effectua pour rechercher les lieux de ponte de l'anguille dans le Pacifique et l'Océan Indien.

De 1912 à 1914 et de 1920 à 1936, le commandant Charcot, à son retour du Pôle Sud, sur son navire le *Pourquoi-Pas ?* accomplit chaque année des croisières dans l'Atlantique boréal, à la terre de Jan Mayen, sur la côte orientale du Groënland, autour de l'Islande. C'est au cours d'un de ces voyages qu'il trouva, en 1936, près de cette dernière île, une mort glorieuse.

Les navires de l'Office des Pêches, *Perche* et *Tanche*, se livrèrent de 1920 à 1928, sous ma direction, à des études méthodiques dans le golfe de Gascogne, au large des côtes d'Espagne et du Portugal, et au sud de l'Irlande. Deux croisières, l'une de la *Perche* en 1920, l'autre de la *Tanche* en 1924, furent consacrées à la Méditerranée et en particulier aux fonds de pêche des côtes d'Algérie et de Tunisie. Le navire *Président Théodore Tissier*, en 1933, travailla autour des Canaries et au large du Maroc ; en 1934, il traversa l'Atlantique, se livra à une prospection méthodique des conditions hydrologiques des

Bancs de Terre-Neuve et fit une courte campagne autour des Iles Britanniques. La croisière de 1935 fut consacrée à la continuation des recherches françaises dans le golfe de Gascogne. En 1936, le *Président Théodore Tissier* explora les fonds de pêche de la côte africaine jusqu'à la Sierra Leone. Dans la même année, le navire reprit ses investigations en mer du Nord.

La croisière allemande du navire *Meteor*, de 1925 à 1927, peut compter parmi les plus belles et les plus productives expéditions scientifiques. Le but de cette croisière était l'étude détaillée de l'Atlantique équatorial et de l'Atlantique austral. Le *Meteor* possédait un outillage des plus remarquables pour les recherches d'hydrologie et de biologie et des appareils de sondage perfectionnés. A son bord se trouvait un état-major de savants, parmi lesquels G. Wüst, l'hydrographe bien connu.

Le *Meteor* pour se livrer à ses observations, traversa quatorze fois l'Atlantique dans sa largeur et chacune de ces traversées a permis d'établir un profil de l'Océan.

Les résultats obtenus par l'expédition ont profondément modifié nos connaissances sur la topographie de l'Atlantique sud ; de nombreux bancs et hauts-fonds ont été découverts, tels par exemple, les bancs du « *Meteor* » et « *Schmidt Ott* », dans les mers australes. Wüst a pu préciser les conditions hydrologiques et la circulation océanique de ces parages, où ces phénomènes avaient jusque-là été fort peu étudiés.

Depuis 1930, les Anglais ont envoyé dans les mers australes un navire de recherches, le *Discovery II*, qui effectue des observations dans la zone fréquentée particulièrement par les compagnies baleinières.

En 1931, le navire américain *Atlantis* se rendit de Copenhague, où il avait été construit, aux États-Unis en traversant l'Atlantique et en pratiquant sur sa route de nombreuses stations océanographiques. Depuis cette époque il se livre à une étude méthodique des conditions hydrologiques dans le triangle

formé par la Nouvelle Écosse, les îles Bermudes et le Cap Hatteras, sous la direction du Dr. Iselin.

Aux croisières qui ont été accomplies par des techniciens, il convient de joindre celles des navires câbliers qui apportent par leurs obligations professionnelles une extraordinaire précision dans les sondages et auxquels on est redevable de la découverte de nombreux hauts-fonds sous-marins. De même, il ne faut pas oublier que la régulière mise à jour des données cartographiques maritimes est due au travail incessant des services hydrographiques des différentes nations. Enfin, les stations navales chargées de faire observer les conventions internationales sont pour les océanographes de précieux éléments de collaboration. La station navale française d'Islande et de la Mer du Nord, avec ses navires *Latouche-Tréville*, *Ibis*, *Quentin Roosevelt*, *Ardent*, *Ailette* ; la station de Terre-Neuve avec les avisos *Cassiopee*, *Regulus*, *Ville d'Ys*, ont apporté une très importante contribution aux recherches océanographiques de l'Atlantique Nord,

PREMIERE PARTIE

STRUCTURE ET PALEO-OCEANOGRAPHIE

CHAPITRE PREMIER

LA MORPHOLOGIE DU RELIEF SOUS-MARIN ET LA STRUCTURE GÉNÉRALE DE L'ATLANTIQUE

La technique des sondages.

Nos connaissances sur le relief sous-marin sont encore des plus imparfaites, malgré les récents perfectionnements des méthodes de sondage. Pendant des siècles, les hydrographes n'avaient à leur disposition que le plomb de sonde lancé du bord, au bout d'un filin noué de brasse en brasse. Cet engin n'était guère utilisable que dans les eaux peu profondes et il est surprenant de constater comment, avec des moyens aussi primitifs, ont pu être établis des relevés cartographiques aussi précis et aussi détaillés que ceux qui, par exemple, ont illustré dans la marine française le nom de l'amiral Beautemps-Beaupré.

Malgré la valeur des observateurs et de leurs calculs astronomiques, il ne fut guère possible cependant de dresser des cartes marines à des profondeurs dépassant 200 mètres. Nous avons noté le progrès accompli grâce au sondeur du midship Brooke qui permit à Maury de tracer la première carte bathymétrique de l'Atlantique Nord. La notion des isobathes était

du reste ancienne et remontait à la carte de Philippe Buache, en 1737.

L'invention des sondeurs automatiques de Leblanc, de lord Kelvin, de Lucas, permit aux océanographes de commencer l'exploration des grandes profondeurs. Mais les opérations de sondage avec ces appareils nécessitaient une mer calme et duraient fort longtemps. L'adaptation de moteurs électriques sur les tourets d'enroulement simplifia un peu la technique ; cependant, un sondage vers 2.000 ou 3.000 mètres durait encore plus d'une heure. Malgré ces difficultés, on était arrivé, avant la guerre, à une connaissance assez parfaite des grandes dénivellations sous-marines et le Prince de Monaco put condenser tous les résultats acquis dans une magnifique publication, la carte générale des Océans. Depuis cette époque, la science hydrographique a été complètement modifiée par deux inventions, le sondage par ultra-son et le sondage par le son. Dans les deux cas, le principe fondamental est le même et consiste à enregistrer l'écho perçu après l'envoi sur le fond d'une onde ultra-sonore ou d'une onde sonore. Les noms de Langevin et de Florisson resteront attachés à la découverte du sondage par l'ultra-son, et le nom de l'ingénieur hydrographe Marti à celle du sondage par les méthodes acoustiques. La description des divers appareils de sondage utilisés actuellement et qui se perfectionnent de jour en jour sort du cadre de ce livre et relève de la technique hydrographique. Les deux méthodes peuvent du reste se conjuguer et c'est ainsi que, grâce à la collaboration de MM. Florisson et Marti, une installation type fut mise au point sur le navire *Président Théodore Tissier*, permettant l'enregistrement automatique des profondeurs obtenues par le son et l'ultra-son. L'émission sonore, pour les faibles profondeurs, est faite à l'aide d'un marteau frappant sur la coque et pour les grandes profondeurs par le choc que fait à la surface de l'eau une balle tirée verticalement à l'aide d'un fusil de guerre. La réflexion de l'onde sonore est essentiellement

variable selon la nature du fond, à tel point que les crochets qui marquent sur les bandes des enregistreurs l'écho des ondes sonores, varient de forme si ces ondes se répercutent sur des vases molles, des fonds durs ou des roches. L'onde sonore émise par détonation peut avoir son écho sur fond dur enregistré à plus de 5.000 mètres de profondeur. On peut enregistrer de même sur un fond basaltique l'écho de l'onde sonore obtenu au marteau, au delà de 2.000 mètres. Les appareils sur le son et l'ultra-son, munis d'enregistreurs continus, fournissent une sonde toutes les cinq secondes, de telle sorte que l'observateur voit se dessiner sous ses yeux le profil du fond au-dessus duquel il navigue. Il est facile de comprendre qu'avec de semblables procédés, l'établissement des cartes sous-marines est singulièrement facilité. Les reliefs sous-marins peuvent être aussi détaillés que les reliefs terrestres, indiquant les moindres accidents de terrain. Aussi, partout où passent maintenant les missions hydrographiques ou océanographiques, obtient-on des relevés qui, à bref délai, permettront par leur juxtaposition d'arriver à une connaissance des plus exactes du fond de la mer. Les appareils de sondage par le son et l'ultra-son sont devenus déjà d'un usage courant, non seulement à bord des navires scientifiques, mais aussi sur les navires de guerre et de commerce. Les principaux types employés sont : le basculeur de Langevin et Thouly et le fathomètre de la Submarine Signal C°. Ces instruments permettent la détection des fonds jusqu'à 200 mètres, profondeur suffisante pour les besoins de la navigation.

Le relief sous-marin.

Les profils du relief sous-marin obtenus par les nouveaux appareils de sondage, permettent de plus en plus de se faire une idée exacte du modelé de ce relief ; or, ce modelé varie

dans sa forme et dans ses caractères suivant deux types : le relief abyssal et le relief continental.

Relief abyssal ou bathypélagique. — Le relief abyssal se présente sur environ 70 % de la surface totale des Océans ; son caractère essentiel est l'uniformité. La plus grande partie du fond des mers est constituée par des plaines bathypélagiques, dont la profondeur varie entre 3.000 et 6.000 mètres. Ces énormes plaines sont en réalité des surfaces courbes, mais leur courbure est plus faible que celle du géoïde. Ce caractère apparaît en général assez mal sur les profils qui sont fournis dans les atlas, du fait qu'ils sont toujours présentés avec une grande exagération des hauteurs par rapport à l'échelle des longueurs.

Les dénivellations dans les plaines bathypélagiques sont extrêmement atténuées et on ne relève guère de pentes ayant plus d'un degré d'inclinaison. On attribue généralement cette uniformité à la sédimentation ; c'est, en effet, dans les grandes profondeurs que s'accumulent les vases d'origine organique ou volcanique. Elle s'explique beaucoup mieux si on admet le principe soutenu par le géographe Em. de Martonne, à savoir que les plaines bathypélagiques constituent un élément du globe très ancien, sinon permanent. Les mouvements qui affectent les plaines bathypélagiques appartiennent à la forme épeïrogénique. Ces mouvements intéressent de grandes étendues dont ils déforment légèrement la surface en modifiant lentement la courbure du géoïde, car il suffit d'un très léger changement de cette courbure pour porter à 3.000 et à 6.000 mètres la profondeur des Océans.

Les variations de profondeur provoquent une sorte de division en compartiments des plaines bathypélagiques. Conformément à la nomenclature sous-marine qui a été préconisée par Em. de Martonne, nous adopterons le terme de « bassin » pour les plaines bathypélagiques de forme allongée

et le nom de « cuvette » pour les plaines à contour circulaire.

Les dénivellations qui déterminent le compartimentage des plaines bathypélagiques ont des formes extrêmement adoucies et s'élèvent des profondeurs avec des pentes insensibles ; elles méritent les noms de « plateaux », de « croupes », ou de

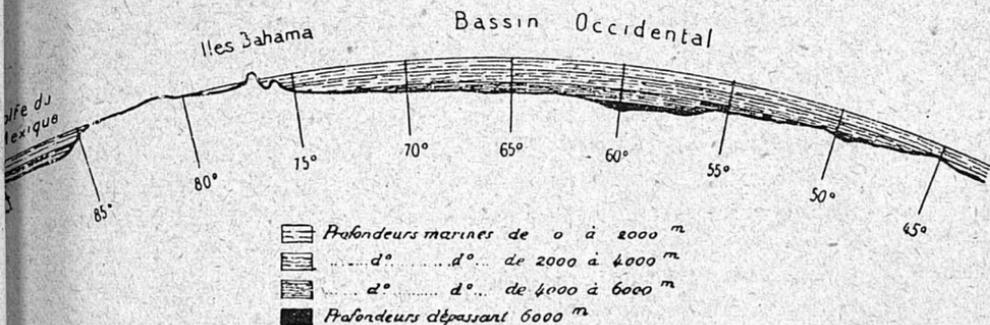


Fig. 2. — Aspect des plaines pélagiques (d'après Em. de Martonne).

« dômes », suivant leurs formes, leurs dimensions, leurs positions ; on peut aussi leur appliquer le terme de « seuils » quand elles marquent une surélévation entre des cuvettes ou des bassins. D'une façon générale, dans l'Atlantique, ces dénivellations se trouvent par plus de 3.500 mètres de fond (2.000 brasses).

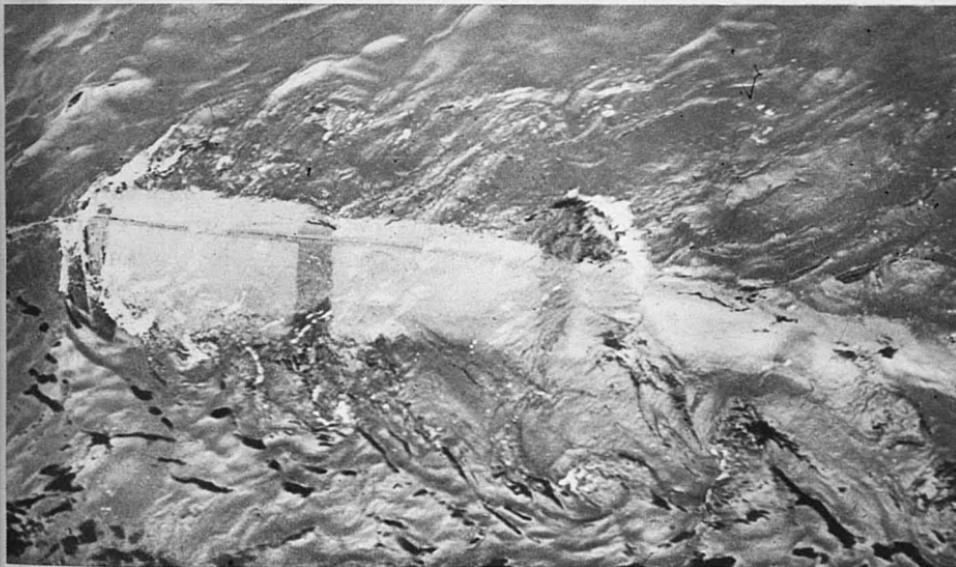
Relief continental. — A l'uniformité du relief bathypélagique s'opposent les accidents de terrain qui constituent le relief continental. Dans celui-ci on ne peut guère faire de distinction entre les parties émergées et leurs dépendances sous-marines. Tout autour des continents, de la zone des marées jusqu'à une profondeur d'environ 200 mètres, se trouve une zone à laquelle on a donné le nom de plate-forme continentale, que les Anglais appellent « shelf ». La largeur de la plate-

forme continentale est essentiellement variable suivant les régions ; elle est très étroite le long des côtes élevées, en particulier auprès des chaînes de montagnes qui bordent la mer ; par contre à proximité des grandes plaines, elle s'étale largement et peut s'étendre à plusieurs centaines de kilomètres vers le large. C'est ainsi qu'au pied des Alpes ou des Pyrénées, le plateau continental a une largeur presque nulle, alors qu'à proximité des plaines de l'Europe septentrionale, du Canada ou de l'Argentine, il couvre d'immenses étendues. Il y a donc continuité entre ce relief et le relief terrestre et par contre il n'y a aucune liaison entre la plate-forme continentale et les plaines bathypélagiques. En effet, vers 200 mètres de profondeur commence une haute falaise qui descend brusquement jusque vers 2.000 mètres.

Dans les régions non volcaniques, la valeur des pentes varie de 5 à 25 degrés, et cette inclinaison relativement faible permet aux vases de se déposer sur les contreforts du talus continental ; c'est pourquoi Murray a donné le nom de « mud line » au bord de la pente qui descend vers les grands fonds. La Mud line correspond de façon presque constante à l'isobathe de 180 mètres (100 brasses) et ne s'enfonce qu'exceptionnellement vers 400 mètres. Le bord du plateau continental est fortement découpé : de véritables promontoires limitent de profonds ravins.

Par suite de la parenté qui existe entre les terres émergées et la plate-forme continentale, il est logique de retrouver sur cette dernière, les diverses formes de relief que nous rencontrons sur les continents.

Les lits des grands fleuves ne s'arrêtent pas à leurs embouchures terrestres ; ils se continuent par des thalwegs sous-marins. Dans les parties de la plate-forme continentale où celle-ci est très étendue, on rencontre de grands bassins fluviaux submergés : les thalwegs des fleuves côtiers se réunissent en profondeur et constituent un cours d'eau principal qui vient



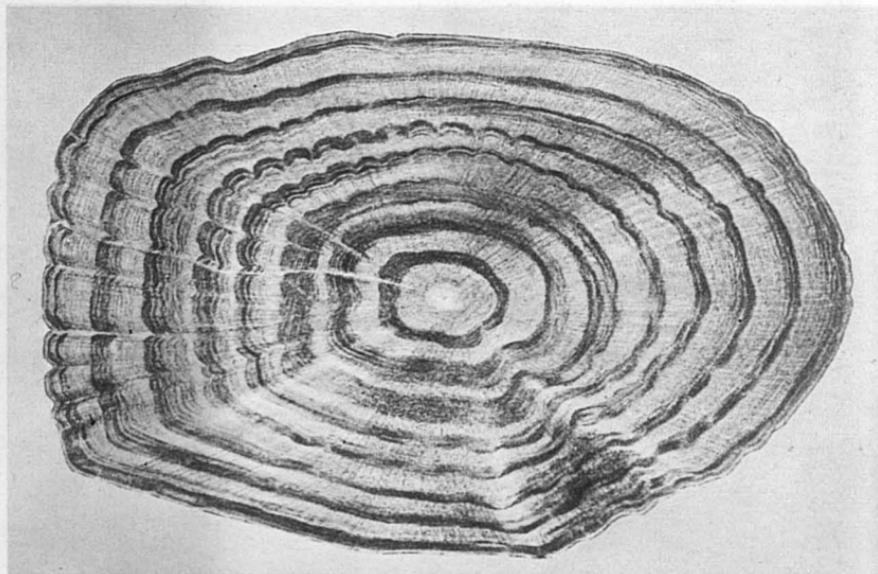
FILET A PLANKTON EN TRAIINE



PETIT CHALUT EN TRAIINE



ÉCAILLE DE HARENG AGÉ DE SIX ANS (d'après M. Léa, d'Oslo)



OTOLITHE DE PLIE AGÉE DE SEPT ANS (d'après Heincke)

PLANCHE IV

- A. Mer de Norvège.
 - B. Bassin de Terre-Neuve.
 - C. Cuvette des Bermudes.
 - D. Cuvette des Guyanes.
 - E. Bassin brésilien.
 - F. Bassin argentin.
 - G. Bassin ibérique.
 - H. Bassin des Canaries.
 - J. Bassin du Cap Verd.
 - K. Bassin de Guinée.
 - L. Bassin du Congo.
 - M. Bassin du Cap.
 - N. Bassin des Agulhas.
 - O. Bassin atlanto-antarctique.
-
- a. Seuil du Spitzberg.
 - b. Seuil Wyville-Thomson.
 - c. Seuil de Terre-Neuve.
 - d. Seuil de Porto-Rico.
 - e. Seuil de Para.
 - f. Chaîne de Rio-Grande.
 - g. Seuil des Sandwichs du Sud.
 - h. Seuil des Açores.
 - j. Seuil du Cap Verd.
 - k. Seuil de Sierra-Leone.
 - l. Seuil de Guinée.
 - m. Chaîne du Damara.
 - n. Seuil du Cap.
 - o. Seuil atlanto-indien.

déboucher seul au bord du talus vers la « mud line ». La plupart du temps l'embouchure de ce grand fleuve a la forme d'un delta dominant un énorme cône de déjection qui s'enfonce en pente douce vers les plaines bathypélagiques. Certains hauts-fonds en bordure du plateau ont pour origine les apports de ces fleuves profonds.

On trouve aussi fréquemment sur les lignes d'anciens rivages

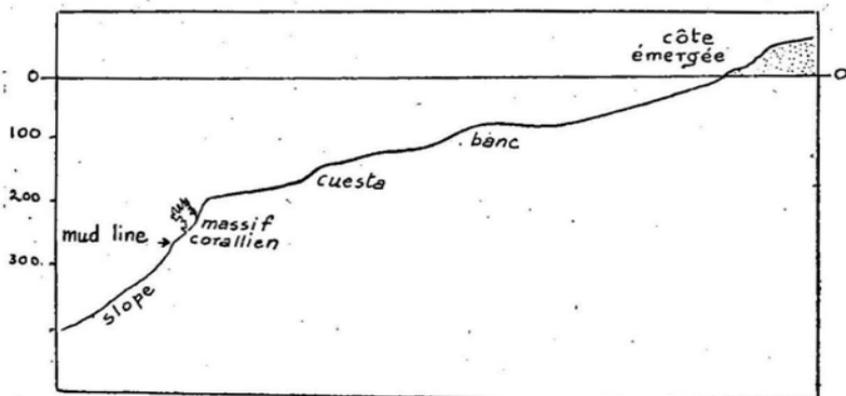


Fig. 3. — Coupe du plateau continental.

la trace d'estuaires de petits fleuves côtiers comparables à ceux des rivières de Bretagne ou de Galice. On nomme « rias » ces formations littorales, en empruntant le terme galicien. Sur les rives des anciens thalwegs on reconnaît des formations en terrasses à bords festonnés absolument analogues aux gradins d'érosion des rivières émergées ; le nom de « cuestas » peut être donné à ces abrupts monoclinaux. Les glaciers ont laissé sur la plate-forme continentale des traces fort nettes de leur passage ; les anciennes vallées glaciaires se distinguent facilement par la disposition de leurs cuvettes étagées, séparées par des seuils surélevés. De même, on peut déterminer d'anciens fjords comparables à ceux de Norvège ; ils se reconnaissent à ce

que leur maximum de profondeur se trouve en arrière du seuil par lequel ils communiquaient avec la mer ; ce caractère les distingue des « rias », dont la pente descend régulièrement vers le large. Les moraines des grands glaciers quaternaires ont laissé leurs vestiges en maints endroits du plateau continental, particulièrement en mer du Nord, où elles constituent de nombreux bancs. On trouve fréquemment dans toutes les mers septentrionales des blocs erratiques qui ont été abandonnés, ou par les glaciers ou par les icebergs qui s'en détachaient.

Le modelé continental est donc fort différent du modelé bathypélagique ; on y trouve de fortes pentes, atteignant et dépassant souvent 30 degrés ; de plus les dénivellations sont beaucoup plus fréquentes et plus brusques que dans le modèle abyssal. Ce modelé continental est en majeure partie soumis aux mouvements orogéniques qui affectent des surfaces restreintes dont la courbure devient supérieure à celle du géoïde.

Crêtes sous-marines et fosses abyssales. — On retrouve en bordure des continents des crêtes sous-marines, de faible largeur, avec de très fortes pentes, fréquemment jalonnées par des volcans. Ces crêtes voisinent le plus souvent avec de très grandes profondeurs, les « fosses océaniques ».

Il faut établir une distinction bien nette entre ces grandes fosses et les plaines bathypélagiques ; les fosses sont caractérisées par leur extrême profondeur toujours supérieure à 7.000 mètres ; leur taille est restreinte ; elles sont extrêmement allongées, leur largeur n'atteignant pas en général le dixième de leur longueur.

Elles présentent une forme arquée, sensiblement parallèle à la courbure des crêtes sous-marines, dont elles sont la bordure. Ce parallélisme des crêtes et des fosses rappelle exactement la situation des grandes montagnes des continents, mais dans les massifs émergés, la fosse a été remplie au moment même de la surrection de la montagne ; ainsi la chaîne de l'Himalaya pré-

sente la courbure caractéristique des crêtes sous-marines et domine l'ancienne fosse indo-gangétique entièrement comblée par des alluvions récentes, dont on n'a pu jusqu'ici contrôler l'épaisseur.

Les volcans qui jalonnent le trajet des crêtes sous-marines présentent, dans l'ensemble du relief océanique les pentes les plus accentuées ; celles-ci peuvent arriver à atteindre 60 degrés. Beaucoup de ces volcans sont émergés et ils constituent la majorité des îles isolées de l'Atlantique, mais il existe en outre un grand nombre de volcans sous-marins, dont l'altitude peut, du reste, varier rapidement comme celle des volcans terrestres. On donne le nom de « Calderas », d'après un terme en usage aux Açores, aux cratères des volcans immergés qui se présentent comme des fosses circulaires.

Après cette nécessaire définition des termes, nous allons examiner la structure générale de l'Océan Atlantique.

Limites de l'Atlantique.

On peut définir l'Océan Atlantique comme une étendue marine ayant les limites suivantes : au nord, le 80° N. et aux hautes latitudes, le 80° W. et le 60° E.

A l'ouest, le continent américain, par toute sa côte orientale ;

A l'est, l'ancien continent par toute sa côte occidentale ;

Au sud, le continent Antarctique, dans le secteur compris entre le 70° W. et le 20° E.

Le terme d'Océan Atlantique, « Mare Atlanticum », a été employé dès l'antiquité. Ce nom venait du peuple des Atlantes qui, d'après Hérodote, habitaient la région du Maroc et de la Mauritanie et tiraient leur appellation de la chaîne de l'Atlas, dont les hauts sommets semblaient supporter la voûte céleste, tel le géant que rencontra Hercule. Ptolémée désignait l'Atlantique comme Mer Occidentale, « Mare Occidentale ».

Les grands voyageurs espagnols de la Renaissance désignèrent l'Atlantique septentrional sous le vocable « Mare del Norte », aussi quand Nunez de Balboa ayant franchi l'isthme de Panama, prit possession de l'Océan Pacifique au nom de S. M. Très Catholique en y plantant l'étendard espagnol, il baptisa sa nouvelle conquête du nom de « Mare del Zur ». Les géographes de cette époque appliquèrent la dénomination de Mer Ethiopique, « Mare Aethiopicum » à la partie méridionale de l'Atlantique par suite de sa proximité des côtes africaines. Cette désignation figure sur les cartes d'Ortelius et de Kircher. Il semble que c'est Mercator qui, en 1569, pour la première fois, employa le nom d'Océan Atlantique, dans l'acception où nous le comprenons aujourd'hui.

Les géographes français, jusqu'au XVIII^e siècle, se servirent plus fréquemment, pour désigner l'Atlantique, du terme de « Mer Océane ».

L'Océan Atlantique comprend de nombreuses mers tributaires, c'est-à-dire des étendues marines qui, tout en appartenant à l'Océan, en sont séparées par des détroits continentaux ou des formations insulaires ou qui présentent, par leur position, un caractère les différenciant de l'étendue générale océanique.

Les principales mers tributaires de l'Océan Atlantique sont : la Mer de Baffin, la Mer de Barentz, la Mer du Nord, la Mer Baltique, la Manche, la Mer d'Irlande, la Mer Celtique, la Mer Méditerranée et ses dépendances, le Golfe du Mexique, la Mer Caraïbe, la Mer de Weddell, la Mer des Antilles du Sud.

Structure générale.

En laissant de côté les mers tributaires, l'Océan Atlantique comprend dans sa structure fondamentale deux énormes plaines bathypélagiques s'étendant du 55° N. au 55° S., l'une orientale,

l'autre occidentale, séparées par une chaîne médiane sur toute la longueur de l'Océan. La grande chaîne atlantique est constituée par des fonds n'excédant pas 4.000 mètres. Elle se divise en trois parties :

- la chaîne Nord-Atlantique,
- le Massif équatorial,
- la chaîne Sud-Atlantique.

Chaîne atlantique. — La chaîne Nord-Atlantique commence au 70° N. par le socle volcanique de la Terre de Jan Mayen, en mer de Norvège. Elle comprend ensuite le dôme de l'Islande, continué par la croupe sous-marine de Rekjanès, orientée du Nord-Est vers le Sud-Ouest. La chaîne forme alors un coude vers le Sud-Est pour reprendre à partir du 50° N. sa direction primitive. Elle s'élargit considérablement tout autour du dôme des Açores jusqu'au 30° N. ; à partir de cette latitude, elle se recourbe à nouveau vers le Sud-Est en s'amincissant et est jalonnée par des sommets dont plusieurs s'élèvent vers 2.200 mètres de profondeur. Elle se termine par un ensellement qui la sépare du Massif équatorial par 8° N. et 37° W.

Le Massif équatorial est de dimensions relativement plus restreintes ; son orientation générale est sensiblement de l'Ouest vers l'Est. Il supporte de nombreux hauts-fonds et, tout près de l'Équateur, l'îlot Saint-Paul. Par 18° W. sur la Ligne, il se termine brusquement en s'escarpant au-dessus de la fosse de la Manche (7.370 mètres) (Pl. II).

Immédiatement à l'Est de cette fosse commence la chaîne Sud-Atlantique. Son orientation est Nord-Sud ; assez étroite entre l'Équateur et le 30° S., elle est jalonnée de hauts-fonds ; dans son axe, se trouve l'île de l'Ascension et, légèrement déportée vers l'Est, l'île de Sainte-Hélène. A partir du 30° S., la chaîne Sud-Atlantique s'élargit fortement autour des îles Tristan da Cunha et Gough. Enfin, elle décrit, à partir du 45° S., une courbure vers l'Est jusqu'au 55° S., où émerge

l'île Bouvet. La chaîne Sud-Atlantique se termine à la même latitude vers le 25° E.

Plaine bathypélagique orientale. — La plaine bathypélagique ou dépression de l'Atlantique Oriental, présente sur toute son immense étendue des profondeurs moyennes de 4.000 à 6.000 mètres. Elle est compartimentée par une série de seuils qui la divisent en bassins.

a) *Bassin ibérique.* — Ce bassin est limité par la crête Nord-Atlantique, le plateau continental franco-britannique et ibérique et, vers le Sud, par la crête sous-marine qui va du Cap Saint-Vincent à Madère, enfin, par un seuil entre Madère et les Açores. C'est de ce bassin que dépendent les grandes profondeurs du Golfe de Gascogne. Vers le Nord-Ouest, il forme un golfe relativement moins profond qui atteint presque l'Islande et au milieu duquel s'élève le plateau de Rockall.

b) *Bassin des Canaries.* — Ce bassin a pour limite Nord le seuil des Açores et pour limite Sud, le seuil du Cap Verd. A l'Ouest et à l'Est, il est bordé par la crête Nord-Atlantique et le plateau continental africain.

Le bassin des Canaries est en réalité double, car il est divisé à partir du Cap Blanc par un seuil incomplet qui rejoint la chaîne Nord-Atlantique. Les profondeurs de la Mer d'Espagne à l'entrée du détroit de Gibraltar se rattachent au bassin des Canaries.

c) *Bassin du Cap Verd.* — Il est limité par le seuil du Cap Verd et le seuil de Sierra Leone. Dans sa partie centrale il présente des profondeurs supérieures à 6.000 mètres, très localisées. Le seuil de Sierra Leone est fort large, car il est en partie constitué par une croupe sous-marine appartenant au Massif équatorial.

d) *Bassin de Guinée.* — Ce bassin s'étend entre les seuils de Sierra Leone et de Guinée. Il comprend deux fortes dépressions, occidentale et orientale, séparées par un seuil secondaire.

La cuvette occidentale est en liaison avec la grande dépression de l'Atlantique Occidental par le détroit formé par la fosse de la Romanche.

e) *Bassin du Congo*. — Le bassin du Congo est limité au Nord par le seuil de Guinée et au Sud par une chaîne sous-marine qui relie la chaîne Sud-Atlantique au plateau continental africain, la chaîne de Walfisch bay ou du Damara.

f) *Bassin du Cap*. — Le bassin du Cap est limité au Nord par la chaîne du Damara et au Sud par le seuil du Cap. Ce seuil est marqué par le banc du Meteor qui se rattache à la chaîne Sud-Atlantique et par le banc Schmidt Ott.

g) *Bassin des Agulhas*. — Il s'étend au Sud de l'Afrique, entre le seuil du Cap et le seuil atlanto-indien. Ce dernier seuil continue dans les profondeurs de la chaîne sud-atlantique jusqu'au socle des îles Marion et Crozet. Il sépare le bassin des Agulhas de la grande dépression polaire.

Plaine bathypélagique occidentale. — La plaine bathypélagique ou dépression de l'Atlantique Occidental a une profondeur moyenne variant de 4.000 à 6.000 mètres, mais comporte quelques zones atteignant 7.000 mètres et deux fosses océaniques dépassant 8.000 mètres. Elle est compartimentée en bassins, mais de plus large étendue que ceux de l'Atlantique Oriental.

a) *Bassin de Terre-Neuve*. — Ce bassin est bordé vers l'Ouest par les bancs de Terre-Neuve et à l'Est par la chaîne Nord-Atlantique. Presque au centre s'élève le banc Milne à l'extrémité d'un promontoire sous-marin détaché de cette chaîne. Vers le Nord-Ouest, le bassin de Terre-Neuve forme un golfe de moindre profondeur (de 2.000 à 4.000 mètres), le Golfe du Labrador, qui s'avance dans la direction du détroit de Davis. Au Sud, se trouve le seuil de Terre-Neuve, assez mal défini hormis la présence d'un haut-fond vers 3.000 mètres.

b) *Bassin Nord-Américain.* — Ce bassin est le plus vaste de tout l'Atlantique et l'un des plus profonds. Son bord occidental suit le plateau continental de la Nouvelle-Écosse et des États-Unis, des îles Bahamas, des Antilles et des Guyanes et il s'étend du 40° au 5° N. Il peut être divisé en deux bassins par un seuil incomplet, dirigé de l'Est à l'Ouest par le 20° N., le seuil de Porto Rico. On aurait ainsi deux cuvettes, la cuvette des Bermudes et la cuvette des Guyanes.

La cuvette des Bermudes présente dans son centre deux zones très profondes dépassant 6.300 mètres. Ce sont les vallées abyssales de Nares. Ces vallées sont dominées vers l'Ouest par le plateau des Bermudes au milieu duquel émergent les îlots coralliens de cet archipel. Ce plateau est relié au continent américain par un seuil légèrement surélevé. Au Sud, se creuse une fosse océanique, une des plus profondes de l'Atlantique, la fosse de Porto Rico, à l'extrémité ouest du seuil du même nom. La cuvette des Guyanes commence au seuil de Porto Rico et se termine au seuil de Para ; celui-ci est extrêmement large et unit la côte brésilienne au Massif équatorial.

c) *Bassin brésilien.* — Le bassin brésilien est également très vaste avec quelques vallées abyssales très restreintes dépassant 6.000 mètres. Les îlots de Trinidad et de Martin-Vaz déterminent une sorte de seuil qui coupe le bassin en deux parties inégales.

La cuvette Nord-brésilienne du côté du seuil de Para est dominée par l'îlot corallien de Las Rocas et l'îlot volcanique de Fernando Noronha ; elle est en communication, par le détroit de la fosse de la Romanche, avec le bassin de Guinée, de la dépression orientale. Le bassin brésilien est limité au sud par la chaîne du Rio Grande qui unit le plateau continental, très large, de Rio de Janeiro à la chaîne sud-atlantique. Sur cette chaîne se trouve un dôme sous-marin dont les sommets s'élèvent à 600 et 700 mètres de profondeur.

d) *Bassin Argentin.* — Le bassin argentin est limité par la

chaîne du Rio Grande au Nord, par le plateau continental des îles Malouines vers l'Ouest. Au Sud, il est bordé par la crête des Antilles du Sud et le seuil des Sandwich. Le bassin argentin présente sa plus grande profondeur dans la vallée abyssale de Ross, qui dépasse 6.200 mètres. La fosse océanique des Sandwich du Sud, la plus profonde de l'Atlantique, car elle atteint 8.700 mètres, met en communication le bassin argentin avec la grande dépression polaire.

Régions polaires. — A cette description, il convient d'ajouter les deux bassins par lesquels l'Océan Atlantique s'unit aux deux Océans polaires, au Nord et au Sud.

La liaison avec l'Océan Glacial arctique se fait par la cuvette de la Mer de Norvège ; celle-ci n'atteint point les profondeurs de 4.000 mètres caractéristiques des grandes plaines pélagiques. Mais, par sa position et son caractère, elle appartient cependant au vaste système des dépressions abyssales qui unissent le bassin arctique au grand océan austral.

La cuvette norvégienne est limitée au Nord par le seuil qui joint le Groënland au Spitzberg (Svalbard) ; à l'Ouest, par le plateau continental groënlandais, à l'Est par les hauts-fonds de la Mer de Barentz et le plateau continental norvégien et, au Sud, par le célèbre seuil Wyville-Thomson qui réunit le Groënland aux îles Britanniques. Ce seuil, extrêmement surélevé, est jalonné par les dômes volcaniques de l'Islande et des Feroë. Les profondeurs maxima de la Mer de Norvège ne dépassent pas 3.500 mètres ; un socle restreint supporte, dans la partie occidentale de la cuvette, l'île de Jan Mayen, avec son volcan, le Behrenberg.

Du côté antarctique, entre la fin de la chaîne sud-atlantique et le continent austral, se trouve une vaste dépression, le bassin atlanto-antarctique. Celui-ci est limité vers l'Ouest par le plateau continental de l'Antarctide américaine et la crête des Antilles du Sud ; mais, vers l'Est il est largement ouvert vers

l'Océan Indien. Il communique avec les bassins des deux plaines bathypélagiques de l'Atlantique Oriental et Occidental, d'une part avec le bassin des Agulhas par-dessus le seuil atlantico-indien, et d'autre part avec le bassin argentin par la fosse océanique des Sandwich du Sud. Les grandes profondeurs de la dépression polaire antarctique étaient désignées par les océanographes sous le nom de fosse de la Valdivia.

Dans cette étude sur la structure générale de l'Océan Atlantique, nous avons adopté, en y apportant de légères modifications, la nomenclature préconisée par Wüst en tenant compte des résultats obtenus par les sondages de l'expédition du *Meteor*. La division de l'Atlantique en bassins bathypélagiques peut se résumer dans le tableau ci-contre (Pl. IV).

Océan Glacial Arctique

Seuil du Spitzberg

Bassin de la Mer de Norvège

Seuil Wyville-Thomson

Golfe du Labrador

Bassin de Terre-Neuve

seuil de Terre-Neuve

Cuvette des Bermudes

seuil de Porto-Rico

Cuvette des Guyanes

seuil de Para

Bassin Brésilien

Chaîne du Rio Grande

Bassin Argentin

seuil des Sandwich du Sud

Chaîne

Nord

Atlantique

Ensellement

Massif Equatorial

Fosse de la Manche

Chaîne

Sud

Atlantique

Golfe de Rockall

Bassin Ibérique

seuil des Açores

Bassin des Canaries

seuil du Cap Verd

Bassin du Cap Verd

seuil de Sierra Leone

Bassin de Guinée

seuil de Guinée

Bassin du Congo

Chaîne du Damara

Bassin du Cap

seuil du Cap

Bassin des Agulhas

seuil Atlanto-Indien

Bassin Atlanto-antarctique

Continent Antarctique

CHAPITRE II

LA PALÉO-OCÉANOGRAPHIE DE L'ATLANTIQUE

J'ai proposé en 1935 de désigner sous le nom de Paléo-océanographie une science qui établirait une liaison entre les connaissances géologiques et les données de l'océanographie, pour permettre d'une part de reconstituer les conditions du milieu marin dans lequel vivaient les espèces fossiles et d'autre part de retrouver, par l'histoire de la terre, l'explication de certains phénomènes hydrologiques. Les problèmes que réunit la Paléo-océanographie relèvent donc à la fois de la géologie, de l'hydrologie et de la biologie. L'étude de la formation des océans se rattache entièrement à cette science nouvelle.

La formation continentale.

En se basant sur les traces que la surface des terres émergées garde des différents âges géologiques, les savants ont minutieusement établi la distribution probable des continents et des mers aux diverses époques de la Terre. Les principes d'homogénéité des dépôts et d'uniformité des faunes les ont conduits à supposer, entre des régions actuellement séparées par des

océans, l'existence de ponts continentaux permettant une facile communication pour les animaux terrestres. A travers les âges, ces ponts continentaux disparaissent ou réapparaissent suivant les besoins de la diffusion zoologique ; ils nécessitent pour leur formation, des plissements et pour leur disparition des effondrements. A ce sujet deux théories se présentent qui, à première vue, paraissent inconciliables ; l'une, habituellement admise, enseigne que les chaînes de montagnes ont pris naissance dans les géo-synclinaux, c'est-à-dire dans les très grandes profondeurs, en commençant par une énorme accumulation de sédiments ; l'autre, au contraire, soutient la permanence des grandes plaines bathypélagiques qui ne subissent l'effet que d'insensibles mouvements épéirogéniques. Il est probable que chacune des deux théories contient une part de vérité. Les chaînes de montagnes se sont, en effet, formées dans les grands géo-synclinaux et ce phénomène se continue encore actuellement, mais la plaine bathypélagique persiste, diminuée en étendue, après la formation des montagnes, gardant son caractère de grande ancienneté et de permanence. Après la surrection montagneuse, le mouvement orogénique brutal se substitue au mouvement épéirogénique et le modelé continental remplace, dans la terre émergée, le modelé bathypélagique.

La théorie de Wegener.

C'est le contraste entre les caractères de ces reliefs qui a servi de point d'appui à la célèbre théorie de la dérive des continents, émise par Wegener depuis 1912.

Le savant allemand considérait que vers l'époque carbonifère, toutes les masses continentales actuelles étaient sensiblement soudées les unes aux autres en un bloc homogène. Ce bloc était constitué par cette partie de la croûte terrestre à laquelle Suess avait donné le nom de *Sial* (silicium-aluminium),

avec un poids spécifique de .2,6. Wegener avait assemblé les continents actuels en tenant compte de leurs formes : le Groën-

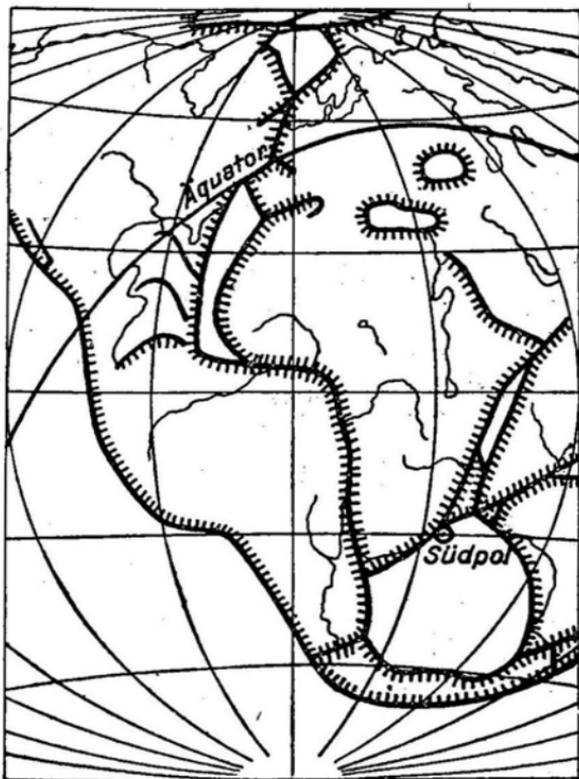


Fig. 4. — Théorie de Wegener. Époque carbonifère (d'après Schott).

land reliait le Labrador à la Norvège ; l'Amérique du Sud venait s'encaster dans le golfe de Guinée ; le continent antarctique s'appliquait contre l'Afrique du Sud ; et l'Asie était repliée sur elle-même de telle façon que l'Inde était collée

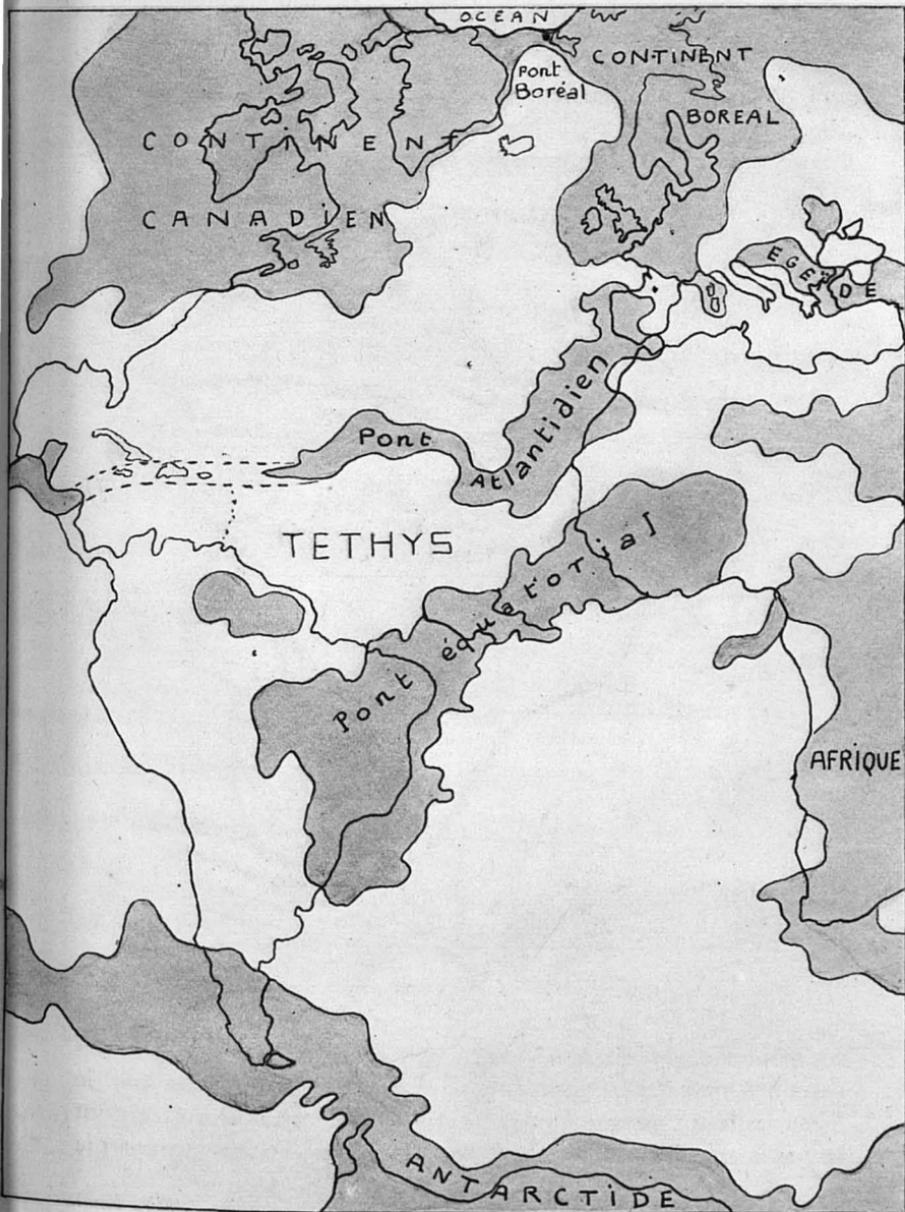
à Madagascar. Une étroite mer intérieure était creusée entre la côte des États-Unis et l'Afrique Occidentale.

Autour de ce continent unique régnait un océan d'une pro-

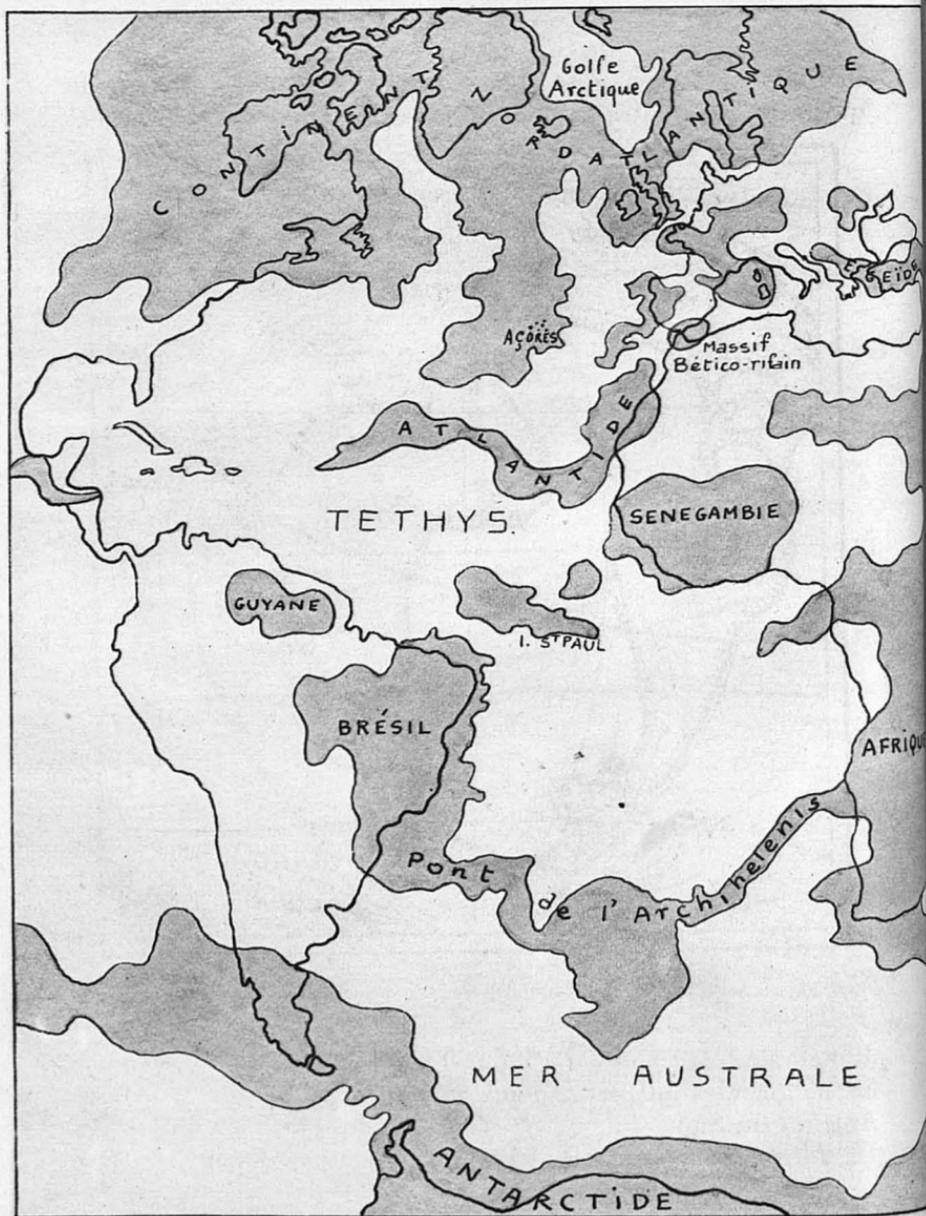


Fig. 5. — Théorie de Wegener. Epoque jurassique (d'après Schott).

fondeur variant de 3.000 à 4.000 mètres et qui groupait les eaux de tous les océans futurs. Le fond était formé par le *Sima* (silicium-magnésium), partie de la croûte terrestre dont le poids spécifique plus élevé est 3,0. Vers l'époque jurassique



LES PONTS CONTINENTAUX A LA FIN DU PRIMAIRE



LES PONTS CONTINENTAUX A LA FIN DU SECONDAIRE

le Sial commença à se disloquer ; le continent antarctique quitta le bloc, entraînant dans son mouvement la partie méridionale de l'Amérique du Sud à laquelle il restait relié par un fin pédoncule, qui correspond à la terre de Graham, et aux Antilles du Sud.

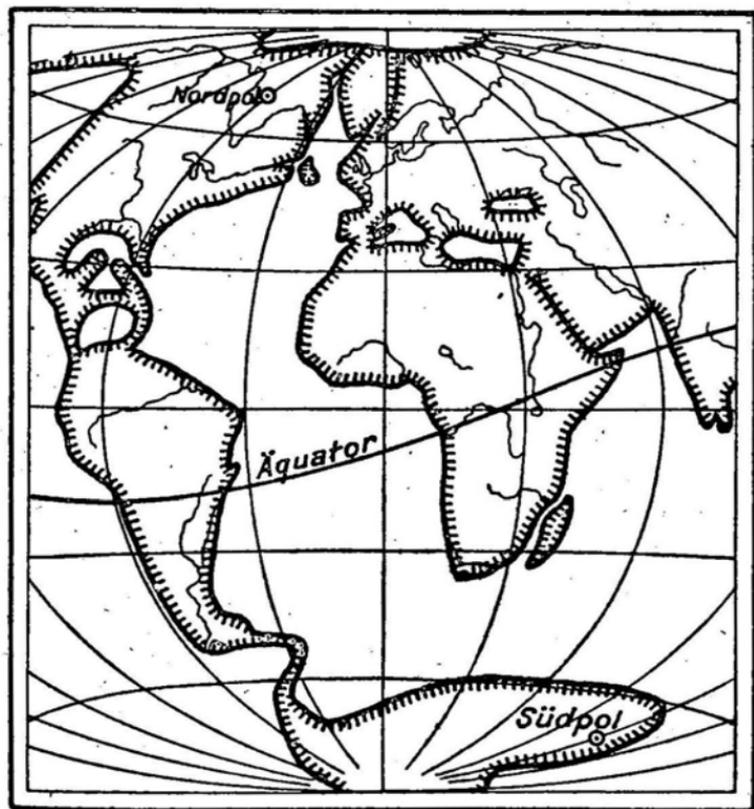


Fig. 6. — Théorie de Wegener. Époque pliocène (d'après Schott).

dionale de l'Amérique du Sud à laquelle il restait relié par un fin pédoncule, qui correspond à la terre de Graham, et aux Antilles du Sud.

La dislocation continua à travers les âges géologiques et par

une lente dérive du Sial glissant sur le Sima ; les continents avaient à peu près atteint, à l'époque pliocène, leur position actuelle, bien que le Groënland fût encore relié à l'Europe. La dérive de l'Amérique vers l'Ouest avait permis la formation de l'Océan Atlantique. Wegener, grâce à cette théorie, expliquait certaines communautés des faunes géologiques et des variations climatologiques constatées dans les âges passés.

Cette théorie établit l'unité fondamentale de forme et de structure des plaines bathypélagiques de tous les océans et explique leur caractère d'uniformité et de permanence mieux que ne peut le faire la théorie des ponts continentaux ; elle rend, par contre, très difficilement explicable la présence des chaînes de montagnes en formation dans les géosynclinaux actuels. Aussi, tout en reconnaissant combien est séduisante l'hypothèse de Wegener, croyons-nous devoir cependant rechercher l'explication de la formation de l'Atlantique dans la théorie des ponts continentaux, en précisant toutefois que les variations de ces phénomènes géologiques ont été localisées aux régions sous-marines dont le niveau actuel est plus élevé que celui des grandes plaines bathypélagiques, dont l'ancienneté nous paraît fondamentalement établie.

Les premiers plissements : la Tethys.

L'ancienne géologie admettait que les premières formations continentales de la Terre avaient eu pour points de départ les pôles, et la disposition des plissements anciens semble donner raison à cette théorie. Du côté arctique on peut donc supposer l'existence très ancienne d'un continent boréal qui aurait, du reste, disparu au début de l'époque primaire, mais aurait servi de support au plissement huronien qui s'éleva dans le géosynclinal qui l'entourait, du Canada à la Sibérie, et donna naissance au continent Nord-Atlantique. Puis, dans le nouveau

géosynclinal qui bordait le continent huronien naquit le plissement calédonien qui porta vers le Sud la limite du continent nord-atlantique. Le plissement hercynien rapprocha de l'Équateur les rivages de cette masse continentale.

Du côté antarctique, le continent actuel s'est probablement peu modifié depuis les premiers âges de la Terre, bien que vers l'époque primaire divers plissements accroissaient sans doute très largement son étendue. Il se reliait par le continent de Gondwana à l'Australie et par d'autres formations continentales à l'île de Pâques et à l'Amérique du Sud.

Par contre, la région équatoriale était essentiellement maritime. Un océan central faisait le tour de la Terre ; il est l'origine de la Mésogée des géologues ou Tethys.

On peut considérer que malgré les modifications très importantes dans ses rivages, la Tethys persista comme une mer circulaire équatoriale, de la fin de l'époque primaire jusqu'au début du tertiaire. Elle fut fragmentée par le plissement alpin qui la rompit dans les régions méditerranéenne et indo-gangétique ; elle acheva de se morceler à la fin du tertiaire quand, des grandes failles volcaniques, surgirent les archipels de l'Insulinde et des Antilles ainsi que l'Amérique centrale.

Sensiblement au moment où la Tethys cessait de faire le tour de la terre, les ruptures continentales de l'hémisphère Sud isolaient le continent antarctique et autour de lui se reconstituait une nouvelle Mésogée circumterrestre, l'Océan Austral.

Les ponts continentaux.

Nous devons restreindre à l'Atlantique l'étude des variations terrestres au cours des âges passés et nous rechercherons quels sont les ponts continentaux, qui ont pu réunir les deux côtés de cet océan, d'après les données de la géologie. Ces ponts continentaux sont au nombre de cinq (Pl. V et VI) :

- a) le pont boréal ;
- b) le pont Nord-Atlantique ;
- c) le pont de l'Atlantide ;
- d) le pont équatorial ;
- e) le pont austral de l'Archihelenis.

A. Le pont boréal. — Le pont boréal représente le dernier vestige du continent nord-atlantique primitif, à la sortie du plissement huronien. Ce continent réunissait les socles canadiens et groënlandais au socle de la mer de Barentz dont l'origine est presque intégralement huronienne. Dès le Silurien, une mer libre existait au Pôle ; à cette période reculée, une transgression géologique atteignit le Spitzberg et l'île aux Ours et y est marquée par la formation de Hekla-Hook. La chaîne calédonienne agrandit le continent Nord-Atlantique au dévonien. Des formations lagunaires au Spitzberg, au Groënland et à l'île de l'Ours déterminèrent des dépôts de grès (grès d'Ursa), comparable au vieux grès rouge d'Écosse. Au carbonifère, en particulier pendant le moscovien et l'ouralien, des dépôts marins se forment à l'île de l'Ours. Après une régression laissant des traces de type lagunaire au permien, l'influence marine se fait à nouveau sentir pendant le trias, sous forme d'un golfe s'avancant jusqu'en mer du Nord, et les formations triasiques de l'île de l'Ours et du Spitzberg sont d'autant mieux caractérisées que, contrairement aux autres dépôts triasiques européens, elles ont échappé au plissement. Au cours de l'époque jurassique, la région actuelle de la mer de Barentz présente un faciès général néritique, signalé par des dépôts épi-continentaux, aux terres du Roi Charles et de François-Joseph.

À la période crétacique se produit une très importante régression marine et à partir de ce moment l'histoire du pont boréal se confond avec celle du pont nord-atlantique.

B. Le pont Nord-Atlantique. — Le continent Nord-Atlantique, limité jusqu'au jurassique à la zone boréale, subit à la période crétacique, un développement considérable qui porte ses limites vers le Sud. La transgression cénomaniennne n'eut aucune influence dans cette région qui, bien au contraire, marque un caractère de régression marine. La côte sud du continent Nord-Atlantique, à cet âge géologique, devait sensiblement partir de la côte américaine, inclure la totalité des bancs de Terre-Neuve, puis dessiner, entre le Labrador et le Groënland, un golfe profond qui remontait jusqu'à l'île Disko ; après ce golfe une large péninsule s'étendait jusqu'au sud des Açores, et du côté de l'Est, était bordée par un autre golfe atteignant la région de Rockall ; puis le continent Nord-Atlantique rejoignait le plateau franco-britannique. Toutefois, au nummulitique, le pont boréal Groënland-Spitzberg s'était affaissé et un vaste golfe occupait déjà à cette époque l'emplacement de la mer de Norvège. Le pont Nord-Atlantique était donc principalement constitué par des terres émergées, à l'emplacement actuel du seuil Wyville-Thomson et de la zone à pente douce qui borde ce seuil vers le Sud et qu'on désigne du nom de plateau du Télégraphe, parce qu'il servit de support aux premiers câbles sous-marins. La rupture du pont Nord-Atlantique se place à l'époque néogène. Le seuil Wyville-Thomson et le plateau du Télégraphe s'enfoncent sous les eaux et le rocher isolé de Rockall reste le dernier témoin visible de cet affaissement. C'est à la même époque que l'on doit placer l'effondrement des Bancs de Terre-Neuve. La péninsule qui s'étendait jusqu'aux Açores, disparaît dans une gigantesque faille orientée Nord-Sud, dont la terre de Jan Mayen et les dômes volcaniques de l'Islande et des Açores marquent la direction.

C. Le pont de l'Atlantide. — L'existence de l'Atlantide a passionné les esprits d'autant plus que l'on a rattaché l'effon-

drement de cet hypothétique continent à des traditions antiques et que l'on a supposé que l'homme avait été témoin de sa disparition. J'ai moi-même été appelé à en discuter dans des publications antérieures et ai dû, au cours de recherches récentes, modifier quelque peu ma conception primitive. En réalité la question de l'Atlantide est double, une partie du problème appartient au domaine géologique et l'autre relève de l'histoire de l'humanité ; les deux éléments de la thèse sont, en fait, liés l'un à l'autre.

Les paléontologistes comme Gregory, Vaughan, Ameghino, Joleaud, Fischer, Germain, ont constaté des communautés faunistiques dans les animaux terrestres entre la côte occidentale d'Afrique, les Antilles et l'Amérique du Sud qui ne sauraient se comprendre que par l'existence, à l'époque crétacique ou vers l'éocène, d'un pont continental unissant les deux continents. Le passage de certains mollusques, de certains équidés, ne pourrait, paraît-il, être autrement expliqué. Le géologue allemand H. von Ihering partage cette opinion et délimite de façon précise un pont continental qu'il dénomme Archi-atlantis, et qui met en liaison les Antilles et le Maroc. Cet élément de jonction aurait persisté jusqu'au miocène.

Ces suggestions des géologues méritent d'être retenues et examinées avec le plus grand soin, d'autant plus que le tracé des isobathes semble révéler l'existence d'un pont continental dans la région où les paléontologistes placent l'Atlantide. Ce pont serait de formation très ancienne si l'on en juge d'après certains éléments qui en constitueraient les derniers vestiges, à savoir la Meseta espagnole, la Sierra Nevada et la chaîne du Rif. Ces diverses régions sont formées par des terrains archéens et primaires et relèvent du plissement hercynien. Il est possible, du reste, que tous les éléments du pont atlantidien ne remontaient pas à une origine aussi ancienne ; quoi qu'il en soit, cette Atlantide géologique d'âge primaire ou secondaire semble avoir eu la composition suivante :

La partie occidentale et méridionale de la péninsule ibérique ; le Maroc et la Mauritanie ; la partie du plateau continental qui comprend les bancs et archipels placés à l'ouest du détroit de Gibraltar et qui relie le cap Saint-Vincent à Madère ; le socle des Canaries et le socle des îles du Cap Verd ; à partir de ce dernier socle, l'Atlantide s'étendait vers l'Ouest sur l'emplacement actuel du seuil du Cap Verd, dans l'Atlantique oriental et du seuil de Porto-Rico dans l'Atlantique occidental. A ce moment la chaîne Nord-Atlantique n'existait pas et son absence permettait l'extension de cette longue péninsule, de l'Afrique vers les Antilles. La fosse océanique de Porto-Rico se trouve placée sur l'axe du pont atlantidien et marque sans doute sa rupture ; en conséquence, ce pont, jusqu'au crétacique, a pu se prolonger jusqu'à Saint-Domingue et Cuba. Comme traces de ce pont continental s'inscrit sur la carte bathymétrique, une série de hauts-fonds : dans l'Atlantique Occidental, un plateau d'environ 4.000 mètres, distinct de la chaîne Nord-Atlantique ; dans l'Atlantique Oriental sur le seuil du Cap Verd, des sommets marquant les altitudes de 3.300 mètres, 3.150 mètres, 1.180 mètres.

Le pont atlantidien s'effondra, dans sa partie proprement océanique, au plus tard vers le miocène, mais dans sa partie continentale les restes de l'Atlantide persistèrent beaucoup plus tard et nous aurons l'occasion de les étudier quand nous décrirons la région ibéro-africaine.

D. Le pont équatorial africo-brésilien. — Ce pont a une importance capitale dans la formation de l'Atlantique. Son origine est des plus anciennes. Nous avons dit, en effet, qu'au cours de l'époque primaire existait autour de la terre un océan circulaire équatorial ; c'est dans un géosynclinal de cet océan que s'est formé le pont africo-brésilien. Son orientation générale était sans doute Est-Ouest avec une légère inclinaison Nord-Est-Sud-Ouest. Il réunissait les terrains anciens du Brésil

à la Sénégambie et comprenait la totalité du Massif équatorial, placé entre les chaînes nord-atlantique et sud-atlantique. Sa place est encore nettement marquée par les seuils de Para et de Sierra Leone qui relient le Massif équatorial à l'Amérique et à l'Afrique. On peut donc considérer que les hauts fonds de ce massif sont formés de roches très anciennes et cette thèse est appuyée par la géologie de l'îlot Saint-Paul. Les roches qui forment ce roc isolé sous l'équateur ont été étudiées par M. le professeur Lacroix et sont de type cristallophyllien. L'îlot Saint-Paul reste donc un témoin de l'effondrement de ce continent équatorial. Sa rupture doit se placer avant le tertiaire, mais cette région de l'Océan Atlantique fut postérieurement le siège d'une activité volcanique qui dure encore de nos jours (zone de Daussy). L'isolement définitif du massif équatorial fut provoqué par deux failles volcaniques parallèles et orientées N.N.W.-S.S.E. L'une d'elles, à l'ouest est marquée par l'ensellement qui sépare la chaîne Nord-Atlantique du massif équatorial et les îlots volcaniques de Fernando Noronha et de Trinidad ; l'autre, à l'Est, est orientée par les îles du Cap Verd, la fosse de la Manche et peut-être le volcan de l'Ascension. Ce pont continental avait, dès l'âge primaire, séparé l'Atlantique nord de l'Atlantique sud, et donné à ces deux parties de l'Océan une individualité que nous constatons encore de nos jours.

E. Le pont austral de l'Archihelenis. — La conception du pont continental de l'Archihelenis est due au géologue allemand H. von Ihering qui considéra, du point de vue faunistique, qu'il était nécessaire d'établir au crétacique supérieur et à l'éocène, une liaison entre l'Amérique du Sud et l'Afrique méridionale afin d'expliquer la distribution de certaines espèces de mollusques d'eau douce. Il nomma ce continent Archihelenis.

L'examen des reliefs bathymétriques semble donner raison

à l'hypothèse du savant allemand. En effet, la partie méridionale de la chaîne Sud-Atlantique présente autour du dôme volcanique des îles Tristan da Cunha et Gough, un extrême élargissement comparable à ceux que nous avons pu noter chaque fois que les chaînes atlantiques, du Nord ou du Sud, ont rencontré des éléments continentaux disparus (par exemple au nord dans la région des Açores). D'autre part, cette région élargie vers le 35° Sud de la chaîne Nord-Atlantique est unie à l'Amérique et à l'Afrique, non pas par de simples seuils profonds, analogues à ceux qui séparent les bassins bathypélagiques, mais par deux véritables chaînes de relief élevé ; du côté américain, la chaîne du Rio Grande et du côté africain, la chaîne du Damara ou de Walfisch bay. Nous avons indiqué que ces chaînes comportaient de très nombreux sommets dont certains ont une altitude telle qu'ils remontent à moins de 1.000 mètres de la surface de la mer.

La hauteur de ce relief indiquerait que ce pont continental de l'Archihelenis aurait disparu assez récemment, sans doute à la fin du miocène.

*
**

D'après ce qui précède, on peut dresser un tableau indiquant la période de durée de ces divers ponts continentaux :

PONTS	DÉBUT	FIN
a) boréal	Silurien	Crétacique
b) nord-atlantique	Crétacique	Néogène
c) atlantidien	Primaire	Miocène
d) équatorial	Primaire	Crétacique
e) austral	Crétacique	Miocène

Le Géosynclinal Atlantique.

A l'époque pliocène, on peut considérer que tous les ponts continentaux s'étaient effondrés, à l'exception, peut-être, du seuil Wyville-Thomson, qui ne tarda pas, du reste, à disparaître à son tour. L'Océan Atlantique se présentait donc à cette époque comme un vaste couloir unissant la cuvette de l'Océan boréal à la Mésogée de l'Océan austral. Il communiquait alors avec l'Océan Pacifique à travers l'Amérique Centrale, par le détroit Darien. La jonction des Montagnes Rocheuses et de la Cordillère des Andes mit bientôt fin à cette communication, dernier vestige de la Tethys primitive.

Dans l'énorme plaine bathypélagique, bordée par l'Ancien et le Nouveau continents, subsistaient quelques hauts fonds, débris des continents effondrés ; au nord, le plateau du Télégraphe et un exhaussement près des Açores ; à l'Équateur, le massif équatorial ; dans l'Atlantique Sud les restes de l'Archihelenis. L'ensemble océanique se trouvait dans les conditions d'un immense géosynclinal s'étendant du 60° N. au 60° S. avec des profondeurs moyennes, variant de 4.000 à 6.000 mètres.

Conformément aux données acquises en tectonique, dans l'axe de ce géosynclinal s'est formée une chaîne de montagnes, ou plus exactement, se forme une chaîne de montagnes, car elle garde encore son caractère sous-marin et obéit aux mouvements épéïrogéniques. Cette chaîne est la grande chaîne médiane atlantique qui divise maintenant en dépression occidentale et orientale la plaine bathypélagique primitive.

Dans cette formation tout se passe comme si l'origine des plissements était placée sous l'Équateur, dans la zone du Massif équatorial, et que la chaîne se constituât en deux parties, d'une part vers le Nord et d'autre part vers le Sud. Dans l'Atlantique boréal, la chaîne Nord-Atlantique

prend naissance à la hauteur de l'ensellement du nord-ouest du Massif équatorial ; elle remonte vers le Nord jusqu'à heurter les hauts fonds qui marquent la plus grande extension du continent Nord-Atlantique, et de ce contact jaillit le dôme volcanique des Açores. La chaîne se propage vers le Nord suivant l'axe du géosynclinal, en direction du Groënland, mais l'inlandsis groënlandais, jouant le rôle d'un horst la fait obliquer vers le Nord-Est ; elle se trouve ainsi amenée à heurter le seuil Wyville-Thomson et le rompt en provoquant la surrection du dôme volcanique islandais. Le volcan isolé de Jan Mayen est peut-être vers le Nord le signe avant-coureur de l'extension de la chaîne en mer de Norvège.

Dans l'Atlantique austral, la chaîne Sud-Atlantique surgit au bord de la fosse de la Romanche et s'avance directement vers le Sud, marquée par les volcans de l'Ascension et de Sainte-Hélène ; elle s'élargit en rencontrant les chaînes qui rappellent l'existence du pont de l'Archihelenis et à cette latitude émergent les volcans de Tristan da Cunha et de Gough. Elle continue sa progression jusqu'au 55° S. mais la proximité de la masse du continent antarctique la fait dévier vers l'Est et le volcan de l'île Bouvet est le témoin de ce changement de route. Vers le 25° E. la chaîne Sud-Atlantique s'enfonce dans les profondeurs, en formant le seuil atlanto-indien ; celui-ci se termine par le plateau volcanique des îles Marion et Crozet qui semble représenter, comme Jan Mayen vers le Nord, le signe avant-coureur de l'extension de la chaîne dans la direction de l'Océan Indien.

*
**

L'hypothèse de la formation des chaînes de montagnes dans l'axe des géosynclinaux se trouve ainsi démontrée par la lente surrection des chaînes atlantiques. De plus, les chaînes qui ont émergé dans les périodes géologiques les plus récentes sont

absolument comparables à celles qui se forment actuellement.

En effet, on retrouve entièrement la disposition des chaînes atlantiques dans le système montagneux qui est sorti du géosynclinal du Pacifique Oriental, comprenant les Montagnes Rocheuses et la Cordillère des Andes. Il y a un parallélisme presque absolu entre les deux formations : la chaîne Nord-Atlantique correspondant aux Rocheuses et la chaîne Sud-Atlantique aux Andes. Il existe comme dans les chaînes américaines, une région intermédiaire ; le Massif équatorial tient la place des terrains anciens de l'Amérique Centrale et présente une exacte analogie avec cette région avant la fermeture définitive du détroit Darien. On retrouve dans l'extrémité de la chaîne Sud-Atlantique la courbure vers l'Est qui infléchit la partie terminale des Andes à l'approche de l'Antarctide. Dans la région équatoriale, il existe un léger décalage entre les deux systèmes ; la fosse de la Romanche se trouve en effet placée sous l'Équateur, alors que l'isthme de Panama est situé par 10° N. Le jalonnement volcanique est identique dans les deux cas. Les cratères des Andes sont plus nombreux, mais sans doute certains sommets des chaînes atlantiques sont des volcans sous-marins appelés à surgir quand le mouvement orogénique succédera au mouvement épéirogénique. Dans la région boréale le parallélisme entre les Montagnes Rocheuses et la chaîne Nord-Atlantique cesse d'être absolu vers le 50° N. mais cette différence d'orientation est due à la présence des mêmes terrains anciens qui ont modifié le sens de progression des deux chaînes, en les forçant à obliquer, l'une vers le Nord-Ouest, l'autre vers le Nord-Est (Pl. VII).

A propos de ces formations montagneuses, il est intéressant de signaler la variation générale de la direction des plissements et des lignes de fractures aux diverses époques de la

terre : les plissements anciens, huronien, calédonien, hercynien et même alpin, se sont formés dans une direction parallèle à l'Équateur, c'est-à-dire d'Est en Ouest. Par contre, depuis l'époque néogène, les nouvelles chaînes de montagnes et les grandes lignes de failles se propagent le long des méridiens, c'est-à-dire du Nord au Sud avec une torsion sous l'Équateur. Cette disposition apparaît dans les systèmes suivants : le fossé tectonique africain, qui va de la mer Morte au Cap ; la ligne volcanique du Pacifique occidental, qui comprend les Kouriles, les îles du Japon, les Philippines, la Nouvelle-Guinée, les Îles de la Société, la Nouvelle-Zélande et les volcans de la mer de Ross ; la ligne des Montagnes Rocheuses et des Andes, qui commence à l'Alaska et se termine aux îles des Antilles du Sud et à la terre de Graham.

Les chaînes en formation dans le géosynclinal de l'Atlantique correspondent exactement à cette orientation des lignes montagneuses récentes déjà émergées et dont l'accroissement actuel se traduit par un volcanisme intense.

CHAPITRE III

PALÉO-OCÉANOGRAPHIE ET STRUCTURE DE QUELQUES RÉGIONS DE L'ATLANTIQUE

Dans les deux chapitres qui précèdent, nous avons exposé quelle était la structure générale de l'Océan Atlantique et tenté d'expliquer cette structure en faisant appel aux données de la paléo-océanographie, mais certaines régions de l'Atlantique, et en particulier ses mers tributaires, ont évolué de façon particulière et méritent d'être individuellement étudiées. Ces parties de l'Océan sont mieux connues que l'Océan lui-même par suite des proximités continentales où les recherches géologiques peuvent être poussées plus à fond. En conséquence, nous allons examiner la structure et la paléo-océanographie des zones suivantes :

- a) les mers du bouclier scandinave : mer de Barentz, mer Blanche, mer Baltique ;
- b) le plateau franco-britannique : mer du Nord, mer d'Irlande, mer Celtique et Manche ;
- c) le golfe de Gascogne ;
- d) la région ibéro-africaine ;
- e) la Méditerranée et ses tributaires ;
- f) la zone du bouclier canadien : Bancs de Terre-Neuve, de la Nouvelle-Écosse et du Maine ;

- g) la mer des Antilles ;
- h) la mer des Antilles du Sud.

A. — *Les Mers du Bouclier scandinave : Mer de Barentz, mer Blanche, mer Baltique.*

Les géologues sont à peu près d'accord pour admettre qu'au cours des dernières glaciations quaternaires, le pôle du froid était situé au nord de la péninsule scandinave, qui fut le centre du grand glacier d'Europe. Ce grand glacier se confondait dans la mer polaire avec la masse de la grande banquise jusqu'au Groënland. Il couvrait la mer du Nord et une partie des Iles Britanniques, débordait sur la plaine du nord de l'Europe et vers l'est avait pour limite la chaîne de l'Oural. La région sibérienne placée entre le glacier d'Europe et le glacier d'Asie, jouissait, à cette époque, d'un climat relativement clément.

Le glacier se retira lentement et fut circonscrit par la Nouvelle-Zemble, le Spitzberg, le plateau continental scandinave, la partie orientale de la mer du Nord et l'occident de la plaine russe. Il représentait encore à cette époque une énorme accumulation glaciaire, et celle-ci dut trouver son chemin vers la mer. On lui doit la définitive érosion des plaines suédoise, balte et finlandaise. La fusion du glacier devait être plus rapide du côté océanique, c'est-à-dire vers la mer de Norvège ; de ce côté, il se fragmenta rapidement en creusant les innombrables fjords de la côte norvégienne ; mais la masse principale se déversa à la fois au nord et au sud. La mer de Barentz, déjà affaissée par des mouvements épéirogéniques, fut le chemin naturel que trouva le glacier scandinave vers la zone boréale. La masse glaciaire qui acheva de niveler la mer de Barentz débouchait par le chenal placé entre la presqu'île de Kola et la presqu'île Kanin, ouverture

actuelle de la mer Blanche. La forme trifurquée de cette mer montre qu'elle a servi de chemin à trois glaciers : le premier, occidental, descendant des pentes de la Laponie russe ; le deuxième, méridional, provenant de la Finlande,

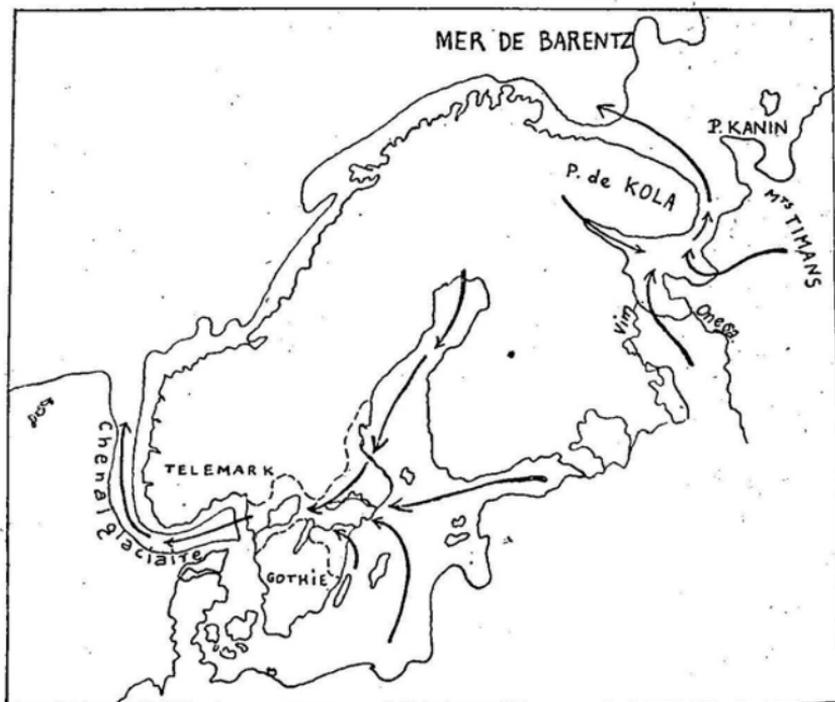
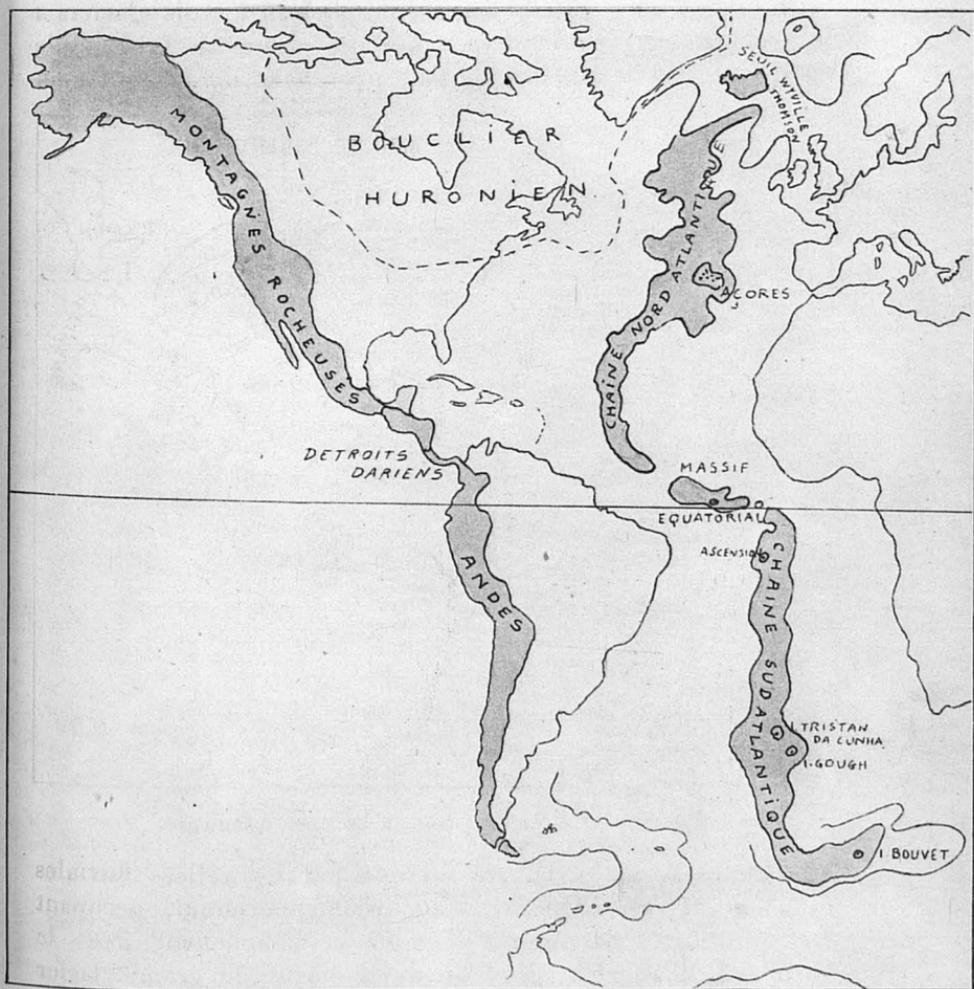
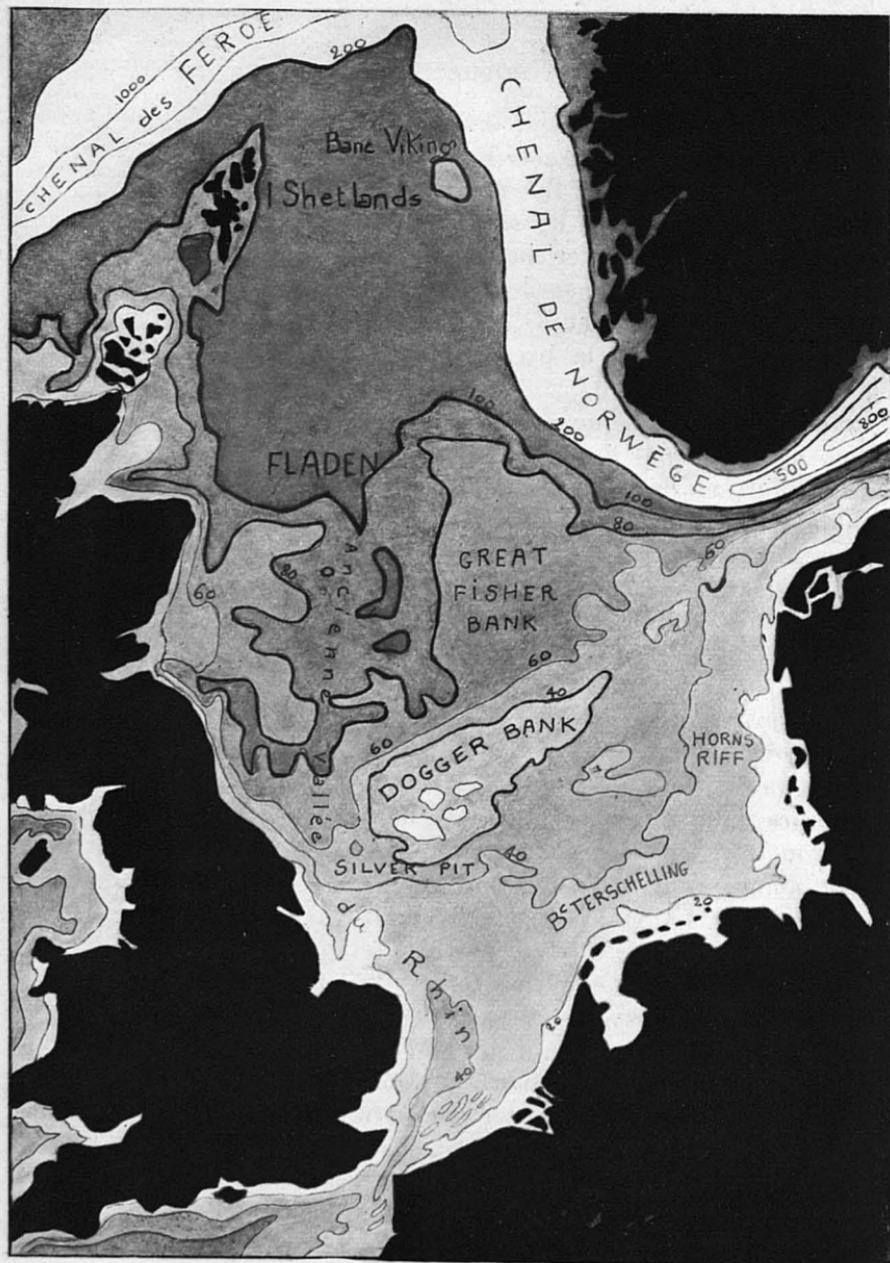


Fig. 7. — Vallées glaciaires du bouclier scandinave.

en suivant le trajet encore marqué par les vallées fluviales du Vim et de l'Onéga; le troisième, oriental, occupant les contreforts des monts Timans et débouchant dans le golfe d'Arkhangelsk. C'est au déversement du grand glacier scandinave vers le Sud que l'on doit la plus grande partie du creusement de la mer Baltique. Deux grandes vallées glaciaires, actuellement représentées par les golfes de Bothnie



PARALLÉLISME DES CHAINES MÉDIO-ATLANTIQUE ET AMÉRICAINNE



STRUCTURE TOPOGRAPHIQUE DE LA MER DU NORD

et de Finlande, se réunissaient à l'Ouest des îles d'Åland, et se confondaient pour traverser la plaine de Suède en empruntant l'emplacement du fjord de Stockholm, du lac Vener et de la Göta, entre les massifs de Gothie et de Dalecarlie, pour venir déboucher au fond du Skagerrak. La descente du glacier vers la mer de Norvège, en contournant le massif de Telemark, a creusé le chenal profond qui sépare encore le Sud-Ouest de la presqu'île scandinave des hauts fonds de la mer du Nord.

L'examen bathymétrique de la mer Blanche, de la mer Baltique et du chenal de Norvège révèle l'origine glaciaire de ces régions maritimes. On y trouve les caractéristiques des couloirs des glaciers, formés de cuvettes profondes, étagées, à seuils surélevés. Ce caractère se retrouve même dans la partie de la plaine suédoise qui a émergé fort lentement, et le fjord de Stockholm et le lac Vener marquent les ombilics de l'ancienne vallée glaciaire.

Mer de Barentz. — Cette mer, essentiellement continentale, a une profondeur moyenne de 250 mètres. Le Spitzberg, l'île de l'Ours, la terre du roi Charles et la terre François-Joseph sont groupés sur une ligne continue de hauts fonds variant de 50 à 200 mètres. Un petit chenal les sépare du plateau de la Nouvelle-Zemble uni à la côte Mourmane par des fonds de 50 à 60 mètres. La vallée glaciaire de la mer de Barentz descend doucement vers la mer de Norvège sans jamais atteindre de profondeur supérieure à 500 mètres.

Mer Blanche. — Le confluent des trois glaciers de Laponie, de l'Onéga et des monts Timans, est marqué dans la mer Blanche par des ombilics de 120 à 150 mètres. Dans le chenal qui débouche en mer de Barentz se trouve un seuil glaciaire bien marqué dont la profondeur maxima est de 20 mètres. On ne peut trouver de relief glaciaire mieux caractérisé.

Mer Baltique. — La vallée glaciaire du golfe de Bothnie est double ; un resserrement entre Uméa et Vasa délimite un seuil, à 35 mètres de profondeur, qui sépare les deux vallées ; celle du Nord présente un ombilic à 106 mètres ; la vallée du Sud, plus large et plus profonde, marque de même un ombilic à 300 mètres.

La vallée glaciaire du golfe de Finlande est en partie émergée ; les lacs Onega et Ladoga représentent les bassins glaciaires supérieurs ; le thalweg du glacier suit le cours de la Neva. La vallée immergée du golfe de Finlande s'unit à deux autres vallées glaciaires venant du Sud, bordant à l'Est et à l'Ouest l'île de Gotland et présentant toutes deux des ombilics d'une profondeur supérieure à 200 mètres. La jonction de toutes ces vallées s'opérait au seuil des îles d'Aland, pour traverser d'Est en Ouest la plaine suédoise, et rejoindre le couloir de Norvège. Ainsi la mer Baltique ne possède, à proprement parler, aucun caractère maritime et représente uniquement un vestige de vallée glaciaire. Sa communication avec l'Atlantique par les détroits danois est contemporaine des derniers effondrements de la mer du Nord.

La dépression Aralo-Pontique. — On doit lier à l'histoire du glacier Scandinave l'existence de la dépression Aralo-pontique. Le glacier d'Europe fut, en effet, limité dans son extension méridionale par la formation marine qui enserrait l'ancien continent nord-atlantique. A l'origine, les rivages du plissement calédonien dominaient un géo-synclinal qui occupait toute la plaine de l'Europe centrale, la Russie méridionale et la mer Noire et s'étendait vers l'Est sur les emplacements de la mer Caspienne, de la mer d'Aral, du lac Balkach. Cette étendue marine rejoignait vers le Nord l'Océan polaire en couvrant une notable partie de la Sibérie et principalement les bassins de l'Obi et de l'Irtych. C'est dans ce géosynclinal que se forma la chaîne hercynienne. La partie

orientale demeura sous forme d'une mer profonde jusqu'au plissement alpin ; la surrection du Caucase commença son morcellement et bientôt, de l'antique géosynclinal il ne resta plus, comme mer profonde, que la cuvette de la mer Noire, limitée vers le Sud par les continents joints de l'Égéïde et de l'Angara. Les dépôts sédimentaires s'accumulèrent entre le continent Nord-Atlantique et la chaîne hercynienne, mais un faciès néritique se maintint longtemps dans la plaine de l'Allemagne du Nord et de la Russie méridionale ; les marais du Pripet en sont peut-être le dernier témoin. C'est cette zone marine épi-continentale qui limita la seconde glaciation. Vers l'Asie, les dépôts sédimentaires comblèrent de même la Sibérie occidentale ; la mer Caspienne, le lac Oxien et le lac Balkach furent réduits, au cours des siècles, dans leur surface et dans leur profondeur, ainsi qu'à l'Est, le Han Haï, faciès néritique, qui occupait le désert de Gobi et communiquait avec le Pacifique par le bassin de l'Amour. L'ensablement désertique dû à l'érosion continue des chaînes d'Asie après le retrait glaciaire, transforma graduellement en désert cette antique région marine. Il est particulièrement important de noter dès à présent que la mer Noire, par son origine, appartient à l'hydrographie boréale.

B. — *Le plateau franco-britannique : mer du Nord, mer d'Irlande, mer Celtique et Manche.*

Le plateau franco-britannique est une vaste étendue du plateau continental qui continue sous la mer la grande plaine du nord de l'Europe. Il se termine au Nord par un promontoire dominé par l'archipel des Shetlands, et est séparé de la côte de Norvège par le chenal glaciaire du Skager-rak. Le plateau franco-britannique comprend la totalité des fonds de la mer du Nord ; vers l'Ouest, il englobe les îles Hébrides

et leur mer intérieure, le Minch, puis s'élargit à la latitude de l'Irlande. Des profondeurs de 400 mètres le relie au petit plateau qui supporte le Banc du Porcupine. Plus au Sud, se trouve la large expansion continentale que nous appelons « mer Celtique ».

Le terme de « mer Celtique » fut employé pour la première fois par E.-W.-L. Holt, pour désigner l'étendue marine qui recouvre le plateau continental au Sud de l'Irlande et à l'Ouest de l'entrée de la Manche. L'océanographe irlandais le nomma ainsi parce que les côtes qui bordent cette mer épi-continentale sont peuplées par des gens de langue celtique : Irlandais, Gallois, Cornouaillais et Armoricaains. La totalité des fonds de la Manche appartient également au plateau franco-britannique.

Parmi les nombreux travaux des géologues qui se sont occupés de la plateforme franco-britannique, prend place l'excellente étude de Louis Dangeard sur la géologie sous-marine de la Manche, effectuée à bord du *Pourquoi-Pas ?* grâce au commandant Charcot.

La plate-forme franco-britannique a subi de profondes modifications au cours des âges géologiques : en réalité elle n'a jamais été émergée dans son ensemble : les phénomènes de transgression et de régression géologique ont successivement sorti des flots ou fait disparaître certaines parties de cette surface continentale.

Le plissement huronien passa au Nord de cette région ; elle présentait alors les caractères d'un géosynclinal dans lequel prit naissance le plissement calédonien. Celui-ci constitua les éléments essentiels du plateau : le nord de l'Irlande, l'Écosse, la région des Orcades et des Shetlands, le sud de la Scandinavie. Plus tard, à l'époque hercynienne, émergèrent le sud de l'Irlande, le pays de Galles, la Cornouaille anglaise, le Massif Armoricaain. A la fin de l'époque primaire existait une ligne d'anciens rivages unissant l'Irlande à l'Armorique,

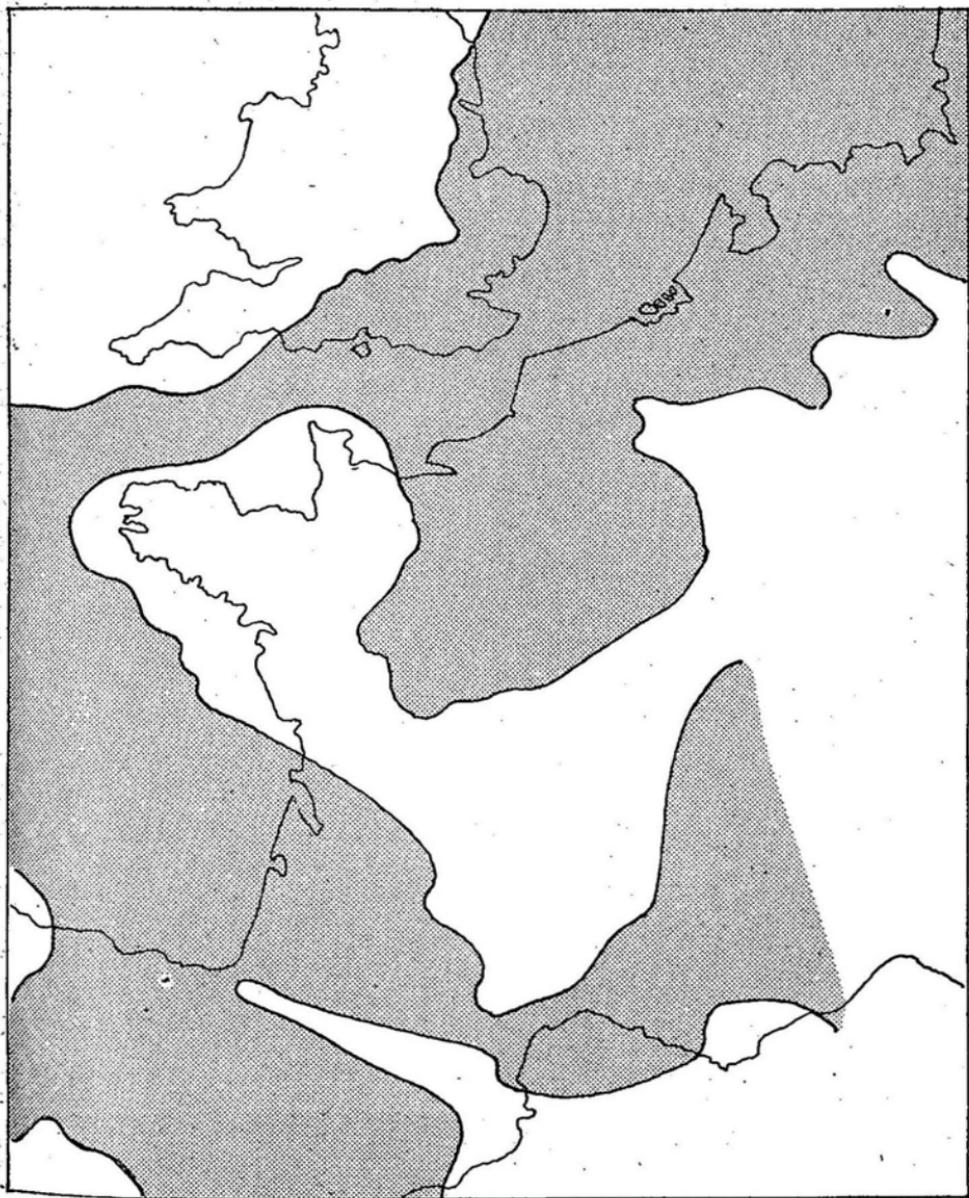


Fig. 8. — La mer créolacique dans la région franco-britannique.

et cette ligne de côtes était découpée par de nombreux « rias » orientés du Sud-Ouest au Nord-Est, continuant par leur disposition les découpures actuelles de la côte Sud-Ouest de l'Irlande.

La période permo-triasique livra passage à un golfe arctique à la suite de l'effondrement de la mer du Nord. Ce golfe sépara l'Écosse de la Norvège et isola les archipels des Orcades et des Shetlands, ainsi que le banc Viking au bord du chenal de Norvège. Les terrains s'affaissèrent dans leur ensemble et les dépôts triasiques marquent le contour extérieur de l'énorme dépression qui forma par la suite les bassins de Paris, de Londres et du Rhin ; cette invasion marine s'étendit jusqu'en Manche occidentale. La mer jurassique occupe la presque totalité de la mer du Nord et en Manche atteint le sud d'Eddystone. La fin de la période jurassique fut marquée par une importante régression, mais au crétacique, nouvelle invasion marine : les dépôts s'accumulent dans le bassin de Londres, dans le bassin de Paris, en Manche occidentale : Dangeard a retrouvé la craie blanche et les roches à glauconie entre la Cornouaille anglaise et le Finistère. La transgression marine rompit la ligne des rias irlandais-armoricaïns, non loin d'Ouessant.

A l'éocène, il y a régression ; la mer du Nord prend un caractère continental jusqu'à la région des Fladen ; la Manche se ferme avec un faciès néritique au large de l'île de Wight, peut-être en communication avec un golfe marin en Manche occidentale. Ce golfe suivait le nord de la côte bretonne et s'enfonçait jusqu'aux îles anglo-normandes ; un gisement de *Nummulites Brongniarti*, qui fut trouvé au Nord de Roscoff par Pruvot et par moi-même, puis vérifié par Dangeard, atteste l'existence de ce golfe éocène. Comme les mêmes foraminifères se retrouvent dans la région anglo-belge, on peut supposer qu'un chenal marin réunissait les deux secteurs mais on ne peut en préciser le trajet.

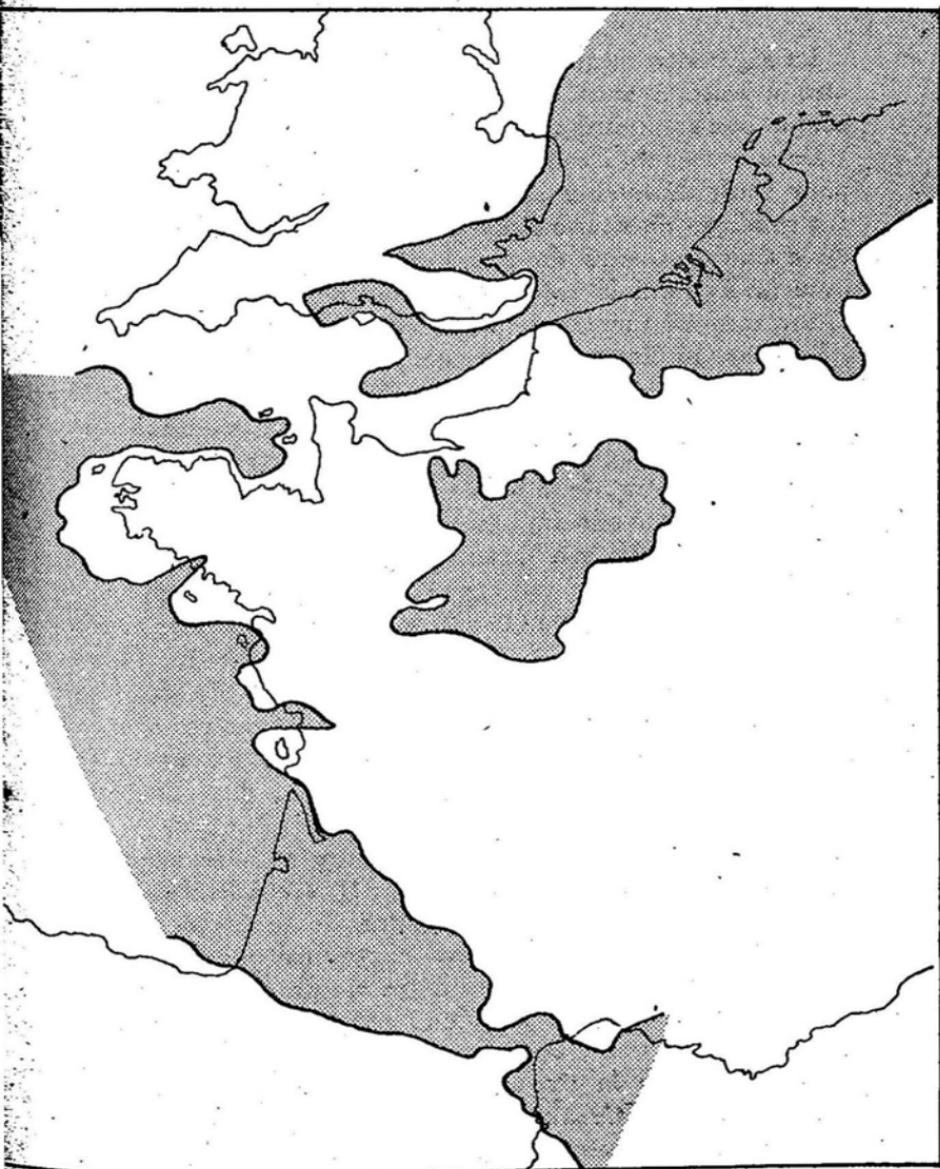


Fig. 9. — Le mer éocène dans la région franco-britannique.

La régression marine se continue au pliocène et c'est peut-être à cette époque que la plate-forme franco-britannique connut son maximum d'émergence continentale.

Dans la mer du Nord émergée, le Rhin continuait son cours pour venir déboucher à l'emplacement du fond des Fladen. Les sondages du navire *Président Théodore Tissier* ont permis de définir l'estuaire du grand fleuve jusqu'à son confluent avec la Tay qui le rejoignait sur sa rive gauche. L'énorme fleuve recevait sur cette rive, la Murray, la Forth, la Tweed, l'Humber, la Tamise et sans doute la Somme, qui décrivait une boucle à travers les bancs de Flandre. Sur la rive droite, l'Elbe, l'Ems, la Weser, apportaient leurs eaux au Rhin.

L'ancien thalweg est encore marqué par une série de petites vallées dont l'une, le « Silver Pit » indique le confluent de l'Elbe ; de même une dépression d'une cinquantaine de mètres définit la place des confluent du Rhin, de la Tamise et de la Somme.

Au nord de l'Irlande, la Clyde atteignait la mer par un large estuaire placé au Sud-Ouest de l'île de Staffa. Plus au Sud, le banc du Porcupine constituait une île de forme oblongue, orientée du Sud-Ouest au Nord-Est sur un socle continental prolongé vers le Sud en un long éperon que peut-être dominait un rocher, le Jones Rocky Bank, dont l'existence est contestée.

Du côté de la mer Celtique, le rivage était formé par la ligne des rias maintenant submergés ; les rias irlandais actuels sont les baies de Dingle, de Kenmare, de Bantry et de Long Island ; la ligne des rias anciens commencé par trois échancrures auxquelles fait suite un autre ria de très grande taille dont les rives s'étendent jusqu'au bord du plateau continental actuel. La rive nord, largement étalée, constitue le banc de la Grande Sole ; la rive sud est marquée par les bancs du Saint-Germain et Cockburn. Les deux rives se surélèvent au fond du ria, pour former un petit massif montagneux, le banc



Fig. 10. — Carte du plateau franco-britannique (thalwegs).

Labadie (65 mètres) ; sur la même longitude et au Sud se trouvent deux autres sommets, le banc Jones (75 mètres) et le banc Melville (115 mètres), avec des éminences intermédiaires variant de 90 à 100 mètres. Cette petite chaîne est dans l'alignement exact des monts de Wicklow. Le ria de la Grande Sole représente l'estuaire ancien de la Severn. Ce fleuve parcourait alors le plateau continental dans une direction sud-ouest et recevait sur sa rive droite les petits fleuves irlandais et un cours d'eau plus important dont le thalweg fait suite au cours de la Mersey.

À l'est de l'estuaire de la Severn, d'autres découpures marquent des rias secondaires correspondant à d'anciens fleuves côtiers ; puis, entre les bancs Shamrock et Parson, on trouve un nouvel estuaire, celui de la Seine géologique. A cette époque, la Seine contournait la presqu'île du Cotentin par le Nord, après avoir reçu comme affluents de gauche les petits fleuves normands ; son cours suivait la fosse centrale de la Manche ou « Hurd Deep », à la sortie de laquelle l'Avon constituait un affluent de droite. Le fleuve continuait vers le Sud-Ouest et un ou plusieurs cours d'eau le rejoignaient en lui apportant les eaux des petits fleuves de la côte Nord de Bretagne. L'Elorn et l'Aulne, unis dans la rade de Brest, allaient grossir la Seine au niveau de la fosse d'Ouessant. Le « Trou aux Raies », au nord de Roscoff, marque également l'ancien thalweg de la Seine géologique.

Au large de cette ligne d'anciens rivages, on trouve les traces de cônes de déjection fluviaux et d'anciens archipels ; le banc de la Chapelle représente le cône de déjection de l'ancien estuaire de la Seine. De curieuses légendes se rapportent à ce banc qui fut signalé par les navigateurs du XVIII^e siècle comme une des « vigies de la mer », c'est-à-dire un roc isolé, placé très au large, comme l'est actuellement par exemple le rocher de Rockall. Cette vigie fut remarquée par un navire, mais la valeur de cette indication reste douteuse car l'obser-



Fig. 11. — Les anciens rivages de la mer Celtique.

vation eut lieu un soir de mardi gras et les hydrographes de l'époque jugèrent que le capitaine n'était peut-être pas en possession de toutes ses qualités techniques. En tout cas, la prétendue vigie se trouverait actuellement par 150 mètres de fond.

A l'ouest du banc de la Chapelle, se trouvent d'autres hauts fonds ayant un caractère insulaire. Parmi ceux-ci figurent le banc de la « Petite Sole » avec un sommet à 115 mètres sous les eaux, et le haut fond du « Président Théodore Tissier » découvert en 1934 et s'élevant jusqu'à 150 mètres. Ces hauteurs sous-marines faisaient sans doute partie d'un même archipel. La position de celui-ci permettrait de supposer qu'on se trouve en présence des fameuses îles Cassitérides, bien que cette position ne corresponde pas à celle indiquée par Ptolémée qui les rapproche de la côte ibérique. On peut évidemment rechercher la place de ces îles légendaires sur un haut fond placé à l'ouest du Cap Finisterre espagnol, mais dans le récit de Pythéas, les Cassitérides se trouvent dans une région où la mer est toujours mauvaise et sont entourées de brouillards ; cette définition correspond bien au bord du plateau continental de la mer Celtique ; à la rigueur on pourrait y retrouver une description des parages du Cap Ortegal, bien que le navigateur phocéén ajoute qu'on y voit rarement le soleil. Une autre raison milite en faveur de la position des îles Cassitérides dans les parages de la Petite Sole, c'est que ces îles étaient célèbres par leur production d'étain et l'emplacement en question se trouve situé sur la ligne qui joint les deux plus importants gisements stannifères d'Europe, celui du Pays de Galles et celui d'Espagne.

L'époque pléistocène est marquée par une importante transgression marine. Une faille volcanique dirigée du Nord au Sud, amena de nombreuses ruptures dans la partie occidentale du plateau franco-britannique ; cette faille est indiquée par de nombreux affleurements de basalte ; elle détermina la

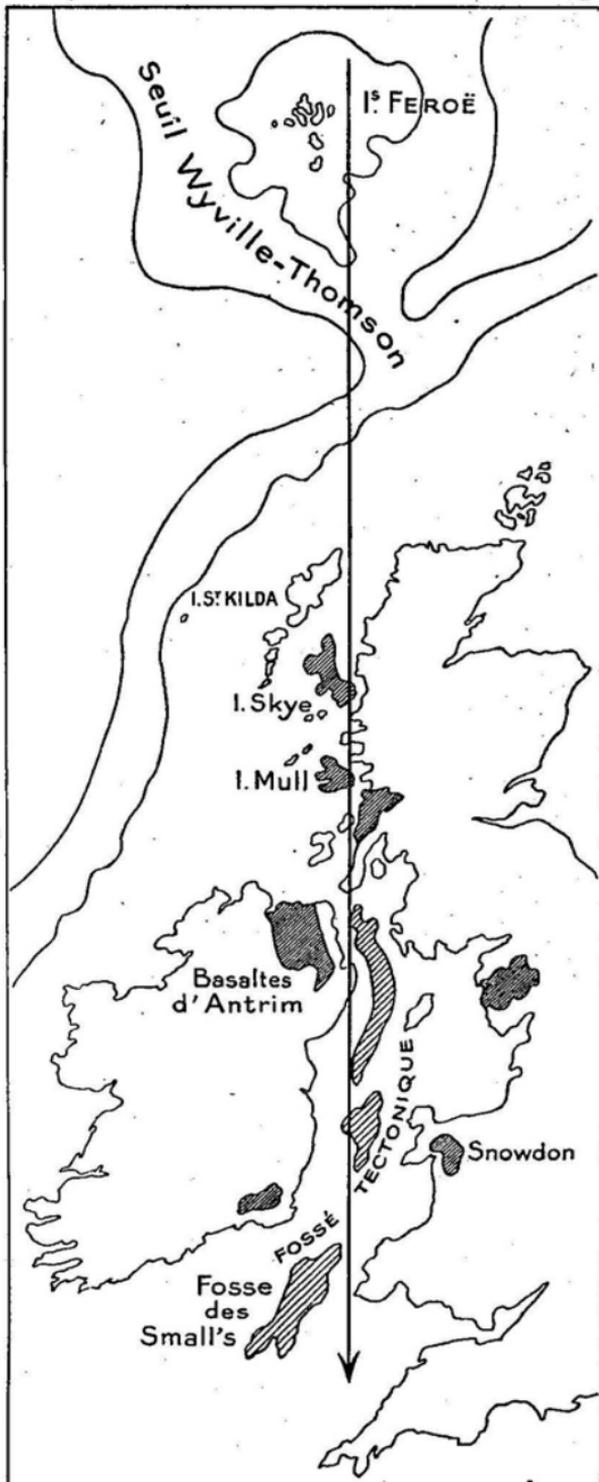


Fig. 12.
Faille volcanique
des
Iles Britanniques.

rupture définitive du seuil Wyville-Thomson, qui unissait encore le plateau franco-britannique à l'Islande ; à la place de l'effondrement surgit le dôme volcanique des îles Feroë. La faille sépara les Hébrides de l'Écosse, ainsi qu'en témoignent les basaltes des îles Skye, Mull et Staffa (grottes de Fingal). Plus au Sud, un véritable fossé tectonique se creuse entre la Grande-Bretagne et l'Irlande, dont les basaltes d'Antrim (Chaussée des Géants) en Irlande et du Snowdon au Pays de Galles définissent les bords. La rupture entraîna l'effondrement de la ligne d'anciens rivages irlandais-armoricaux. Le niveau de base de cet effondrement varie suivant la région ; les rias voisins de l'Irlande sont enfoncés à une profondeur variant de 120 à 130 mètres ; plus au sud ce niveau de base atteint 140 à 160 mètres ; enfin du côté de l'Armorique, l'ancien rivage se trouve maintenant au-dessous de 170 à 180 mètres. La submersion du banc du Porcupine doit se placer vers la même époque.

Du côté oriental, la mer du Nord était encore émergée à l'époque glaciaire. Le Dogger Bank représente un vestige de l'ancienne moraine au même titre que les collines de la plaine flamande (Mont Kemmel, Mont des Cats, Mont Cassel). Les chalutiers ramènent fréquemment les os des mammouths qui vivaient dans l'antique vallée du Rhin. L'effondrement de la partie méridionale de la mer du Nord est donc des plus récents. Les bancs sableux du Horns Riff, de Terschelling et de Flandre, montrent les déplacements successifs du rivage dans cette région. L'affaissement des terrains gagnant la Manche permit l'établissement d'une communication entre la mer du Nord et l'Atlantique. Les derniers phénomènes qui s'y rattachent prennent place dans la période historique. C'est ainsi que disparut sous les eaux la forêt de Scissy, avec les monastères de Saint-Gaud et de Saint-Paterne et de nombreux villages. Le mont Saint-Michel et le roc de Tombelaine étaient des collines au milieu de cette forêt, ainsi que le plateau

des Chausey et des Minquiers. La séparation entre les îles anglo-normandes et le continent avait précédé de peu ce dernier effondrement. On place vers 395 ap. J.-C., dans la baie de Douarnenez la disparition de la ville d'Ys.

Au XII^e et au XIII^e siècle, la mer envahit la plaine des Pays-Bas et transforma le lac Flevo en un golfe : le Zuyderzée. De nos jours, la partie méridionale de la mer du Nord et la Manche orientale semblent être entrées dans une période de comblement, tendant à une nouvelle fermeture du Pas-de-Calais.

C. — *Le golfe de Gascogne.*

Le golfe de Gascogne ou de Biscaye comprend l'étendue marine qui s'avance entre le Finistère armoricain et le Cap Finisterre espagnol. C'est une expansion de la plaine bathypélagique du bassin ibérique. Les grandes profondeurs sont bordées par un plateau continental d'une largeur extrêmement variable. Dans la partie septentrionale, il fait suite au vaste plateau de la mer Celtique, puis il décroît insensiblement jusque vers le 45° N. et là se rétrécit subitement en formant une baie sous-marine très profonde, désignée par les pêcheurs du nom de Fosse de la Fontaine. La falaise continentale suit alors la direction de la côte des Landes, puis s'échancre en formant le « gouf » de Cap Breton.

De la Bretagne à la Gironde, le plateau continental présente trois zones distinctes : à la remontée de la falaise, garnie de formations coralliennes du type *Lophophelia*, succède, entre 150 à 120 mètres, une zone parfaitement plate ; ensuite entre 120 et 90 mètres, de Peumarc'h au large d'Oléron, s'étend une longue vasière, parallèle au bord du plateau continental. Entre 90 mètres et 50 mètres se trouve une troisième zone, très découpée par des cuestas et ayant les caractères d'une ligne d'anciens rivages récemment effondrée.

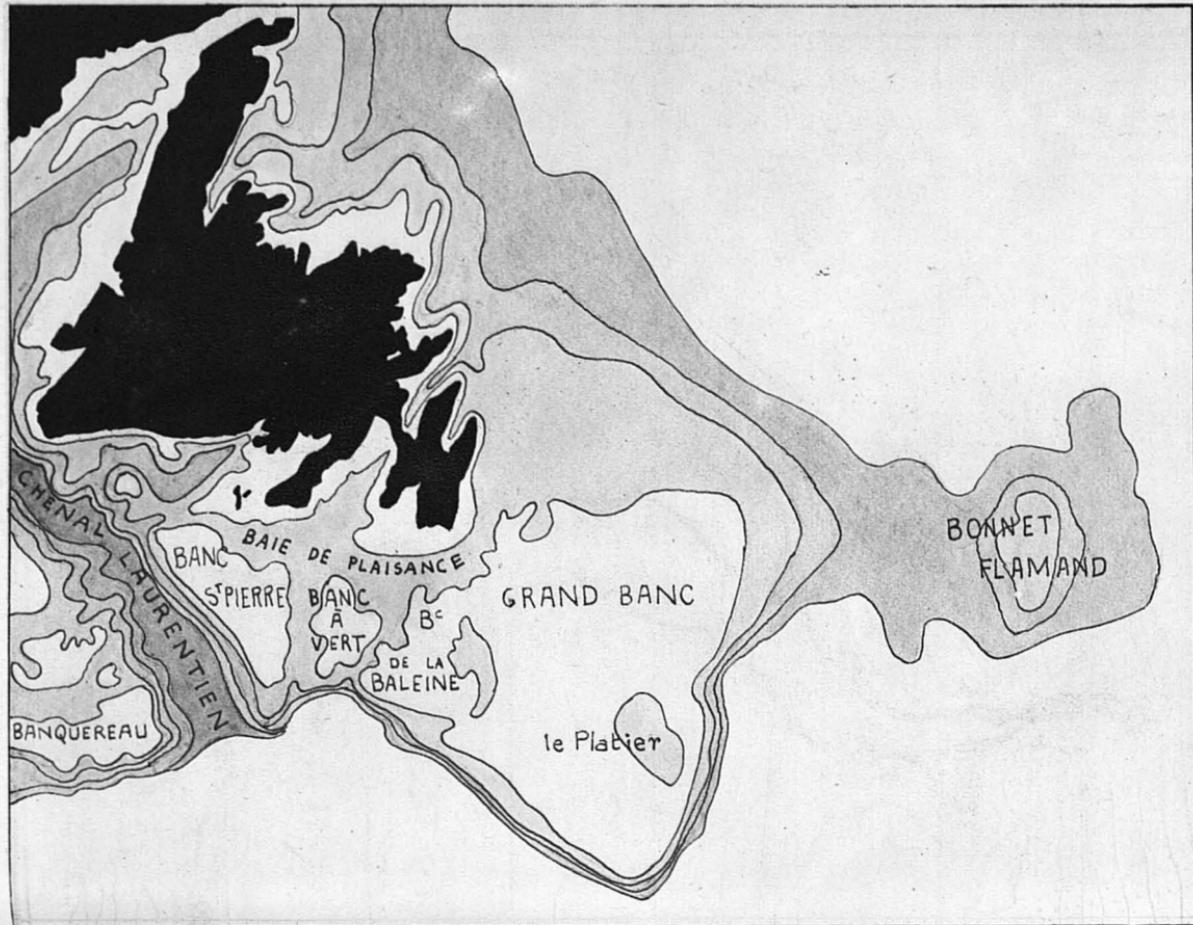
Le Gouf de Cap Breton a toujours été pour les géologues une région de haut intérêt ; les grandes profondeurs arrivent, en effet, presque au contact de la côte. On avait prétendu qu'il était formé de cuvettes étagées sans liaison entre elles, que la vase ne pouvait s'y accumuler par suite de courants violents et que des sources d'eau chaude y débouchaient. Des recherches méthodiques effectuées par le *Président Théodore Tissier*, en 1935, ont permis d'établir une carte détaillée de cette région ; les sondages n'ont indiqué la présence d'aucune cuvette ; la fosse présente, au contraire, une pente rapide mais régulière. Les dragues ont rapporté d'importantes quantités de vase, et l'examen des températures et des salinités n'a pas révélé la présence de sources chaudes.

Le golfe de Gascogne a pour bordure méridionale le plateau continental du Nord de l'Espagne. Cette région est encore assez mal connue ; les cartes marines indiquent que l'étroit plateau continental comprend un certain nombre de crêtes parallèles à la côte, limitant des vallées profondes, les « *pregonas* ». Les sondages espagnols et français ont montré que le plateau a une pente fort abrupte, mais les crêtes et les vallées n'ont pas été retrouvées ; au large existent quelques bancs isolés vers 400 ou 500 mètres de profondeur, dont l'un, découvert par le navire *Président Théodore Tissier* par 5° W. G. et 44° N. porte mon nom. Au nord de la Corogne le plateau s'élargit notablement et se prolonge par une plateforme à l'ouest du Cap Finistère.

Le golfe de Gascogne est une région de transition : du point de vue géologique elle constitue la liaison entre les plissements anciens du système hercynien et le moderne plissement alpin. A diverses époques de son histoire géologique, c'est par le golfe de Gascogne que la communication s'est établie entre l'Atlantique et la Méditerranée. Dans les eaux du Golfe voisinent des poissons septentrionaux, comme le hareng, et



LES BANCS DE LA NOUVELLE-ÉCOSSE



LES BANCs DE TERRE-NEUVE

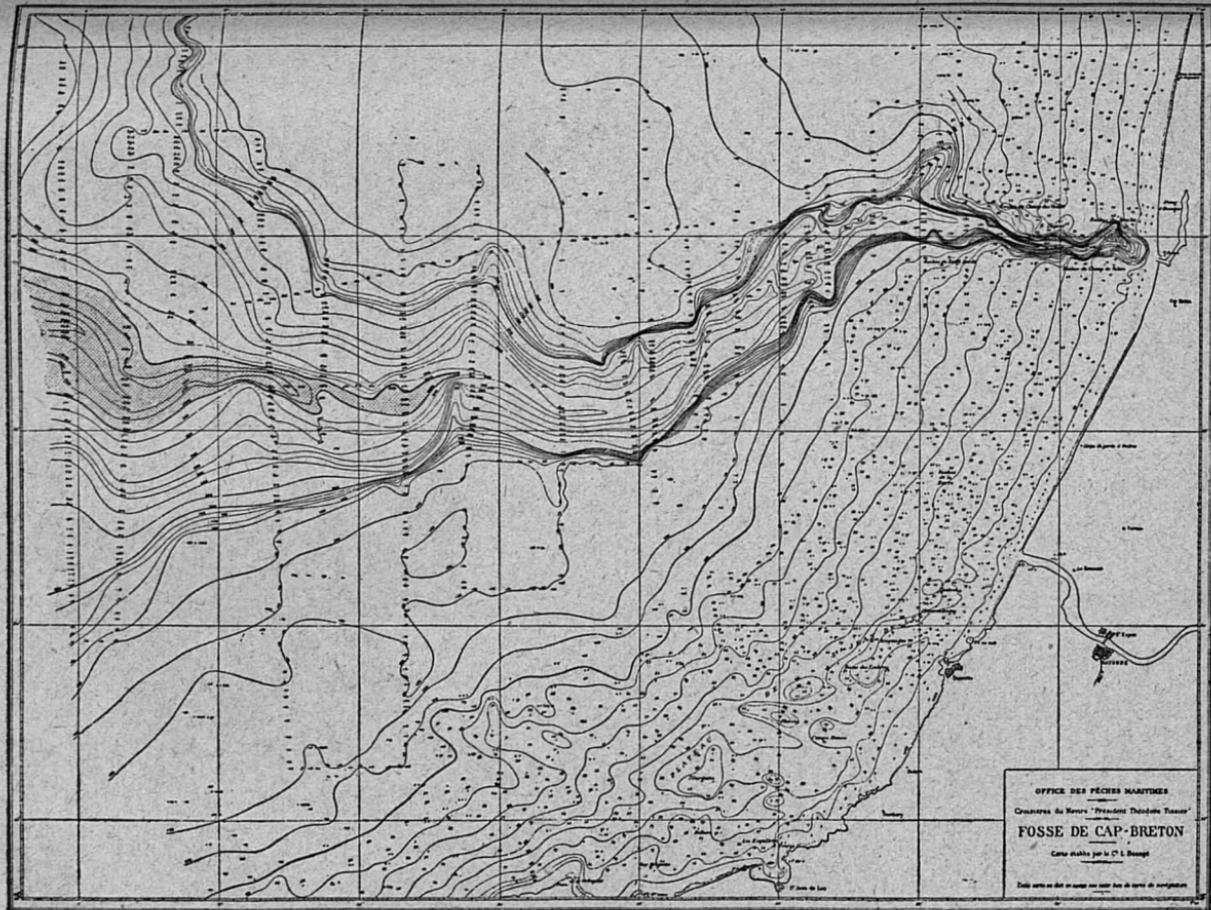


Fig 13. — Carte de la Fosse de Cap-Breton.

des espèces subtropicales, comme les thons et les Sparidés. Et les mêmes remarques peuvent aussi s'appliquer à l'espèce humaine. Le bassin d'Aquitaine a été, depuis la préhistoire, occupé successivement par les civilisations venues du Sud, d'origine africaine et méditerranéenne : race de Cromagnon, Ligures, Ibères, Sarrasins, et par les civilisations venues du Nord : Celtes, Gaulois, Francs, Wisigoths.

Du point de vue géologique, biologique et ethnologique, le seuil du Poitou, illustré par tant de batailles, est la véritable frontière du monde septentrional.

Le mouvement hercynien limita, au Nord et au Sud, le golfe de Gascogne, par deux massifs anciens : le massif armoricain et la Meseta espagnole. A l'époque secondaire, entre ces deux massifs, la mer jurassique s'étendit largement du seuil du Poitou jusqu'aux monts Ibériques, et les transgressions de l'époque crétacique remplirent à leur tour le bassin d'Aquitaine. A l'éocène, le golfe de Gascogne était en liaison avec le golfe anglo-normand qui pénétrait en Manche. La mer couvrait le plateau continental actuel, et de petites baies éocènes atteignaient la région de Gâvre, près de Lorient, et couvraient le Marais poitevin et le Marais breton, sur les côtes de Vendée. Le bassin d'Aquitaine et le bassin de l'Ebre étaient encore unis dans une vaste jonction avec la Méditerranée.

Cette communication fut rompue par le plissement alpin, qui semble avoir surgi sur la côte d'Europe dans le géosynclinal du golfe de Biscaye. Le bassin d'Aquitaine émergea au cours du tertiaire. Le plateau continental entre le Finistère et la Gironde présenta, à demi émergé, un aspect lagunaire, et la grande vasière qui s'étend de Penmarc'h à Oléron est peut-être le vestige résiduel de l'ancien golfe éocène.

C'est sans doute peu après le plissement alpin qu'une faille volcanique, dirigée d'Ouest en Est, déchiqueta le plateau continental du nord de l'Espagne et creusa le Gouf de Cap



Fig. 14. — Thalwegs du golfe de Gascogne.

Breton. Le fleuve Adour suivit le lit creusé par la rupture volcanique et y forma son premier thalweg.

Il y eut probablement, vers l'époque pliocène, une immersion du plateau continental comparable à celle du plateau franco-britannique, et les fleuves qui se jettent dans le golfe creusèrent leurs thalwegs dans la plate-forme émergée. La ligne de cuervas, en bordure de la côte, marquait alors la limite de la grande transgression marine des âges précédents. La Loire venait déboucher vers le 46°20 N. en recevant toutes les rivières vendéennes jusqu'à la Sèvre Niortaise. La Vilaine avait sans doute son cours distinct ; les petits fleuves bretons : Odet, Ellé, Scorff et Blavet se réunissaient en un gros cours d'eau, dont l'embouchure devait être au sud-ouest de Penmarc'h. La Charente, grossie de la Seudre, atteignait le bord du plateau continental vers le 45°30 N. ou, remontant vers le Nord et passant entre l'île de Ré et Rochebonne, rejoignait le bassin Ligérien. Le cours géologique de la Garonne est bien marqué : décrivant une vaste courbe, elle venait se jeter dans la fosse de la Fontaine.

Le plateau continental du Golfe semble s'être affaissé à l'époque pléistocène, sans commotion violente. Dans l'âge actuel, nous assistons à deux séries de phénomènes qui sont, d'une part, une attaque de la mer sur la côte Sud de Bretagne et de Vendée, et d'autre part, une avance des rivages dans la région landaise.

Les terrains anciens de la presqu'île d'Armorique sont rongés depuis des siècles par l'érosion marine ; telle est l'origine bien connue des innombrables îlots et récifs qui bordent cette côte, l'alternance de roches archéennes très dures et de roches primaires plus tendres facilitant cette destruction marine. La presqu'île de Quiberon serait depuis longtemps une île sans les soins de l'administration française qui entretient la route et la voie de chemin de fer unissant la presqu'île au continent. L'île d'Houat se divise aussi en deux morceaux

à la faveur d'un filon de micaschiste placé entre deux massifs granitiques. Cette région a subi, d'autre part, de véritables affaissements, ainsi qu'en témoignent les cromlec'hs submergés en partie du Morbihan.

Sur les côtes de Vendée et de Charente, le commandant Derancourt a montré que les cartes de Ptolémée n'avaient aucun rapport avec la topographie actuelle. Le *Promontorium Santonum*, d'après sa position sur la carte ancienne, s'étendait jusqu'au plateau de Rochebonne. Le *Promontorium Pictonium* aurait même atteint l'île d'Yeu en englobant Noirmoutier. Il est possible que des erreurs dans le calcul des longitudes aient déformé la carte de Ptolémée, mais il semble toutefois certain que la côte française a reculé récemment dans cette région. Il est cependant probable que la séparation de l'île d'Yeu et l'effondrement du plateau de Rochebonne sont antérieurs à l'époque historique.

L'avance de la côte des Landes se continue de nos jours par une progression constante des dunes. Une série d'étangs jalonne l'ancienne ligne des rivages à quelque distance de la mer, et le bassin d'Arcachon présente les caractères d'une lagune en voie de fermeture. C'est la progression des sables qui, de même, a détourné l'Adour de son cours primitif et l'a forcé à s'infléchir pour venir déboucher devant Bayonne.

D. — *La région ibéro-africaine.*

La région ibéro-africaine comprend la partie du plateau continental Atlantique qui domine les plaines bathypélagiques du bassin ibérique et du bassin des Canaries. C'est une zone tourmentée dans son relief, car elle subit l'influence du plissement alpin et de nombreux effondrements pleistocènes.

Le plateau continental accuse, à l'ouest du Cap Finisterre, une large expansion supportant un haut fond de 724 mètres,

puis se rétrécit le long de la côte portugaise en indiquant toutefois le cône de déjection de la vallée du Tage. Là se place le petit archipel des îles Berlingues.

La baie d'Espagne, qui est définie par les côtes de Portugal et du Maroc, et aboutit au détroit de Gibraltar, constitue une véritable petite mer intérieure entre des massifs submergés. Une longue péninsule issue du Cap Saint-Vincent représente sa rive Nord ; elle supporte les bancs du Gettysburg ou de Goringe (45 — 60 mètres), le banc Joséphine, plus profond (1.700 — 1.900 mètres), et se termine par les volcans émergés de l'île de Madère, de Porto-Santo et les basaltes des dangereux récifs des Desertas. La rive Nord, vers l'intérieur de la baie d'Espagne, est jalonnée par le banc de la Seine (150 mètres), le banc de l'Ampère (250 mètres), découvert il y a quatre ans par un navire câblier, et ce dernier est relié par un pédoncule sous-marin au Coral-Patch, aiguille volcanique chargée de formations coralliennes (700 mètres). Cet ensemble représente la rive européenne de la baie d'Espagne.

La rive Sud, qui se rattache au plateau continental africain, est dominée par le banc du Dacia (90 mètres) et l'archipel des îles Salvages, formé de trois îlots principaux, la Grande Salvage, le Petit Piton et le Grand Piton ; puis vers le Sud, une crête sous-marine supporte l'archipel des Canaries. Celui-ci présente la forme arquée caractéristique des crêtes volcaniques et groupe sept îles principales qui sont, de l'Ouest vers l'Est, l'île de Fer, Palma, Gomera, Ténériffe, la Grande Canarie, Fuente-Ventura et Lanzarote. Le banc Concepcion, placé au Nord-Est, représente une île submergée de l'archipel formant un large plateau tabulaire.

Au Sud de la crête des Canaries, le plateau continental présente un certain nombre de sommets appartenant sans doute au type des calderas, dont l'un s'élève à 155 mètres : puis il s'élargit en un socle volcanique que domine l'archipel

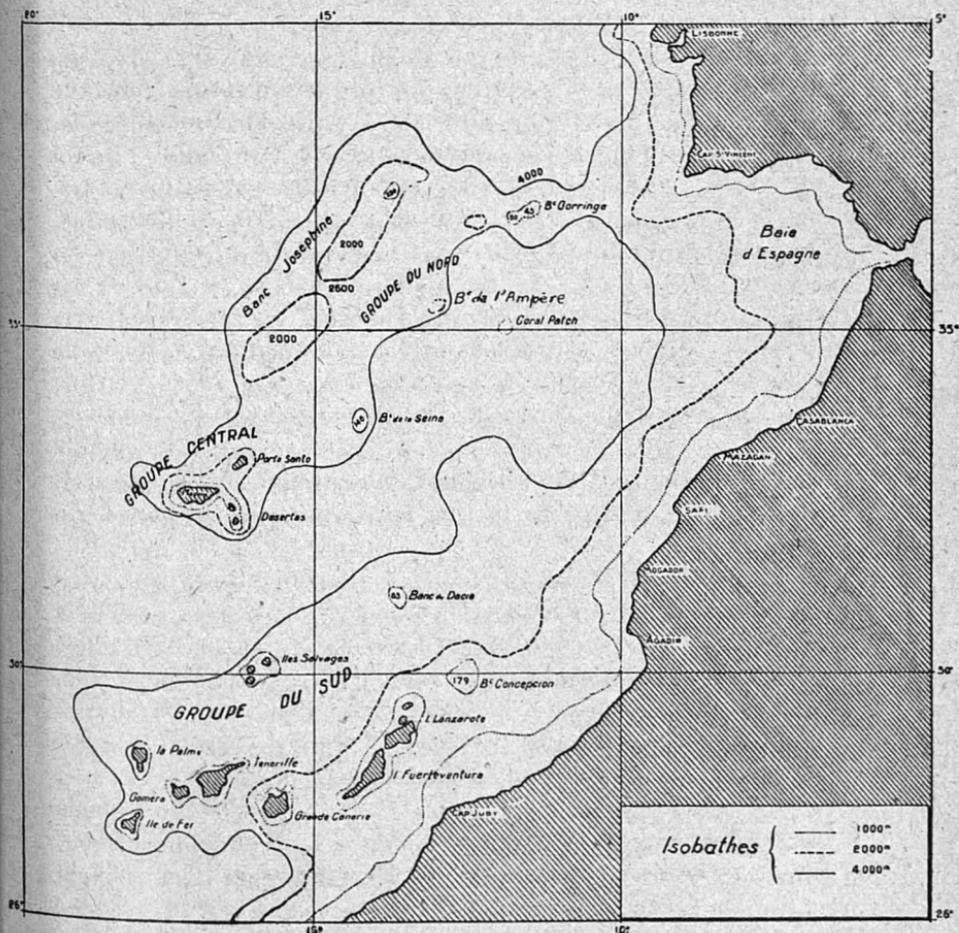


Fig. 15. — Bancs et archipels de la région ibéro-africaine.

des îles du Cap Verd ; c'est de ce socle que part le seuil qui limite le bassin des Canaries.

*
**

Le plissement hercynien, dans la région ibéro-africaine, forma la Meseta espagnole et un massif qui englobait la Sierra Nevada et la chaîne du Rif, le massif Bético-Rifain des géologues. Le plissement alpin fit sortir du géosynclinal Nord-Africain la chaîne de l'Atlas et, de ce fait, le massif Bético-Rifain se trouva limité par deux détroits, au Nord le détroit Bétique, au Sud le détroit Sud-Rifain.

Le caractère volcanique des bancs et archipels qui entourent la baie d'Espagne indique la date récente de cette formation. Elle fut, sans doute, provoquée par des effondrements de terrains anciens appartenant soit à la Meseta Espagnole, soit au Massif Bético-Rifain et postérieurs au plissement alpin.

C'est dans ce sol sous-marin convulsé que doit être recherchée l'histoire récente de l'Atlantide. Nous avons précédemment expliqué que l'Atlantide antéhistorique n'avait qu'une liaison lointaine avec le pont Atlantidien qui unissait les îles du Cap Verd à la région de Porto-Rico et qui s'effondra dès le miocène ; la région de la baie d'Espagne représente, par contre, le site de l'Atlantide platonicienne. D'après les dires du prêtre de Saïs, l'Atlantide comprenait une île principale à laquelle le narrateur donne une taille égale à celle de la Lybie ou de l'Asie — c'est-à-dire de l'Asie Mineure, — et de cette île on passait à d'autres îles, très nombreuses, entourant une mer intérieure. Ce récit, tout fabuleux qu'il paraisse, définit assez bien le continent Bético-Rifain qui constituait l'île principale, et les îles secondaires devaient comprendre l'Archipel de Madère et des Canaries et une partie des autres bancs de la baie d'Espagne alors émergés. Le prêtre de Saïs indique une parenté entre les Atlantes et les peuples du rivage

africain, ce qui est parfaitement conforme aux notions actuelles de l'extension de la race méditerranéenne. Ces populations appartenaient sans doute à une civilisation néolithique et possédaient, comme les Polynésiens, une grande connaissance de la navigation en grandes pirogues. Ceci explique leurs incursions jusqu'aux rivages de l'Égée et leurs combats contre les ancêtres des Athéniens, les Pelasges, qui passent pour avoir été les pirates de la Méditerranée ; et c'est au cours d'une grande randonnée maritime des Atlantes que nous pouvons placer approximativement à 6.000 ans avant notre ère qu'un cataclysme détruisit la grande île de leur royaume, le massif Bético-Rifain. Les bancs de la baie d'Espagne suivirent en partie, dans cet effondrement, le sort de la Grande Ile. Quelques Atlantes, surpris par le cataclysme, se réfugièrent sur les pitons volcaniques des Canaries et devinrent les Gouanches. Cependant un détroit, les Colonnes d'Hercule, se creusait là où avait existé le royaume Atlante, dont deux morceaux isolés, la Sierra Nevada et la chaîne du Rif, attestent encore l'existence. L'effondrement de l'Atlantide platonicienne se limite donc à une zone très restreinte, à un morceau du plateau continental de la région ibéro-africaine.

Cette catastrophe lointaine éveilla l'intérêt des géologues, des historiens et des poètes, et je me rappelle avoir entendu en 1912, à l'Institut Océanographique, une conférence du professeur Termier, qui sut évoquer à la fois les aspects scientifiques, historiques et poétiques de cette ancienne tragédie humaine. En souvenir de ce grand maître, je me permettrai de citer les quelques phrases par lesquelles il décrivit avec émotion la disparition de l'Atlantide :

« Et quand je relis ainsi, dans ma pensée, les pages terribles » de l'histoire de la terre, volontiers, devant la mer qui sourit, indifférente, devant la mer plus belle que les cathédrales, je songe au dernier soir de l'Atlantide, auquel ressemblera peut-être le dernier soir de l'humanité. Tous les

» jeunes hommes sont partis pour la guerre, par delà les îles
 » du Levant et les lointaines Colonnes d'Hercule ; ceux qui
 » sont restés, hommes d'âge mûr, femmes, enfants, vieillards
 » et prêtres, interrogent anxieusement l'horizon marin, espé-
 » rant y voir poindre les premières voiles annonciatrices du
 » retour des guerriers. Mais ce soir, l'horizon est vide et
 « sombre. La mer semble devenir ténébreuse ; et, comme
 » elle, le ciel se charge de menaces. Depuis plusieurs jours, la
 » terre a frémi et tremblé. Le sol s'est fendu çà et là, exha-
 » lant des vapeurs brûlantes. On dit même que, dans la mon-
 » tagne, des cratères se sont ouverts, par où jaillissent des
 » fumées et des flammes, et qui lancent en l'air des pierres
 » et des cendres. Maintenant, il pleut partout une poussière
 » grise et chaude. La nuit est venue tout à fait, effroyablement
 » noire : et l'on ne verrait rien si l'on n'avait allumé quelques
 » torches. Prise soudain d'une terreur folle, la multitude se
 » rue dans les temples ; mais voici que les temples s'écroulent,
 » cependant que la mer s'avance, envahissant le rivage, avec
 » une clameur atroce qui couvre invinciblement toutes les
 » autres clameurs. Quelque chose passe, qui pourrait bien être
 » la colère de Dieu. Puis tout s'apaise ; il n'y a plus ni mon-
 » tagnes, ni rivages ; il n'y a plus que la mer insoucieuse,
 » endormie sous le ciel du Tropic, aux astres innom-
 » brables. »

E. — *La mer Méditerranée et ses tributaires.*

La mer Méditerranée est une région océanique, divisée en quatre bassins bathypélagiques : le bassin occidental, le bassin tyrrhénien, le bassin oriental et le bassin pontique. Le plateau continental du bassin occidental est en général très étroit, mais il s'élargit pour former le socle des Baléares et la Plana de Sète, dans le golfe de Lyon. La profondeur moyenne

du bassin occidental est inférieure à 3.000 mètres ; le golfe Ligurien, qui en dépend, sépare de l'Estérel, le massif Corso-Sarde, qui est uni à la péninsule Italique, par le pont Toscan dominé par l'île d'Elbe.

Le bassin Tyrrhénien, plus profond, dépasse par endroits 3.600 mètres. Le plateau continental qui l'entoure est fort étroit ; il est, vers l'Est, encerclé de volcans : le Vésuve, le Stromboli, Ustica. Au Sud du bassin Tyrrhénien, un relief tourmenté unit la Tunisie à la Sicile. De nombreux sommets volcaniques émergent autour de cette île : vers l'Ouest, les pitons de la Galite et du Galiton, le plateau brisant des Esquerquis, les rochers de Charybde et de Scylla ; vers le Sud, les cratères de Pantellaria, de Linosa, de Lampedusa, du Lampione.

Le bassin Oriental est, en réalité, double, car sa plaine bathypélagique subit un étranglement entre la Crête et la Cyrénaïque. C'est la partie la plus profonde de la Méditerranée. A l'ouest de l'île de Crête, se rencontrent des profondeurs supérieures à 3.000 mètres, avec deux fosses océaniques : la fosse Ionienne et la fosse du Cap Matapan, qui ont respectivement 4.400 et 4.050 mètres. La partie orientale de la plaine a une profondeur moyenne de 2.000 mètres, avec trois vallées abyssales dépassant 3.000 mètres. Le plateau continental, vers l'ouest du bassin, est extrêmement large dans les Syrtes ; le golfe de Gabès représente une région en voie de comblement, à cause de l'apport constant des sables du désert. Un grand plateau sableux, stabilisé par des herbiers à Posidonies, s'étend très loin vers le large et constitue des fonds spongifères de premier ordre.

La mer Adriatique est tributaire du bassin Oriental. Elle représente une ancienne fosse en voie de comblement, qui atteint sans doute de grandes profondeurs au moment du plissement alpin.

La mer Egée ou de l'Archipel, récemment formée, est une

mer de faible profondeur, avec une fosse orientée du Nord au Sud, et variant de 500 à 1.000 mètres entre Lemnos et Santorin. Dans la partie orientale du bassin, le plateau continental subit deux élargissements, l'un dû aux apports du Nil, et l'autre dans le golfe d'Alexandrette, avec un seuil unissant Chypre au continent.

Le bassin Pontique (ou mer Noire), actuellement rattaché au bassin méditerranéen malgré son origine boréale, est en communication avec la mer Egée par la mer de Marmara et les détroits. Elle comprend deux parties distinctes, une large fosse, dans sa partie méridionale, avec des fonds moyens de 2.000 mètres et, dans la partie septentrionale, un plateau continental, très étendu et très peu profond, qui comprend la totalité de la mer d'Azov et du golfe de Bessarabie. Cette partie de la mer Noire représente la région de comblement de quatre grands fleuves : le Danube, le Dniepr, le Dniestr et le Don.

La mer Méditerranée, par suite de son absence de marées, est une mer à deltas. Les plus importants sont ceux du Nil, du Danube, du Pô et du Rhône. Sur le cône de déjection fluviale émergent des bancs alluvionnaires ; ils s'unissent pour former des lagunes, et celles-ci, en se fermant, se transforment en lacs salés, tandis que le delta continue au dehors son avance. Le delta du Danube, remarquablement étudié par le professeur Grégoire Antipa, a un autre caractère qui le rapproche du type des deltas neufs, comme celui du Mississipi. Sa progression est essentiellement végétale ; il se forme en surface un enchevêtrement de plantes, amenant la formation d'énormes îles flottantes, qui montent et descendent suivant les crues du fleuve. On donne le nom de « plaur » à ce facies spécial. Ces îles finissent par se fixer à la rive et consolident le delta, tandis que le plaur continue à se former vers le large. La croûte du plaur est tellement épaisse qu'elle ne permet pas l'oxygénation des eaux sous-jacentes. On doit à Antipa

d'avoir incité le gouvernement roumain à creuser dans cette masse végétale de profonds canaux qui ont permis l'aération des eaux profondes et transformé cette région en une vaste exploitation piscicole.

*
**

Après le plissement hercynien, la rive nord de la Méditerranée actuelle était jalonnée de massifs plus ou moins liés les uns aux autres. D'ouest en est, se trouvaient la Meseta espagnole, avec le massif Bético-Rifain, le massif Central, le massif Corso-Sarde, relié aux monts des Maures et de l'Estérel ; plus au nord, le massif des Vosges et de la Forêt Noire, le massif de Bohême, le horst de Croatie, et les continents de l'Egée et de l'Angara, qui reliaient la plaine de Thrace, par l'emplacement de la mer Egée, à l'Asie Mineure.

Du côté du sud, la côte d'Afrique était constituée par les massifs de Sénégambie, la région du Tibesti et les parties anciennes de l'Égypte et de l'Arabie. Entre ces rivages fort éloignés les uns des autres, se creusait un vaste géosynclinal qui dépendait du système de la Tethys. La mer circumterrestre géologique traversait alors tout l'Atlantique, en longeant vers le Sud les côtes du continent africo-brésilien, et se continuait, par le détroit Darien, dans le Pacifique. Vers l'Est, la Tethys couvrait la Syrie et la Mésopotamie, pénétrait au cœur de la Perse et se rétrécissait entre le continent Nord-Asiatique, formé des parties anciennes des plateaux du Thibet, et la Lémurie, masse continentale reliant le Dekkan à Madagascar. La Tethys occupait alors la région de l'Insulinde entre Bornéo et l'Australie, jusqu'à l'Océan Pacifique.

Les dépôts des mers jurassiques et crétaciques limitèrent légèrement l'étendue de la Tethys, mais c'est après l'éocène qu'elle fut complètement morcelée par le plissement alpin.

Celui-ci se développa, en effet, dans le géosynclinal même de la Tethys, à peu de distance de la ligne de rivages de la mer crétacique dont il remonta en surface les dépôts marins.

On donne, en règle générale, comme lieu de naissance à ce plissement, la région américaine des Alleghany. Certains géologues le font venir de plus loin encore, d'Asie, et l'appellent « mouvement altaïque ». Quoi qu'il en soit, il traversa l'Océan au sud du rivage crétacique du continent Nord-Atlantique, et atteignit la côte européenne dans le fond du golfe de Gascogne. Sa surrection se marque dans le bassin éocène qui unissait la région de l'Aquitaine ; la direction du plissement, dans son parcours européen, indique une tendance constante à se former du Nord-Ouest au Sud-Est et il ne se détourne de cette orientation que lorsqu'il se heurte à des massifs anciens ou à des zones de très grande profondeur. A son émergence de la faille Nord-Cantabrique, le plissement alpin se divise en deux branches ; l'une d'elles suit l'axe de la direction primitive : c'est la chaîne ibérique, qui sépare le bassin de l'Ebre de la plaine de Castille ; ce rameau, dépassant la péninsule, pénétra dans la Méditerranée, en faisant surgir le plateau continental des Baléares, et se noya dans les profondeurs. C'est à l'autre branche qu'est due la surrection des Pyrénées. La chaîne coupa le golfe de Lyon en formant la Planasse de Sète et vint se heurter au massif Corso-Sarde, près de l'Estérel. Cette rencontre amène un changement total de direction ; le plissement, dans une courbe immense, crée la chaîne des Alpes qui s'infléchit sous l'influence des massifs Vosges-Forêt Noire et de Bohême. La chaîne alpine détermina en bordure une profonde fosse océanique gardant la même courbe, et qui est maintenant comblée par des alluvions récentes, c'est la plaine du Pô.

Au moment de son heurt contre le massif Corso-Sarde, la chaîne alpine se continua dans le géosynclinal placé à l'Est de ce massif, en reprenant sa direction primitive sud-ouest,

nord-est. Ainsi furent formés les Apennins qui ayant marqué l'emplacement de la péninsule Italique se trouvèrent en contact avec les grandes profondeurs du bassin oriental méditerranéen ; la chaîne apennine dévia vers le Sud-Ouest, constitua le pont italo-tunisien et se développa dans le grand géosynclinal de l'Afrique du Nord ; ainsi sortit des eaux, l'Atlas, qui se propagea jusqu'au bassin bathypélagique des Canaries. Les bancs sous-marins, découverts en 1933 par le *Président Théodore Tissier* au large du cap Ghir, marquent le point d'envoyage de ce rameau alpin.

La grande chaîne des Alpes, en continuant sa route vers l'Est, vint buter contre le horst de Croatie et se trouva, par ce heurt, divisée en deux branches qui empruntèrent deux géosynclinaux fort différents. Une partie de la chaîne, reprenant sa direction type vers le Sud-Est, longea le horst dans un mouvement parallèle à celui des Apennins et constitua les Alpes d'Illyrie, la chaîne du Pinde, puis emprunta le géosynclinal qui suivait la côte Sud de la masse continentale de l'Egée et de l'Angara, en formant l'île de Crète. Ce rameau s'étendit jusqu'au nord de Chypre, vers le golfe d'Alexandrette. L'Adriatique représente la fosse océanique de bordure de ce mouvement.

La seconde branche du plissement s'inséra entre le Nord du horst de Croatie et le massif de Bohême, et pénétra dans le géosynclinal de la dépression Aralo-Pontique. Dans cette région elle se manifesta par la formation des Karpathes en décrivant la courbure caractéristique des formations orogéniques ; mais vers le Sud, nouveau heurt contre le massif de Valachie, recouvert maintenant par les alluvions du Danube. Le plissement contourne ce massif vers l'Ouest, et longe la côte nord de l'Egée, en donnant naissance à la chaîne Balkanique, puis elle surgit du géosynclinal de la fosse Pontique, vers le Sud de la Crimée et engendre la grande chaîne Caucasienne.



LA MER DES ANTILLES



LA MER DES ANTILLES DU SUD

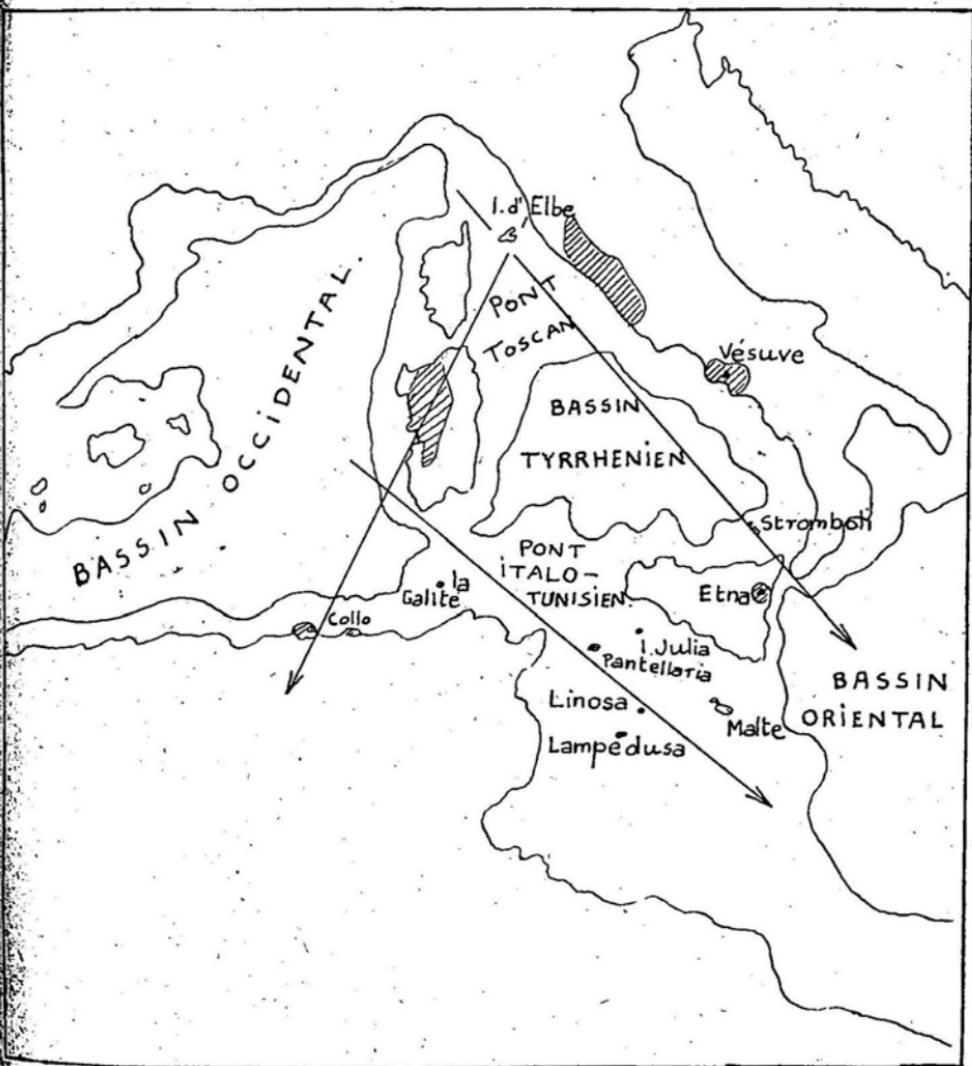


Fig. 17. — L'activité volcanique en Méditerranée Occidentale.

Le mouvement alpin se continue ensuite en Asie en suivant le géosynclinal du Nord de la Tethys, formant successivement l'Elbourz, les monts du Turkestan et l'Himalaya. Nous laisserons de côté cette évolution du mouvement alpin, dans une région trop éloignée de l'Atlantique et de ses tributaires.

Le plissement alpin, par le morcellement de la Tethys, avait formé la Méditerranée Occidentale et la Méditerranée Orientale ; cette dernière s'étendait encore très loin vers l'Est, jusqu'à la Perse. Les dépôts sédimentaires du tertiaire s'accumulèrent autour du relief montagneux, en constituant les bassins des grands fleuves méditerranéens. La clôture de la Méditerranée du côté oriental relève de l'époque pliocène ou pléistocène ; une grande faille volcanique, orientée du Nord au Sud, fit jaillir, à son départ, les monts d'Arménie, la chaîne du Liban, puis creusa le lac Arabe et le grand fossé tectonique africain, marqué par les grands lacs, et qui s'étend jusqu'au Cap.

La Méditerranée Orientale et la Méditerranée Occidentale, étaient alors séparées par deux ponts qui limitaient la cuvette Tyrrhénienne ; l'un d'eux unissait la Sardaigne à la Tunisie et l'autre, la Tunisie à la Sicile. Trois failles volcaniques rompirent ces émergences continentales ; le pont Sardo-Tunisien fut brisé par la fracture que marquent les terrains volcaniques du mont Ferru, en Sardaigne, et de Collo, en Algérie. Une autre faille coupa le pont italo-tunisien à la place indiquée par Pantellaria et Lampedusa. Enfin la communication italo-sicilienne fut rompue par la faille : île d'Elbe-Stromboli-Etna. Ces dernières ruptures ont pris place à une époque géologique récente, alors que l'humanité occupait déjà la région méditerranéenne. Le pont italo-tunisien ne dut guère être rompu qu'à la fin du moustérien puisqu'il laissa passage à la race négroïde de Grimaldi.

Les derniers mouvements sismiques qui ont donné à la Méditerranée sa forme actuelle appartiennent à la période

anté-historique et se localisent vers 6.000 ans avant notre ère. Nous avons vu que c'est vers cette époque qu'on peut placer la disparition du massif Bético-Rifain, ou Atlantide platonicienne, et le creusement des colonnes d'Hercule. A la même époque un autre séisme affecta la Méditerranée Orientale ; une faille volcanique, orientée du Nord au Sud, entre Lemnos et Santorin, détermina l'effondrement de l'Égée et établit la communication entre le bassin méditerranéen et la dépression Aralo-Pontique. Ce cataclysme correspond au déluge des Pelages, symbolisé par le mythe de Deucalion et Pyrrha, et au déluge biblique.

Les mouvements volcaniques se font encore sentir avec intensité dans la Méditerranée Centrale où les volcans d'Italie et de Sicile sont toujours en pleine activité. Le relief sous-marin est également soumis à de subites transformations, particulièrement dans la zone placée au Sud de la Sicile où s'étend le plateau sous-marin de l'Aventure.

En juillet 1831, le capitaine d'un navire anglais, qui croissait dans cette région, se trouva en présence d'une île qui ne figurait sur aucune carte marine ; il la nomma île Julia et en prit possession au nom du roi d'Angleterre. Le roi d'Aragon et des Deux-Sicules, légitimement ému de la proximité de cette nouvelle colonie anglaise, envoya un navire pour reconnaître l'île et en prit possession à son tour en la faisant nommer Ferdinandéa. Une querelle diplomatique s'engagea entre les chancelleries d'Angleterre et du royaume de Naples, à laquelle l'île elle-même mit fin en disparaissant sous les flots, en décembre 1831. L'île Julia a, depuis, réapparu en 1863, mais pendant un temps si court que personne ne put en prendre possession. Cette île intermittente est un témoignage de l'extrême mobilité des fonds de cette zone méditerranéenne.

F. — *La zone du bouclier canadien :
Bancs de Terre-Neuve, de la Nouvelle Écosse et du Maine.*

Entre le 40° et le 48° de latitude Nord, le plateau continental américain présente une large expansion qui prolonge vers le large, dans la profondeur, les côtes du Maine, de la Nouvelle-Écosse et de l'île de Terre-Neuve. Cet ensemble de hauts fonds est divisé en deux parties par un chenal sous-marin, le chenal Laurentien, qui représente le thalweg immergé du grand fleuve canadien, le Saint-Laurent. A l'ouest du chenal se trouvent les bancs du Maine et de la Nouvelle-Écosse, et à l'Est les bancs de Terre-Neuve (Pl. IX et X).

Le golfe du Maine, entre le Cap Cod et la Nouvelle-Écosse, est bordé par un trottoir littoral formé d'abrupts de failles, et jalonné par des cuestas, circonscrivant une vallée sous-marine, qui descend vers les profondeurs par un étroit chenal. Celui-ci est limité au Sud par le banc George qui fait suite au Cap Cod, et du côté du Nord par les bancs de la Nouvelle-Écosse. Le golfe du Maine comporte, au Nord, une baie profonde, la baie de Fundy, qui isole du continent américain la péninsule de la Nouvelle-Écosse.

Les bancs de la Nouvelle-Écosse sont séparés de la presqu'île par une longue vallée longitudinale, la vallée d'Halifax, qui atteint, par place, 300 mètres. Ils se trouvent placés en bordure du plateau continental. Ce sont : le banc Brown, le banc de la Hève, le banc Émeraude, le banc de l'île de Sable, le Banquereau ; le long du chenal Laurentien se trouvent le banc de Misaine et le banc d'Artimon. La vallée d'Halifax est séparée en deux parties assez distinctes par d'autres hauts fonds placés entre l'île de Cap Breton et l'île de Sable : le banc de Canso et les Middlegrounds. Des chenaux profonds séparent les uns des autres ces différents bancs et mettent

en communication la vallée d'Halifax et le bord du plateau continental. Seule, l'île de Sable émerge à la surface sous forme d'un long croissant sablonneux d'une longueur de 7 kilomètres et d'une largeur de quelques centaines de mètres.

Le littoral Sud de l'île de Terre-Neuve est fort découpé et domine une baie profonde, la baie de Plaisance, située entre la presqu'île d'Avallon et le petit socle des îles de Saint-Pierre, de Miquelon et de l'Anglade. La fosse de Plaisance, qui atteint dans certains endroits plus de 200 mètres, est isolée du bord du plateau continental par les bancs de Terre-Neuve. Ceux-ci sont au nombre de quatre, à savoir, d'Ouest en Est, le banc Saint-Pierre, le Banc-à-Vert, le banc de la Baleine et le Grand Banc ; entre ces bancs se trouvent divers chenaux. Toutefois, la séparation entre le banc de la Baleine et le Grand Banc est moins accusée, bien qu'une vallée de 90 mètres de profondeur leur serve de limite. Celle-ci, dans sa partie centrale, présente des brassiages de 125 mètres, dans la région appelée par les pêcheurs : le Trou Baleine.

Le Grand Banc de Terre-Neuve, extrêmement étendu, a la forme générale d'un triangle isocèle avec son sommet vers le Sud ; vers l'Est, une plate-forme ovale, le Platier, varie en profondeur de 40 à 50 mètres. Du côté du Nord émerge un groupe de récifs : les Virgin Rocks. Il existe sur le Grand Banc des pitons isolés recouverts à peine de 15 à 20 mètres d'eau, les bancs Bertel et Heuzé. A l'Est du Grand Banc existe un haut fond isolé, le Bonnet Flamand, dont la profondeur varie de 130 à 180 mètres, et qui se rattache au système des bancs de Terre-Neuve.

L'estuaire du Saint-Laurent, avant d'aboutir au chenal Laurentien, resserré entre le Cap Raye, de l'île de Terre-Neuve, et l'île de Cap Breton, forme une petite mer intérieure comprenant deux parties bien distinctes : du côté du Nord, une zone profonde, en liaison avec le détroit de Belle-Isle, entre Terre-Neuve et le Labrador et, au Sud, une région de

faible profondeur, la baie des Chaleurs, de laquelle émergent les îles de la Madeleine et l'île du Prince Édouard.

★
★★

Le bouclier canadien appartient aux plus anciennes formations de la terre puisqu'il se rattache au plissement huronien. Il a subi une érosion profonde et se morcela dès l'époque secondaire, dans l'Amérique boréale. Nous avons déjà signalé l'existence ancienne du golfe groënlandais, mais en dehors de cette profonde découpure, les transgressions géologiques des mers secondaires ne pénétrèrent pas sur le socle canadien. A l'époque crétacique, la limite du plateau continental, du Cap Cod aux bancs de Terre-Neuve, marquait encore le rivage émergé de cette région.

La grande glaciation pléistocène y a laissé des traces caractéristiques qui ont été bien étudiées par le géologue américain Shepard. D'après celui-ci, la zone qui a subi les plus grandes modifications serait celle du banc George. L'étude géologique a permis, en effet, à Shepard, de déterminer que ce banc constitua d'abord un cuesta émergé qui, ensuite, s'enfonça à une faible profondeur et put subir l'érosion glaciaire ; mais le développement des glaciers recouvrit le banc George de formations morainiques assez importantes pour émerger ; celles-ci, au moment de la fusion de la glace, furent creusées par des thalwegs de fleuves issus des glaciers, qui rongèrent le banc ; ce travail d'érosion fut continué par la suite par des courants marins.

Shepard a démontré que le chenal qui sert de sortie au golfe du Maine était également d'origine glaciaire et, de plus, il a montré que ce caractère se retrouvait dans la baie de Fundy, qui servait de déversement à deux glaciers principaux, l'un venant du Nord, de la baie des Chaleurs, à travers le nouveau Brunswick, et l'autre à l'Ouest, par la baie Passamaquoddy.

Le profil sous-marin de la baie de Fundy ne laisse aucun doute sur son origine glaciaire, car elle a la structure d'un fjord avec un seuil bien marqué.

En 1934, avec le navire *Président Théodore Tissier*, nous avons retrouvé, près du Banquereau, une vallée glaciaire sous-marine, extrêmement typique. Le chenal qui sépare le Grand Banc du banc de la Baleine, a la même origine, et le Trou Baleine représente l'ombilic de l'ancien fjord. On peut donc dire que toute cette zone, au pléistocène, servit d'écoulement vers la mer au grand glacier américain.

La disposition des bancs de Nouvelle-Écosse et de Terre-Neuve, en bordure du plateau continental, et la présence des vallées profondes d'Halifax et de Plaisance, permet d'attribuer, tout au moins pour une partie, une origine morainique à ces bancs. On a beaucoup discuté sur cette origine ; certains ont déclaré que les bancs avaient été entièrement constitués par des minéraux arrachés par les icebergs de la grande banquise polaire, aux côtes de Sibérie et de Groënland, transportés par eux et accumulés au moment de leur fusion ; d'autres ont limité l'apport glaciaire, aux moraines du glacier américain. Ces théories sont partiellement vraies, mais il est nécessaire de considérer qu'elles sont insuffisantes pour expliquer des formations aussi importantes que la plate-forme terre-neuvienne. Il y a, à la base, un socle primitif, résultant de l'effondrement d'un morceau du continent huronien. Cet effondrement prend place, sans doute, à une date récente. Il fut provoqué par une faille volcanique orientée Nord-Est Sud-Ouest, ainsi qu'en témoignent les terrains de la Nouvelle-Écosse, et l'orientation des abrupts de failles du golfe du Maine. C'est sur le socle continental submergé qu'ont pu se déposer, par la suite, les apports des icebergs. Le haut fond du Platier semble particulièrement caractériser ces apports, d'autant plus qu'il se trouve sur le chemin habituellement parcouru par les blocs détachés de la banquise polaire.

G. — *La mer des Antilles.*

La mer des Antilles est comparable à la Méditerranée, car elle représente également une fragmentation océanique et non pas une mer tributaire à faciès néritique ou épicontinental. Elle se divise en trois parties profondes bien marquées : le golfe du Mexique, la mer du Yucatan et la mer Caraïbe (Pl. XI).

Le golfe du Mexique compte des profondeurs allant jusqu'à 3.600 mètres ; il est limité par deux seuils, dont l'un joint la presqu'île du Yucatan à Cuba et dont l'autre va de cette île à la Floride et supporte les îles Bahamas.

La mer du Yucatan est la plus profonde. On y trouve, en effet, la fosse de Bartlett ou des îles Caïmanes, qui dépasse 6.000 mètres ; elle est limitée au Sud par un seuil qui unit Haïti, la Jamaïque et le Nicaragua. Enfin la mer Caraïbe est la cuvette la plus vaste de la Méditerranée Antillaise : elle est circonscrite du côté oriental, par la crête des Iles-au-Vent et présente une fosse de 5.000 mètres. A l'intérieur de la mer Caraïbe, et rattaché aux Iles-au-Vent, se trouve l'îlot des Oiseaux, ou île Aves, ancien cratère émergé.

La mer des Antilles est donc placée entre deux systèmes volcaniques, l'un continental, formé par l'Amérique Centrale, l'autre insulaire, constitué par la crête des Antilles. A l'extérieur de ce dernier, la fosse abyssale de Porto-Rico suit la courbure de la crête Antillaise et dépasse 8.500 mètres.

De même que la Méditerranée européenne, la mer des Antilles représente une zone de fermeture de la Tethys. L'emplacement actuel de l'Amérique Centrale correspond, en effet, à celui du détroit Darien, à travers lequel la Mésogée pénétrait dans l'Océan Pacifique. Les ouvertures et fermetures du détroit Darien ont varié à diverses reprises, dans les âges géologiques, en respectant toutefois le massif ancien de

l'isthme de Tehuantepec. Il est probable que cet îlot ancien fut rattaché à l'Amérique du Nord dès l'époque crétacique, et le détroit Darien s'ouvrait entre le Yucatan et Panama. Le golfe du Mexique communiqua largement avec l'Atlantique jusqu'à l'éocène. Les dépôts de cette dernière période limitèrent ce golfe par les formations tertiaires du Yucatan, de Cuba et de la Floride. La fermeture du détroit Darien est contemporaine de la surrection des Andes, et due à la formation des massifs volcaniques du Popocatepetl, du volcan de Fuego et du Turrialba.

Postérieurement à cette clôture occidentale de la Mer des Antilles, doit se placer l'émergence de la crête des Iles-au-Vent et le creusement de la fosse de Porto-Rico. L'activité volcanique dans cette crête récente est encore intense, ainsi qu'en a témoigné, en 1902, l'éruption de la montagne Pelée, qui détruisit Saint-Pierre de la Martinique.

H. — *La mer des Antilles du Sud.*

La description océanographique de cette mer est à peu près entièrement due aux expéditions du « *Meteor* » et de la « *Discovery II* ». Les hydrographes allemands ont été frappés de l'analogie de cette région marine et de la mer des Antilles, et G. Wüst a proposé le nom de Mer des Antilles du Sud.

Du côté occidental on ne trouve pas de fermeture continentale complète comme dans la mer des Antilles. La communication entre l'Atlantique et le Pacifique, dans cette nouvelle Mesogée que constitue l'Océan Austral, est assurée par le détroit de Drake entre la Terre de Feu et les archipels de l'Antarctide américaine : île de Joinville, terre Louis-Philippe, terre de Graham. A l'ouest du détroit de Drake se rencontrent les grandes profondeurs de la mer de Bellingshausen.

L'étendue propre de la mer des Antilles du Sud, peut être définie, à partir de la Terre de Feu, par le plateau continental des îles Malouines, un haut fond de 38 mètres à l'Est de ce plateau, l'île de la Géorgie du Sud ; du côté de l'Est, la crête des Sandwich du Sud ; comme limite méridionale, séparant la mer des Antilles du Sud de la mer de Weddell, on trouve un haut fond de 543 mètres, puis l'archipel des Orcades du Sud et celui des Shetlands du Sud, proche de la terre de Graham.

La profondeur moyenne de la mer des Antilles du Sud dépasse 3.000 mètres, avec deux vallées profondes, du côté des Malouines, atteignant 5.100 et 5.800 mètres.

Les terres de la bordure occidentale, américaines et antarctiques, de même que les archipels de la bordure orientale, sont tous de formation volcanique récente. Épousant strictement la courbure de la crête des Sandwich du Sud, s'étend une longue fosse abyssale en croissant, portant le nom de l'archipel, et dépassant 8.700 mètres. C'est la partie la plus profonde de l'Atlantique (Pl. XII).

*
**

La similitude de la mer des Antilles et de la Mer des Antilles du Sud, leur analogie avec les mers bordières du Pacifique Occidental, des comparaisons avec la Méditerranée européenne peuvent permettre d'envisager d'un point de vue très général, la formation de clôtures continentales déterminant un morcellement océanique ; mais dans ces diverses régions marines, le phénomène de morcellement se trouve actuellement à des stades différents de son développement et, de plus, subit des variations suivant la disposition des continents émergés.

Les caractères communs de ces mers qui se sont constituées par rupture d'une continuité marine, de type océanique, sont les suivants :

1° Formation d'une barrière continentale continue, vers l'Ouest ;

2° Formation d'une barrière insulaire, à forte courbure et à jalonnement volcanique, vers l'Est ;

3° Présence d'une fosse océanique de caractère abyssal, excédant en général 8.000 mètres, en bordure, du côté oriental, de la crête insulaire.

4° Division de l'étendue marine localisée par des seuils, déterminant des cuvettes profondes.

Toutes les grandes fosses abyssales des divers Océans excédant 8.000 mètres, se trouvent, sans exception, placées à la partie orientale d'une crête insulaire volcanique, déterminant une rupture de la continuité océanique, à savoir :

- la fosse de Porto-Rico ; mer des Antilles ;
- la fosse des Sandwich du Sud ; mer des Antilles du Sud ;
- la fosse des Kouriles (partie Nord) ; mer d'Okhostk ;
- la fosse des Kouriles (partie Sud) ; mer du Japon ;
- la fosse des Philippines ; mers de l'Insulinde ;
- la fosse des Mariannes ; mer des Philippines ;
- la fosse des Tonga ; mer de Corail.

On peut considérer que toutes ces mers, à caractère de rupture océanique, indiquent des formations continentales en voie de surrection. La mer intérieure appuyée vers l'Ouest sur sa barrière continentale, limitée vers l'Est par sa barrière insulaire, se réduit à des cuvettes qui finissent par se combler. Ces cuvettes sont appelées à se transformer en plaines alluvionnaires, comparables à celles qui furent témoins des anciens plissements, comme la plaine indo-gangétique, la vallée du Rhin, la vallée du Pô, ou la Limagne, dans lesquelles on ignore encore l'épaisseur de la sédimentation pléistocène.

Nous trouvons sur le trajet de l'antique Tethys quatre mers de rupture océanique, à des phases différentes de leur évolution, à savoir, par ordre d'ancienneté :

- la Méditerranée,
- la mer des Antilles,
- les mers de l'Insulinde,
- la mer des Philippines.

Dans la Méditerranée, les caractères ont été légèrement effacés par le temps. Il n'en reste pas moins que la ligne des volcans italiens et de la région sicilo-tunisienne a dû correspondre à la crête orientale d'archipels volcaniques, limitant les cuvettes de la mer Tyrrhénienne et du bassin occidental. L'Adriatique, en partie comblée et les fosses de la mer Ionienne et de Matapan représenteraient les fosses abyssales, bordant cette crête.

Nous trouvons un meilleur exemple dans la mer des Antilles ; celle-ci correspond, en effet, exactement, au type que nous avons caractérisé : clôture continentale, à l'Ouest, formée par l'Amérique Centrale ; crête insulaire orientale formée par les Antilles ; division en trois bassins par des seuils transversaux et présence de la fosse abyssale de Porto-Rico.

C'est une phase moins évoluée qui se rencontre dans les mers de l'Insulinde. En effet, la clôture continentale de l'Ouest est ébauchée, mais non achevée ; elle est constituée par la presqu'île de Malacca et la ligne des îles de la Sonde, Sumatra, Java, Bali, Florès, Timor.

De même autrefois, la clôture du détroit Darien dans la mer des Antilles, commença par un archipel volcanique dont les principales émergences furent le Popocatepetl et les volcans de Fuego et de Turrialba. La mer de l'Insulinde comporte, sous forme des Philippines, la crête insulaire orientale caractéristique ; elle comprend quatre cuvettes profondes, séparées par des seuils transversaux : les mers de Chine, de Sulu, de Célèbes, et de Banda. La fosse abyssale orientale est celle des Philippines.

Enfin, comme quatrième mer de rupture du trajet de la

Tethys, et celle-ci à peine ébauchée, nous pouvons compter la mer des Philippines.

Sans attendre la clôture définitive de la mer de l'Insulinde, la mer des Philippines se forme déjà du côté oriental. Sa barrière occidentale est encore à l'état d'archipels : Riou-Kiou, Formose, Philippines. Sa crête insulaire orientale se borne aux îles Bonin, aux Mariannes et aux Carolines. Deux bassins se séparent par le seuil des îles Yap et Patau et la fosse abyssale des Mariannes suit la forme arquée de l'archipel dont elle porte le nom.

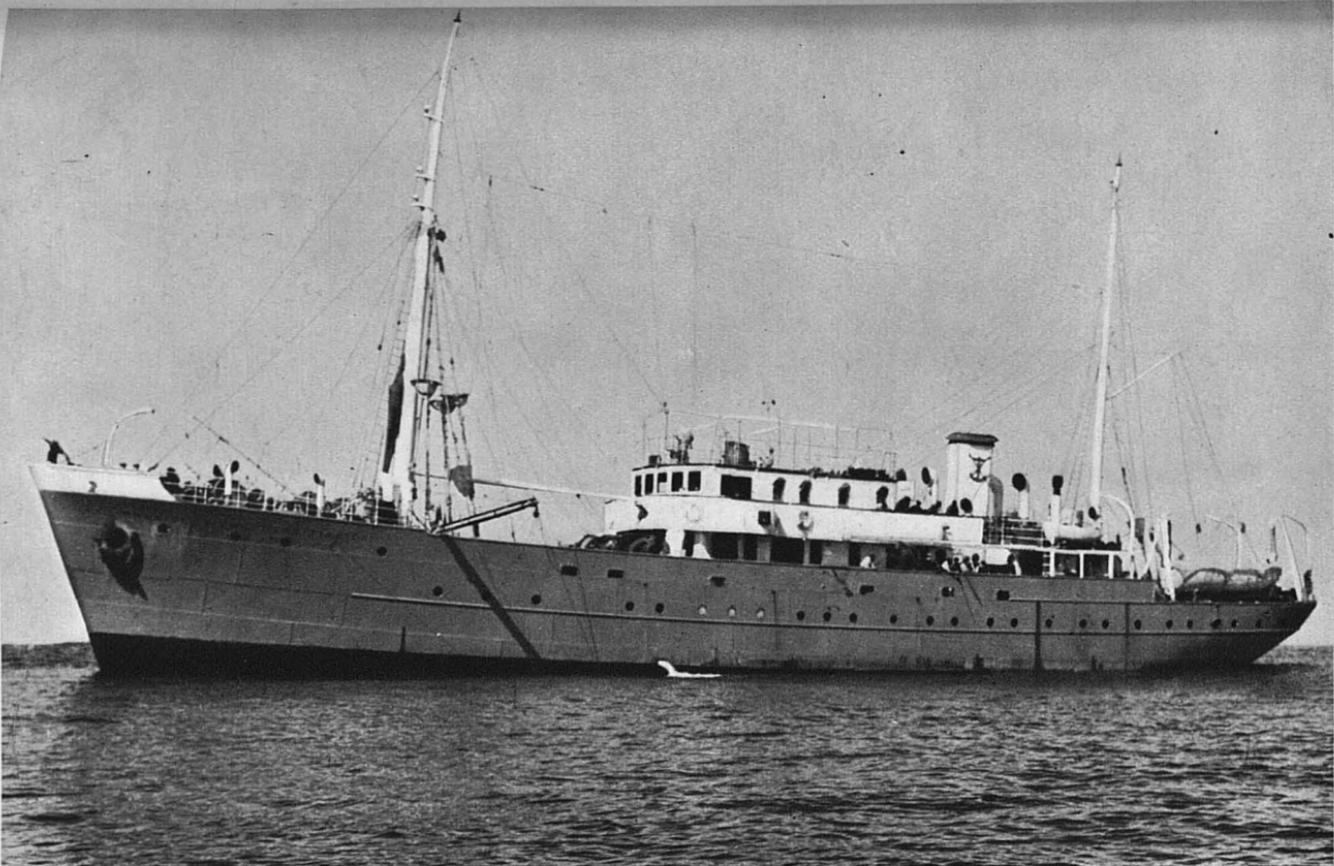
Ainsi, sur l'ancien trajet océanique de la Tethys, trouvons-nous répété quatre fois, à des stades différents de son évolution, le même phénomène de morcellement maritime et de surrection continentale.

Dans la nouvelle Mésogée que constitue l'Océan austral, la mer des Antilles du Sud est un indice significatif d'une éventuelle possibilité de fermeture. Le détroit de Drake pourrait suivre un jour le sort du détroit Darien et la jonction entre la Terre de Feu et la terre de 'Graham placerait la mer des Antilles du Sud dans la situation exacte de la mer des Antilles.

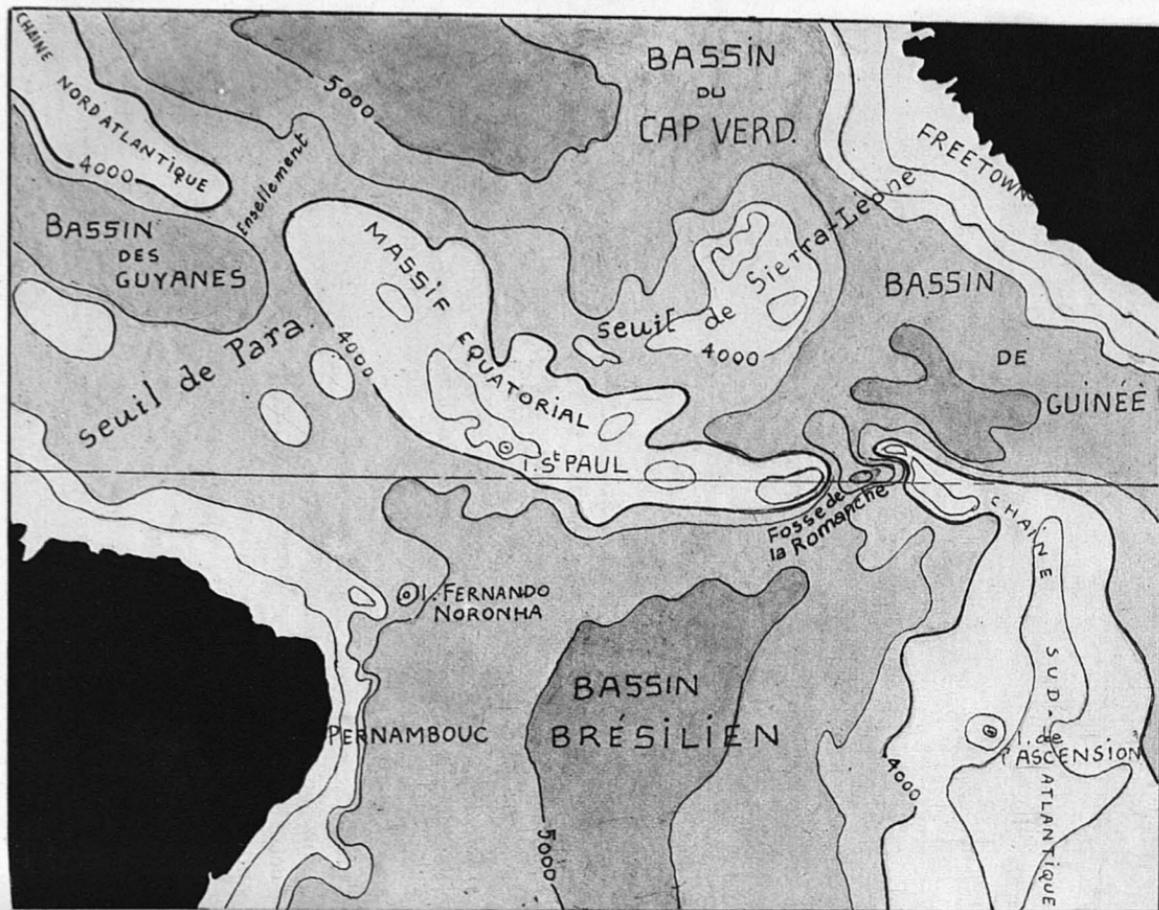
C'est sur cet aperçu des conditions générales de fermeture, des grands trajets océaniques circumterrestres que nous terminerons ce chapitre, consacré à la paléo-océanographie.

DEUXIEME PARTIE

LA CIRCULATION OCÉANIQUE



LE NAVIRE « PRÉSIDENT THÉODORE TISSIÈR »
DE L'OFFICE DES PÊCHES MARITIMES



LE MASSIF EQUATORIAL

CHAPITRE PREMIER

LES EAUX ATLANTIQUES

La technique hydrologique.

La composition de l'eau de mer est des plus complexes et le fut dès l'origine des Océans. En effet, lorsque les conditions de température permirent à la surface de la lithosphère la formation de l'eau, la combinaison H^2O se trouva en contact avec la croûte blanche des sels alcalins et alcalino-terreux qui recouvrait alors la terre et une dissolution partielle de ces sels détermina la formule actuelle de l'eau océanique. Celle-ci représente une solution dont la teneur en sels varie de 30 à 38 grammes par litre ; les salinités plus faibles sont dues, en effet, aux apports d'eaux douces et ne se rencontrent que dans les eaux côtières ou littorales. L'élément essentiel de cette solution est le chlorure de sodium, auquel s'allie en notable proportion le chlorure de magnésium ; mais de plus, on trouve dans l'eau de mer des sulfates, des carbonates, des phosphates, des nitrates, des nitrites, etc... ainsi que des traces de métaux variés, fer, zinc, bore, etc...

L'exemple suivant, emprunté aux observations du « Challenger », donne une idée approximative de la composition de l'eau de mer océanique (35 0/00) :

Chlorure de sodium Na Cl.....	27,213
Chlorure de magnésium Mg Cl ²	3,807
Sulfate de magnésium Mg SO ⁴	1,658
Sulfate de calcium Ca SO ⁴	1,260
Sulfate de potassium K ² SO ⁴	0,863
Carbonate de calcium Ca CO ³	0,123
Bromure de magnésium Mg Br ²	0,076

Soit au total..... 35,000

C'est Otto Pettersson qui introduisit en océanographie la détermination des différentes variétés d'eaux marines par le titrage de la chloruration. Mais la proportion des sels secondaires est fort importante et la salinité totale joue un rôle de premier plan dans la classification des eaux océaniques. On doit à l'océanographe danois, M. Knudsen, d'avoir établi une méthode qui permet, d'après une eau type dite « eau normale de Copenhague », de déterminer à l'aide de l'analyse chlorométrique la salinité totale, en se servant de tables spécialement construites à cet effet. Knudsen a, en effet, établi le principe que l'eau de mer peut être considérée pratiquement comme une eau distillée contenant en dissolution un certain nombre de sels, dont les proportions se trouvent toujours dans un rapport égal ; et il semble que ce principe est valable pour toutes les mers septentrionales. Par contre, les proportions entre les chlorures et les sulfates ne semblent pas constantes dans les mers à forte salure, comme la Méditerranée ; aussi certains savants comme Gabriel Bertrand, Giral, R. de Buen, ont proposé de substituer à l'eau normale de Copenhague une dissolution de chlorure de sodium pur. Cette opinion fut acceptée par la Commission internationale de la Méditerranée et par l'Union internationale de Chimie.

D'autre part, on a cherché à déterminer, par des méthodes physiques, la densité et la salinité de l'eau de mer en utili-

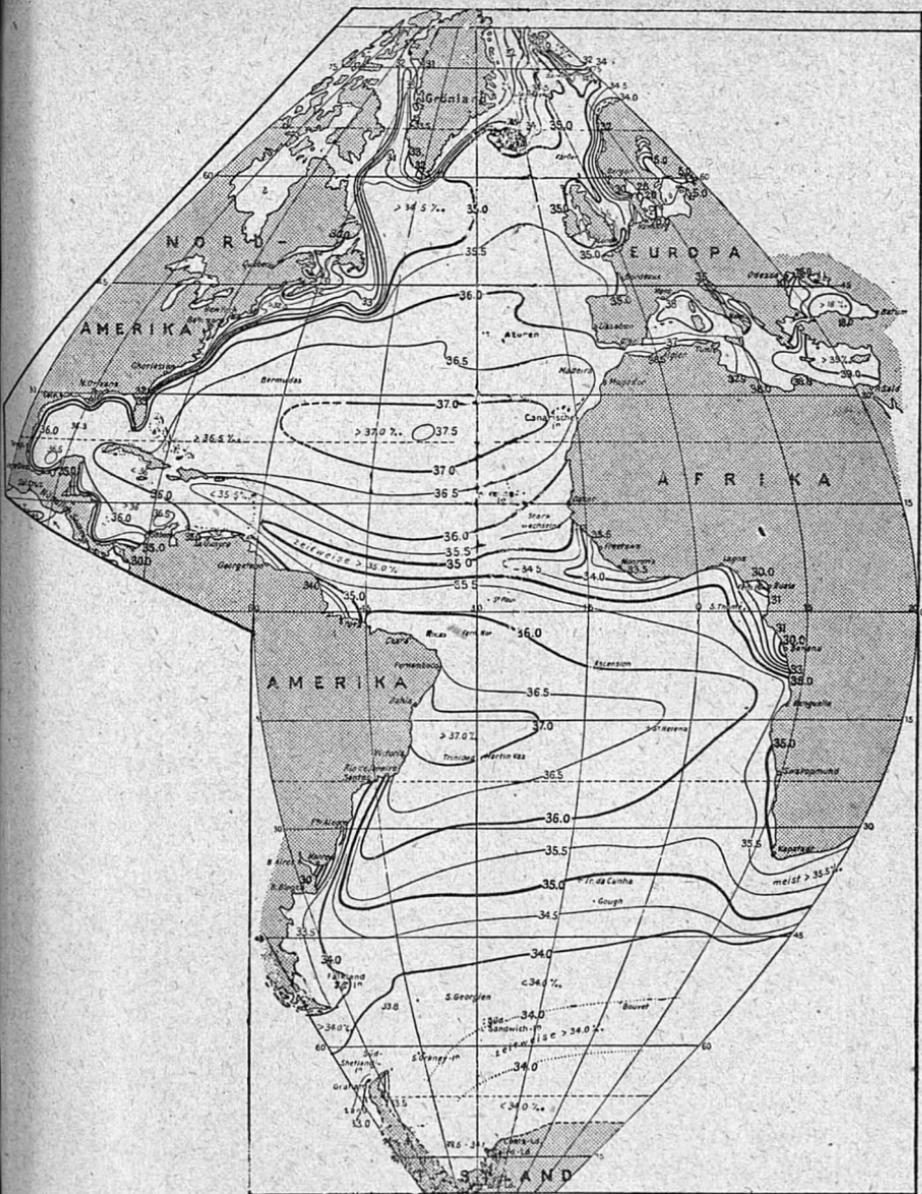


Fig. 18. — Répartition des salinités de surface dans l'océan Atlantique (Schott).

sant des aréomètres ou des pycnomètres. L'utilisation de l'aréomètre revient à Buchanan, et cette méthode fut perfectionnée par Reggiani, Nansen, Thoulet, Otto et Hans Pettersson. La méthode pycnométrique essayée par La Cour et V. Stott est d'une application difficile dans la pratique, car elle ne peut être employée à bord d'un navire par suite des manipulations minutieuses qu'elle exige.

D'autres méthodes physiques ont été également préconisées pour la détermination des salinités : parmi celles-ci il convient de citer la méthode réfractométrique et celle de la conductibilité électrique des eaux. La méthode réfractométrique, basée sur les variations de l'indice de réfraction en fonction de la salinité, fut employée en 1877 par Hilgard, de la Marine des États-Unis, puis par Krümmel dans la Plankton-Expédition, par Schott à bord de la *Valdivia*, et par les Français Thoulet et Berget. Rafaël de Buen, Navarro et Jimenez sont les adeptes fervents de la détermination réfractométrique.

La conductibilité électrique a été essayée par Lénard, Krümmel et de nombreux savants américains, notamment à bord du navire *Carnegie*.

Ces diverses méthodes physiques et chimiques présentent des avantages et des inconvénients et il est bien difficile de préconiser actuellement l'une d'entre elles pour être universellement adoptée. Il convient de plus, dans notre connaissance encore si imparfaite de la chimie océanique, de ne pas rechercher dans les analyses la huitième décimale, alors que dans beaucoup de cas, les grandes lignes des phénomènes hydrologiques nous échappent encore.

De récentes études ont montré que la proportion des phosphates, des nitrates, des nitrites contenus dans l'eau de mer avait une grande influence sur la valeur quantitative de la vie planktonique.

Dans ces dernières années les océanographes ont recherché la quantité d'oxygène dissous dans l'eau de mer. Ces dernières

observations semblent contenir de très importantes indications sur les mouvements généraux des eaux océaniques. De même, depuis 1908, on a étudié la concentration de l'eau de mer en ions hydrogènes ; cette valeur est désignée par la notation pH. Ringer, Störensen, Palitzch, Helland-Hansen, Nansen, Herdman, Labbé, Legendre, ont examiné les variations de ce facteur et son influence sur les conditions biologiques, dans diverses régions de l'Océan.

*
**

Le matériel océanographique qui est utilisé pour la récolte des échantillons d'eaux de mer aux diverses profondeurs consiste en appareils appelés bouteilles à renversement. Le principe général de ces instruments est d'emprisonner à une profondeur donnée une certaine quantité d'eau de mer destinée à l'analyse. La bouteille à renversement typique est un cylindre métallique qui est descendu à l'aide d'un fil jusqu'à la couche d'eau que l'on désire étudier : pendant la descente elle est ouverte à ses deux extrémités ; un poids métallique appelé messenger est alors lancé le long du fil et vient frapper le sommet de la bouteille et actionner un déclat qui provoque le renversement et la fermeture de l'instrument, en général par rotation de deux boisseaux placés aux deux bouts du cylindre. A la remontée de la bouteille, l'eau de mer contenue dans l'appareil est recueillie dans de petits flacons méticuleusement nettoyés. La bouteille à renversement comporte une armature dans laquelle sont fixés les thermomètres spéciaux destinés à la prise des températures en profondeur.

Les divers types de bouteilles à renversement sont dus aux savants Buchanan, Richard, Nansen, Pettersson, Ekman, Knudsen (Pl. XIII).

Les thermomètres de profondeur appartiennent au type appelé thermomètres à renversement : le premier modèle fut

établi par Negretti et Zambra, et depuis a été perfectionné par C. Richter. Le tube thermométrique présente un amincissement en forme d'S sur son trajet : le renversement du thermomètre provoque une rupture de la colonne de mercure au niveau de l'amincissement, et une échelle calculée au dixième de degré permet d'apprécier la température au moment de la rupture. Ces thermomètres sont enveloppés d'un verre très épais destiné à résister aux fortes pressions des profondeurs océaniques. Un thermomètre secondaire, de correction, permet le calcul du réchauffement que peut avoir subi le thermomètre principal au cours de la remontée.

Pour étudier la direction et mesurer la vitesse des courants profonds, de nombreux appareils, les courantomètres, ont été employés dans les croisières océanographiques ; l'un des plus connus est le courantomètre d'Ekman. Les indications, sont fournies par une ingénieuse distribution de petites billes dont la chute est déterminée par la rotation d'une hélice obéissant aux courants, et qui tombent dans les casiers d'une boîte métallique, les mouvements de cette dernière étant déterminés par une aiguille magnétique. La position du casier donne la direction du courant et le nombre de billes, sa vitesse. Un autre courantomètre a récemment été mis en application par le professeur français Idrac ; l'enregistrement de cet appareil est effectué à l'aide de la méthode photographique.

Températures, salinités et oxygène.

Les conditions physico-chimiques de l'eau de mer, en ce qui concerne les variations de températures, des salinités et des quantités d'oxygène dissous, obéissent à un certain nombre de lois fondamentales qui peuvent être énoncées comme suit :

1° *D'une façon générale la température décroît avec la*

profondeur. — La température moyenne des profondeurs atlantiques (vers 4.000 mètres) est voisine de $+2^{\circ}$. Dans les régions polaires, la température du fond peut descendre au-dessous de -1° .

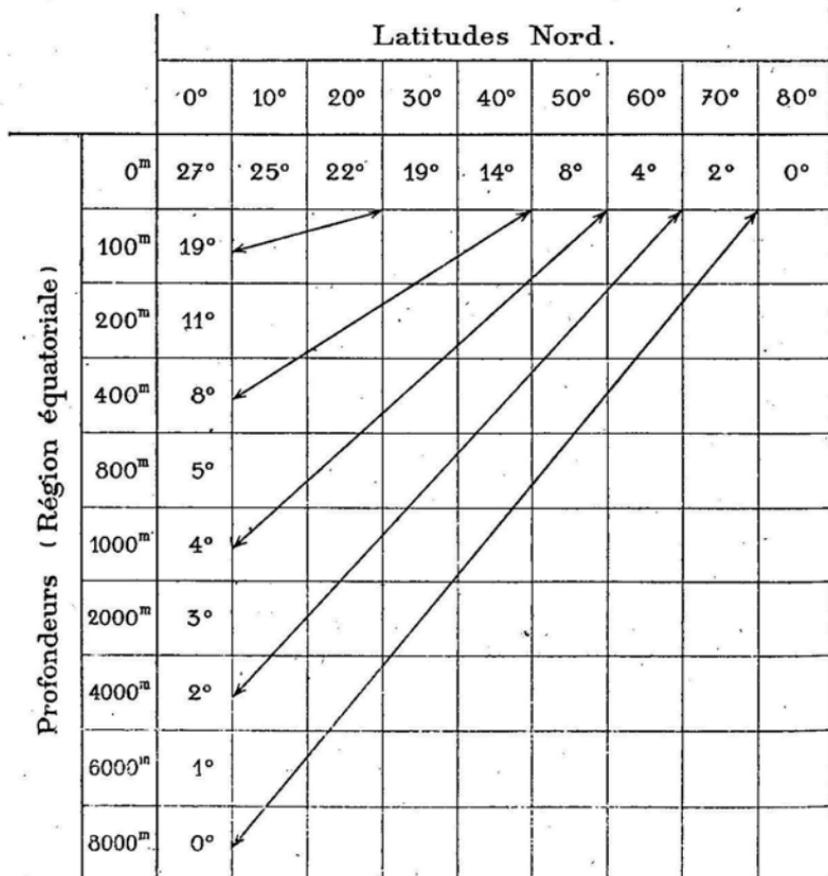
Il arrive en hiver que les couches superficielles présentent, par suite du refroidissement atmosphérique, une température inférieure à celle des couches sous-jacentes. Le même phénomène peut être constaté en toutes saisons dans les régions voisines des pôles à cause de la présence en surface des eaux de fusion glaciaire.

Quand un liquide est soumis à une très forte pression, son volume diminue légèrement et sa température augmente (principe de Lord Kelvin). On appelle température *potentielle* la température que les eaux profondes indiqueraient si elles étaient ramenées à la surface. Les différences entre les températures *in situ* et les températures potentielles ont été calculées et mises en tables par Nansen. Ces différences ont une valeur élevée et peuvent atteindre $0^{\circ}5$ vers 4.000 et 5.000 mètres.

En dehors de l'effet de la pression, on a attribué (Aimé, 1840) le léger relèvement de température des eaux de grandes profondeurs à la chaleur intense de la terre.

2° *D'une façon générale, la température décroît de l'Équateur vers les pôles.* — Cette variation extrêmement marquée dans les eaux de surface est également nettement accusée dans les eaux profondes.

Il résulte de cette double décroissance des températures suivant la profondeur et suivant la latitude, qu'il y a isothermie entre certaines couches profondes des régions équatoriales et certaines couches superficielles des hautes latitudes. Le tableau suivant peut donner une idée générale de cette isothermie :



Cette disposition générale des couches isothermiques a une importance considérable du point de vue de la distribution des espèces animales.

3° D'une façon générale, la salinité décroît avec la température. — Dans la plus grande partie des couches océaniques, il y a parallélisme entre les isothermes et les isohalines. En

dehors du plateau continental, la salinité océanique varie entre 34 et 37 0/00. Les eaux d'une salinité de 37 0/00 ont une température le plus souvent supérieure à $+20^{\circ}$; celles à 36 0/00 à environ $+15^{\circ}$; la moyenne thermique des eaux à 35,5 0/00 est en général supérieure à $+10^{\circ}$. Les eaux froides des régions polaires et abyssales ont une salinité variant entre 35 et 34 0/00.

4° *D'une façon générale, entre la surface et 1.500 mètres, la quantité d'oxygène dissous dans l'eau de mer croît avec la latitude.* — Les travaux de Brennecke et des océanographes des expéditions du *Dana* et du *Meteor* ont montré que dans la zone équatoriale, entre la surface et 1.500 mètres, la quantité d'oxygène dissous ne dépassait pas 4 cm³ par litre ; le minimum se place entre 15° N. et 5° S. entre 250 et 600 mètres avec des quantités inférieures à 1 cm³,5 par litre. Contre la côte africaine, de part et d'autre de l'Équateur, se trouvent deux mers presque absolument privées d'oxygène. L'expédition du *Carnegie* a trouvé dans le Pacifique une autre mer sans oxygène, accolée à la côte équatoriale de l'Amérique du Sud.

La quantité d'oxygène dissous est, par contre, supérieure à 6 cm³, au voisinage des régions polaires.

Principe de l'immixibilité des eaux.

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

Ce principe fut établi en 1868 par Wyville-Thomson et Carpenter, lors de leur expédition à bord du *H.-M.-S. Lightning* dans le chenal des Feroë, et les deux océanographes anglais arrivèrent à cette conclusion : « that great masses of » water at different temperatures were moving about, each in » its particular course, maintaining a remarkable system of » oceanic circulation, and yet keeping so distinct from one

» another one hour's sail might be sufficient to pass from the
» extreme of heat to the extreme of cold ».

Nous ralliant à l'énoncé de Wyville-Thomson et de Carpenter, nous croyons que les grandes masses océaniques gardent leur individualité absolue. Sur leurs bords par friction et brassage il peut se produire quelques mélanges ; ces rencontres d'eaux différentes, ainsi que l'a démontré Bjoerknes provoquent des courants, dont l'importance et la direction peuvent être déterminées d'après la célèbre équation de ce savant. Ces courants déterminent dans les couches superficielles ces phénomènes de « turbulence », définis par les océanographes allemands. D'autre part, les masses océaniques subissent en surface des modifications assez importantes qui semblent altérer leur caractère : évaporation, précipitation des pluies atmosphériques, réchauffement et refroidissement *in situ* ; ces divers phénomènes apportent quelques changements dans les températures et les salinités des nappes superficielles ; mais que représentent ces faibles mélanges et ces variations temporaires, par rapport aux énormes volumes des différents groupes d'eaux océaniques ? Les courants changent de sens, sont accompagnés de contre-courants qui les neutralisent ; les altérations saisonnières s'annulent au cours de l'année, les pluies abaissent la salinité élevée par l'évaporation, le refroidissement hivernal détruit le réchauffement estival des eaux de surface ; ces phénomènes d'importance secondaire ne peuvent s'inscrire contre la permanence des caractères généraux des masses d'eaux atlantiques et contre le principe fondamental de l'immixibilité des eaux.

Origine des eaux atlantiques.

Dans l'étude paléo-océanographique de l'Atlantique, nous avons indiqué que les eaux de la Tethys restèrent totalement

séparées depuis l'époque primaire jusqu'à l'époque miocène des eaux boréales et australes, contenues au Nord par le continent Nord-Atlantique et au Sud par le pont continental équatorial, puis par le pont de l'Archihelenis. Les eaux de la Mésogée équatoriale étaient chaudes et salées, et contenaient sans doute une assez faible quantité d'oxygène ; ce dernier caractère se retrouve dans l'atmosphère actuel de l'Équateur.

L'effondrement néogène du continent Nord-Atlantique mit assez brusquement en contact les eaux de la Tethys et les eaux boréales. Celles-ci plus froides et plus lourdes envahirent les profondeurs atlantiques, tandis que les eaux de la mer équatoriale, plus chaudes et plus légères, gardèrent leur suprématie dans les couches supérieures océaniques. La rupture du pont de l'Archihelenis, un peu plus tard, donna libre accès aux eaux australes, et celles-ci s'étendirent dans les profondeurs selon l'espace qu'elles purent prendre aux eaux d'origine nord-atlantique.

La clôture du détroit Darien et la fermeture définitive de la Méditerranée, en morcelant la Tethys, limitèrent les eaux de l'ancienne ceinture thalassique à la partie centrale de l'Océan Atlantique nouvellement constitué dans sa configuration actuelle.

Les eaux d'origine équatoriale, chaudes et salées, se trouvèrent ainsi circonscrites par une cuvette d'eau d'origine polaire, froides et de faible salure ; les deux fronts polaires, arctique et antarctique, se réunirent dans les zones profondes, et les eaux venant des deux extrémités de la terre s'affrontèrent en gardant leurs caractères : le pôle Sud est un pôle continental où se condensent sous forme d'énormes glaciers les eaux douces de cette partie du monde ; le pôle boréal est un pôle maritime et la banquise elle-même se forme sur un océan profond ; aussi les eaux d'origine arctique sont-elles plus salées que les eaux d'origine antarctique, même dans leur commune extension abyssale.

Depuis l'époque géologique de leur rencontre, les eaux de la Tethys, les eaux boréales et les eaux australes ont gardé leur individualité et les positions respectives qu'elles avaient acquises dès leur premier contact. Obéissant à des influences d'ordre cosmique, elles peuvent rompre momentanément cet équilibre, mais ne tardent pas à le retrouver.

Dès 1923, nous avons affirmé cette dualité d'origine des eaux atlantiques : origine équatoriale et origine polaire et déclaré que malgré son apparente mobilité, le milieu marin, par les caractères mêmes des eaux qui le constituent, demeure un exemple de survivance géologique.

Troposphère et stratosphère océaniques.

Le contraste entre la mobilité des eaux chaudes et salées d'origine équatoriale et la passivité des eaux froides et de faible salure, d'origine polaire, n'a pas échappé à l'attention des océanographes allemands, Defant et Wüst, à la suite de leurs observations de la croisière du *Meteor*. Aussi Defant a-t-il conçu l'idée de séparer les eaux de l'Atlantique en deux parties : une couche supérieure de haute température et de haute salinité, extrêmement mobile et qu'il appelle : « Troposphère océanique » ; une couche inférieure, froide, calme, de salinité faible, et qu'il nomme : « Stratosphère océanique ». La limite entre ces deux éléments est assez difficile à établir. Defant et Wüst intègrent ce qu'ils appellent les fronts polaires dans la stratosphère. Ils fixent la limite de ces fronts polaires du côté du Nord, le long d'une ligne joignant le cap Hatteras au Spitzberg, et du côté du Sud, vers le 40° de latitude Sud, avec une extension septentrionale du côté américain, jusqu'au Rio de la Plata. A partir des fronts polaires, la limite entre Troposphère et Stratosphère s'enfonce brusquement vers 600 mètres du côté du Sud et 800 mètres du côté du Nord.

Dans la région de l'Équateur la ligne de séparation se trouve à une profondeur beaucoup moindre, aux alentours de 300 mètres.

La détermination de cette limite a été basée sur la couche océanique présentant, aux différentes latitudes, le minimum

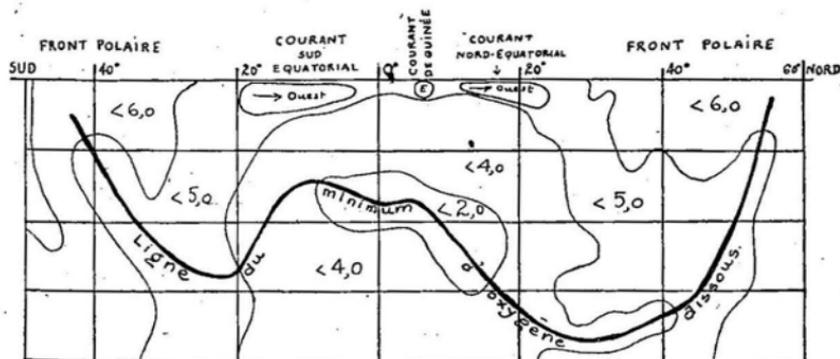


Fig. 10. — Répartition de l'oxygène (d'après Defant et Wüst).

d'oxygène dissous. La ligne, ainsi définie, correspond plus ou moins à l'isotherme $+8^{\circ}$.

Ainsi les eaux de la Troposphère forment, au milieu de l'Atlantique, une cuvette centrale avec deux régions plus profondes, l'une septentrionale, l'autre australe. Dans la région équatoriale, les océanographes allemands ont, de plus, constaté que le maximum de salinité ne se trouvait pas absolument en surface, mais à une profondeur d'une centaine de mètres, la couche superficielle étant parcourue par deux courants de sens opposés traversant l'Atlantique des Antilles au Golfe de Guinée.

La théorie de Defant et de Wüst correspond, à peu près exactement, aux conceptions que nous avons exposées sur la distribution des eaux atlantiques, dès 1923. La Troposphère, à quelques variations près, rappelle par sa position et sa

forme, la cuvette des eaux équatoriales. Nous avons de même séparé en deux bassins les eaux tropicales par une zone de moindre salure, la cloison de Schott, qui se superpose au courant et au contre-courant de l'Équateur.

Nous croyons toutefois que la zone troposphérique est plus vaste que ne l'ont décrites les savants du *Meteor*. Sa limite pourrait être ramenée vers l'isotherme $+4^{\circ}$, qui, dans certaines régions — notamment vers le Banc de Terre-Neuve — marque, quand elle affleure en surface, la véritable limite du front polaire arctique. L'isotherme $+4^{\circ}$, dans la région équatoriale, se place vers 1.500 mètres de profondeur ; la totalité des couches marines contenant une faible quantité d'oxygène dissous, se trouverait, de ce fait, incluse dans la Troposphère.

Il faut noter que, dans l'hémisphère Sud, l'extension de la Troposphère à l'isotherme $+4^{\circ}$, ferait entrer dans cet élément océanique, en plus des eaux équatoriales, la couche supérieure des eaux antarctiques intermédiaires dont nous parlerons plus loin ; il y aurait donc lieu de maintenir dans l'Atlantique austral la limite de l'isotherme $+8^{\circ}$ entre la Troposphère et la Stratosphère.

Classification des eaux atlantiques.

Dans le courant du XIX^e siècle, on divisait fréquemment les eaux atlantiques en deux groupes, celles du Gulf-Stream et les autres. Cette division se révéla rapidement insuffisante, dès les premiers travaux des techniciens du Conseil International pour l'Exploration de la Mer.

En 1919, dans leur remarquable travail sur la mer de Norvège, Nansen et Helland-Hansen, s'associant aux vues du professeur Otto Pettersson, divisent les eaux de l'Océan en :

- a) Eaux atlantiques, d'une salinité supérieure à 35 0/00 ;

b) Eaux côtières, d'une salinité inférieure à 35 0/00. 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 ses 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 0/00 ;

b) Eaux intermédiaires, entre 30 et 32 0/00 ;

c) Eaux des bancs, de 32 à 33 0/00 ;

d) Eaux des pentes, de 33 à 35 0/00 ;

e) Eaux atlantiques, au-dessus de 35 0/00.

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 classons en :

1° Eaux d'origine boréale, froides et d'une salure inférieure à 35 0/00 ;

2° Eaux d'origine équatoriale, chaudes et d'une salure supérieure à 35 0/00.

Nous rattachions au premier groupe les eaux arctiques, les eaux abyssales et les eaux continentales.

En 1928, au retour de l'expédition du *Meteor*, George Wüst, dans son travail sur l'origine des eaux atlantiques, publié dans le volume jubilaire de la Société de Géographie de Berlin, fournit la classification suivante des eaux de l'Océan :

EAUX	SALINITÉ ‰	TEM- PÉRA- TURE	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 nord-atlantiques profondes.	35,5 - 35,0	10 - 4	1.000 - 2.000
4) Eaux abyssales :			
a) nord-atlantiques	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.

*
* *

En tenant compte des découvertes récentes, nous proposons la classification suivante des eaux atlantiques :

I. Eaux d'origine tropicale. — Ces eaux ont une salinité supérieure à 35 0/00 ; leur plus grande épaisseur se trouve au nord de l'Équateur, vers le 30° N., où elle atteint 2.500 mètres. Elles s'étendent, vers le Sud, jusqu'au 40° de latitude, et dans l'Atlantique boréal, peuvent dépasser, suivant les saisons, le 70° N. On peut y reconnaître deux groupes :

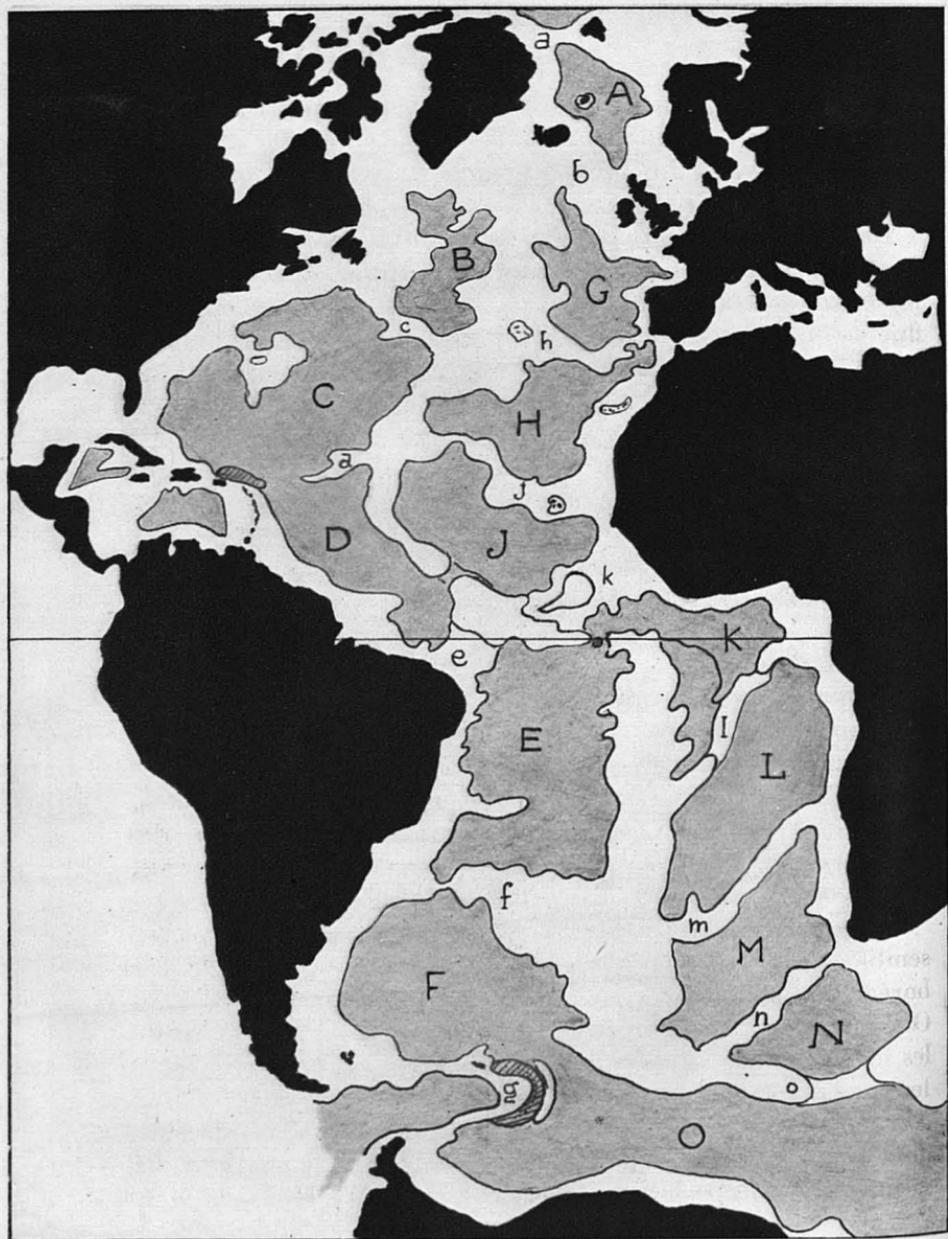
1° Les eaux équatoriales, d'une salure supérieure à 35,5 0/00 ;

2° Les eaux atlantiques, d'une salure supérieure à 35 0/00.

Ces deux groupes correspondent sensiblement aux eaux tropicales et aux eaux profondes nord-atlantiques de Wüst. La salinité des eaux tropicales dépasse en certains endroits 37 0/00 en surface, notamment dans le Nord-Atlantique, entre les Canaries et la Floride et dans le Sud-Atlantique, au large de la côte du Brésil. Les deux bassins de haute salure de



STRUCTURE DE L'ATLANTIQUE NORD



STRUCTURE GÉNÉRALE DE L'ATLANTIQUE

l'Océan sont séparés, sous l'Équateur, par une zone superficielle de salure moindre, la cloison de Schott, allant des Antilles au Golfe de Guinée, et qui recouvre le courant et le contre-courant équatoriaux.

De nombreux océanographes ont voulu retrouver, dans ces eaux à 37 0/00, un afflux, dans l'Atlantique, des eaux de la Méditerranée. Celles-ci peuvent, en effet, avoir quelque influence immédiatement à l'ouest du détroit de Gibraltar, mais il est difficile de leur attribuer une trop vaste extension dans l'Atlantique Nord. Il est beaucoup plus logique d'y trouver une permanence des eaux de l'ancienne Tethys, qui avaient un caractère analogue aux eaux de la Méditerranée, puisque celles-ci représentent un morceau de l'ancienne ceinture thalassique.

Les eaux tropicales sont caractérisées par leur faible oxygénation. Leur limite correspond, nous l'avons dit, à peu près à celle de la Troposphère des océanographes allemands.

II. *Eaux d'origine polaire.* — Les eaux d'origine polaire se subdivisent en :

- 1° Eaux polaires arctiques, de 35 à 33 0/00 ;
- 2° Eaux polaires antarctiques, de 34,8 à 34 0/00 ;
- 3° Eaux abyssales d'origine arctique, de 34,9 à 34,8 0/00 ;
- 4° Eaux abyssales d'origine antarctique, de 34,8 à 34,6 0/00 ;
- 5° Eaux continentales, de salinité variable.

Les eaux polaires arctiques superficielles constituent l'ensemble de la grande masse glaciaire qui recouvre l'Océan boréal. La banquise ayant dérivé autour du pôle, d'Est en Ouest, vient s'écraser et fondre contre la côte du Groënland ; les icebergs qui s'en détachent cheminent vers le Sud-Ouest et leur course s'étend jusqu'aux accores du banc de Terre-Neuve. L'eau de fusion polaire forme le courant du Labrador, dont l'influence se fait sentir jusque vers le Cap Hatteras. La salinité des eaux arctiques est faible et varie de 33 à 34,4 0/00

du côté américain ; du côté de l'ancien continent, la salinité est plus élevée et voisine de 34,9 0/00.

Dans les profondeurs de l'Océan boréal, on retrouve cette salinité, bien supérieure à celle des eaux de surface. Nansen, lors de l'épopée du *Fram*, expliqua que la formation de la glace en surface provoquait une augmentation de salure en profondeur : d'après ses calculs, dans une mer ayant 100 mètres de profondeur et dont l'eau présenterait une salinité moyenne de 34,4 0/00, cette salinité s'élèverait à 35 0/00 dès qu'il y aurait en surface une couche de glace de deux mètres d'épaisseur ; en effet, au moment de la congélation, l'eau de mer se sépare en ses éléments primordiaux ; la solidification se forme avec de l'eau douce et le sel tombe au fond. Il n'y a donc pas lieu de faire intervenir une branche profonde du Gulf-Stream pour expliquer la salinité spéciale des abysses polaires. Les eaux polaires arctiques proprement dites ne dépassent guère le seuil Wyville-Thomson.

Les eaux polaires antarctiques ont, en surface, une salinité moyenne de 34,0 0/00. Elles supportent la masse glaciaire de la banquise du Sud dont l'extension, en certaines saisons, atteint le 40° Sud. C'est vers cette latitude que les eaux antarctiques se heurtent aux eaux d'origine tropicale, dont l'épaisseur est, du reste, assez faible et n'excède guère 500 mètres. Par suite de leur mobilité et de leur légèreté, les eaux tropicales transgressent sur les eaux antarctiques, et celles-ci s'étendent en profondeur vers le Nord, sous forme d'une large nappe horizontale, régnant entre 500 et 2.000 mètres, vers le 40° Sud. Cette nappe progresse vers l'Équateur en s'amincissant, le dépasse, et atteint le 15° de latitude Nord. La salinité de la nappe intermédiaire antarctique varie de 34,3 à 34,8 0/00.

Les eaux abyssales d'origine arctique ont une salinité extrêmement constante, variant de 34,8 à 34,9 0/00. Elles occupent la plus grande partie des profondeurs de l'Atlantique. Dans

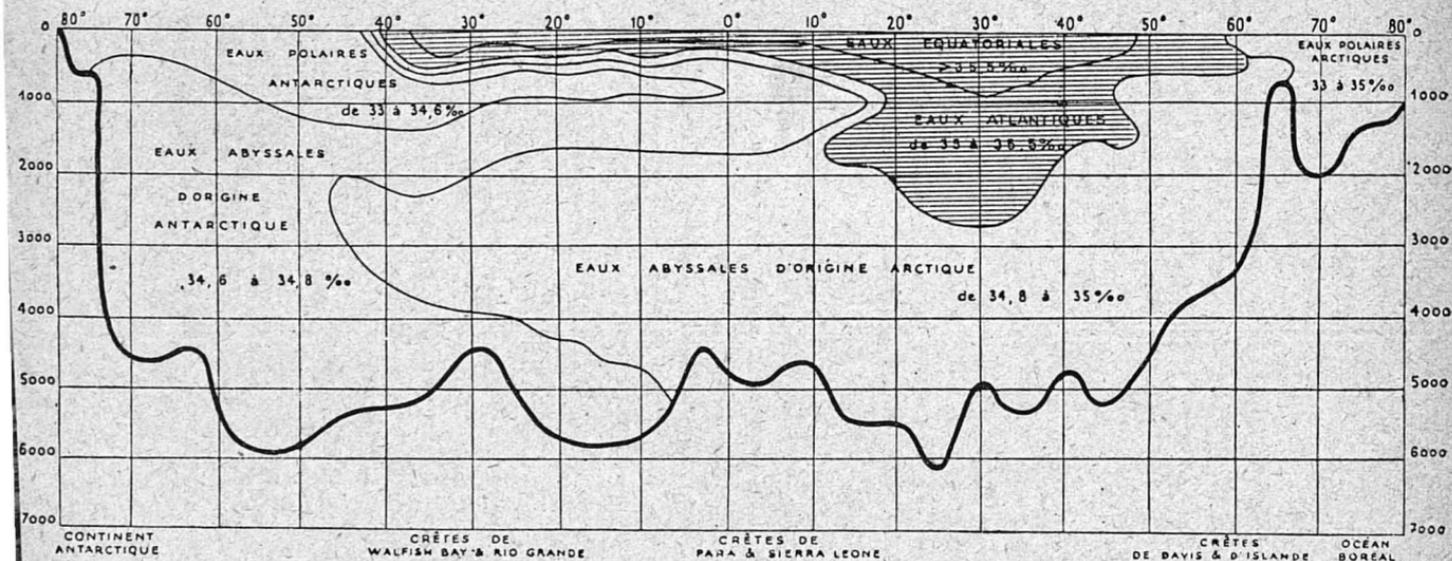


Fig. 20. — Répartition des eaux atlantiques (d'après Wüst).

l'hémisphère Nord, elles sont placées directement sous les eaux d'origine tropicale, mais dans l'hémisphère Sud, elles supportent la nappe des eaux intermédiaires antarctiques. Leur distribution est inégale des deux côtés de l'Atlantique. Du côté oriental, les eaux abyssales arctiques occupent toute la dépression bathypélagique jusqu'à la chaîne de Walfisch-Bay, avec des températures variant, en profondeur, autour de $+2^{\circ}$. Du côté occidental, les eaux abyssales arctiques règnent dans la totalité du bassin nord-américain.

Les eaux abyssales d'origine antarctique ont un développement bien moindre. Leur salinité varie entre 34,6 et 34,8 0/00 ; elles sont donc légèrement moins salées que les eaux abyssales arctiques ; par contre elles sont beaucoup plus froides, et leur température moyenne, vers 4.000 mètres, est de $-0^{\circ},8$; aussi sont-elles spécifiquement très lourdes, et leur poids, par suite de la force de la rotation de la terre, les a entraînées vers l'Ouest, du côté américain ; c'est pourquoi, alors que les eaux abyssales antarctiques ne dépassent pas, dans l'Atlantique oriental, la chaîne de Walfisch-bay, par contre, ces mêmes eaux occupent toute la zone profonde des bassins de l'Argentine et du Brésil, en Atlantique occidental. Le seuil de Para les sépare, sous l'Équateur, des eaux abyssales arctiques.

La distribution des diverses eaux atlantiques amène donc, suivant les régions, de grandes variations dans la superposition des diverses nappes, à savoir :

a) Atlantique Nord (vers le 30° N.).

1. de 0 à 1.000 mètres : eaux équatoriales ;
2. de 1.000 à 2.000 mètres : eaux atlantiques ;
3. de 2.000 à 5.000 mètres : eaux abyssales arctiques.

b) Atlantique Sud (région orientale, vers le 35° S.).

1. de 0 à 200 mètres : eaux équatoriales ;
2. de 200 à 500 mètres : eaux atlantiques ;

3. de 500 à 1.500 mètres : eaux antarctiques intermédiaires ;

4. de 1.500 à 5.000 mètres : eaux abyssales arctiques.

c) Atlantique Sud (région occidentale, vers le 35° S.).

1. de 0 à 200 mètres : eaux équatoriales ;

2. de 200 à 500 mètres : eaux atlantiques ;

3. de 500 à 2.000 mètres : eaux antarctiques intermédiaires ;

4. de 2.000 à 4.000 mètres : eaux abyssales arctiques ;

5. de 4.000 à 5.000 mètres : eaux abyssales antarctiques.

On doit rattacher aux eaux d'origine polaire la majorité des eaux continentales. La salinité et la température de ces eaux sont essentiellement variables. Sur les hauts fonds de l'hémisphère boréal, leur salure peut presque être nulle dans certaines mers tributaires comme la Baltique. Sur les bancs de Terre-Neuve, en Manche, en Mer du Nord, la salinité moyenne est de 32 à 34 ‰. Les eaux continentales, par suite de leur faible épaisseur, sont susceptibles de s'échauffer et de se refroidir *in situ*, avec une extrême rapidité, soit par suite de la proximité d'une nappe chaude ou d'une nappe froide, soit sous l'influence des conditions atmosphériques.

Les eaux continentales de la Méditerranée et de la mer des Antilles ont un caractère d'eaux équatoriales.

CHAPITRE II

LA CIRCULATION OCÉANIQUE : LES TRANSCRESSIONS ATLANTIQUES ET LES COURANTS MARINS

Les phénomènes qui régissent les mouvements des eaux atlantiques peuvent être groupés en deux catégories d'inégale importance : d'une part, les *transgressions atlantiques*, d'autre part, les *courants marins*. Les mouvements appelés transgressions atlantiques, sont la base essentielle de la circulation océanique et relèvent de l'ensemble des phénomènes cosmiques ; les courants marins sont, pour la plupart, des manifestations du mouvement transgressif, mais n'ont, en général, qu'une importance locale et secondaire. En effet, à l'exception du courant du Labrador, issu de la dérive glaciaire arctique, les autres courants sont fondus dans la masse des eaux transgressives et en subissent les variations.

Les transgressions atlantiques.

Nous avons divisé les eaux atlantiques en eaux d'origine équatoriale et en eaux d'origine polaire et indiqué la continuité des eaux de ce dernier groupe par l'union des deux

fronts polaires à l'aide des eaux abyssales et continentales.

Le caractère essentiel des eaux polaires est leur lourdeur, due le plus souvent à leur basse température. Elles sont, en quelque sorte, passives et inertes ; elle adhèrent au relief continental et constituent une gaine autour des terres émergées.

Les eaux d'origine tropicale ou eaux atlantiques sont, au contraire, légères et mobiles ; elles représentent la partie vivante de l'Océan, sont sans cesse en lutte contre la passivité des eaux de l'autre groupe, se glissent encre ces eaux quand elles le peuvent et au besoin empiètent sur elles.

C'est cette tendance à l'empiètement que nous avons cru devoir appeler « transgression » en utilisant le terme géologique qui définit les expansions de la mer dans les âges passés. Ce terme d' « expansion » pourrait, du reste, être employé à la place du mot « transgression » et particulièrement s'il fallait traduire ce dernier mot en langue anglaise.

DÉFINITION. — *On appelle « transgression », (angl. : expansion) un mouvement périodique, d'amplitude variée, des eaux atlantiques d'origine tropicale, déterminant un empiètement momentané de ces eaux sur les eaux d'origine polaire et sur les eaux continentales. Les eaux de la masse transgressive ont toujours une salinité supérieure à 35 0/00.*

C'est en 1921 que j'ai, pour la première fois, employé ce terme de transgression, après avoir eu, à bord du navire « Tanche » la perception de la forme générale du phénomène.

Les variations des eaux atlantiques ont été, depuis longtemps, observées par les océanographes, mais ils avaient cru avoir affaire à des variations du courant du Gulf-Stream. Cependant, en 1901, le professeur Otto Pettersson, avec la collaboration de P. T. Cleve et de G. Ekman, avait publié un travail sur les variations annuelles de l'eau de surface de l'océan Atlantique ; tout en donnant au Gulf-Stream le rôle principal dans ces variations, le savant suédois s'était rendu

compte, notamment par la composition du plankton, que ces phénomènes avaient une origine plus lointaine et n'hésitait pas à y trouver l'influence des eaux de l'hémisphère sud, sous forme du courant de Benguela. Otto Pettersson avait, de même, remarqué la prédominance hivernale des eaux polaires et avait comparé cette extension et cette rétraction des eaux atlantiques, à la *diastole et à la systole de la mer*.

Après la guerre, le grand océanographe suédois limita ses observations à la côte scandinave et découvrit dans le Skagerrak et en Baltique, des influx atlantiques qu'il définit sous le nom de « marées internes ou profondes ».

C'est à la même époque que je précisai, d'après des observations faites dans le golfe de Gascogne, les caractères des phénomènes transgressifs et affirmai l'extension générale de ces transgressions à toute l'étendue océanique.

Ces observations firent l'objet de notes à l'Académie des Sciences de Paris, en date du 14 novembre 1921 et du 21 novembre 1921, du 16 octobre et du 27 novembre 1922, qui furent présentées par M. le professeur Louis Joubin. Leur compte rendu détaillé fut publié dans les Rapports Atlantiques du Conseil International pour l'Exploration de la Mer (1921-1922, etc...) et dans les Notes et Mémoires de l'Office des Pêches Maritimes (1921-1922).

Les transgressions océaniques n'appartiennent pas uniquement à l'océan Atlantique ; elles se manifestent dans les autres océans et j'ai pu, en 1923, sur la Côte Pacifique des États-Unis, constater la présence de transgressions caractérisées. Dans l'hémisphère austral, il existe de même une lutte périodique entre le front polaire de l'océan circumterrestre et les eaux équatoriales. Les variations transgressives de l'océan Indien sont la cause des fluctuations climatiques de l'Asie Méridionale et de leurs conséquences, parmi lesquelles figurent les famines de l'Inde.

Stabilisation hivernale (Régression).

La transgression atlantique a le caractère d'un phénomène temporaire périodique, mais l'équilibre normal des eaux de l'océan doit être cherché dans la période de régression, c'est-



Fig. 21. — Rétraction des eaux atlantiques (régression).

à-dire pendant l'hiver océanique, qui ne correspond, du reste, pas exactement à l'hiver continental. Cette période d'équilibre peut être nommée : « stabilisation hivernale ». Ce phénomène, particulièrement sensible dans la région tempérée, se caractérise par une disposition des eaux d'origine polaire et continentale, en nappes verticales isothermiques.

Sur le plateau continental, les nappes d'eau se présentent en couches parallèles ayant, de la surface au fond, la même température et le plus souvent la même salinité ; les eaux les plus froides et les moins salées se placent dans les régions les moins profondes, où le refroidissement *in situ* et les apports fluviaux ont le plus d'influence. A partir des terres émergées vers le large, les températures et les salinités croissent, régulièrement disposées en couches concentriques isothermes et isohalines. Au delà du Plateau continental, cette isothermie et cette isohalinité déterminent la formation de cuvettes emboîtées les unes dans les autres, suivant la latitude, avec une décroissance régulière des diverses couches vers les régions polaires. Certains océanographes, comme Hjort, ont donné à cette disposition générale de l'Océan le nom de « circulation verticale » .

Pendant la période de stabilisation hivernale, les eaux atlantiques de la transgression sont limitées au Nord par une ligne qui, partant du Cap Hatteras, contourne au Sud les Bancs de Terre-Neuve, puis se dirige vers le Nord-Est pour atteindre le bord méridional du seuil Wyville-Thomson près des îles Feroë ; la limite des eaux atlantiques s'infléchit vers le Sud en dehors du plateau continental européen jusqu'au Cap Saint-Vincent.

Dans l'hémisphère austral, la période de stabilisation hivernale est marquée par un retrait général des eaux transgressives au nord du 40° de latitude Sud ; du côté américain, ce phénomène est particulièrement net et les eaux atlantiques se retirent jusqu'au 30° de latitude Sud au nord de l'Uruguay.

Extension estivale (transgression).

C'est l'été océanique qui détermine l'extension des eaux atlantiques, c'est-à-dire la transgression. Les eaux à 35 0/00

s'étendent vers le Nord-Ouest et arrivent à atteindre, à la fin de leur mouvement, dans une année d'amplitude normale, les positions suivantes :

Les eaux atlantiques, à partir du Cap Hatteras, empiètent sur le plateau continental des États-Unis et de Nouvelle-Écosse,

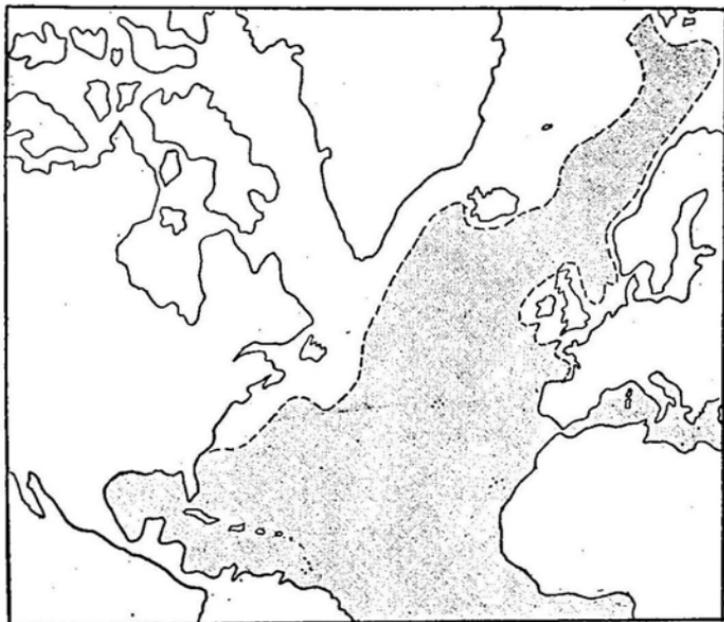


Fig. 21. — Extension des eaux atlantiques (transgression).

tangent les accores du Banc de Terre-Neuve ; leur limite marque une légère inflexion dans la direction du détroit de Davis ; puis, la transgression déborde l'Islande, légèrement à l'Ouest, dans le détroit de Danemark ; elle franchit le seuil Wyville-Thomson, envahit la Mer de Norvège, atteint le Spitzberg à l'Ouest et émet un lobe en Mer de Barentz. Les eaux transgressives ceinturent étroitement le plateau continental norvégien, s'enfoncent plus ou moins profondément en Mer

du Nord et envahissent presque toute l'étendue du plateau franco-britannique, ne laissant aux eaux continentales que le Minch, la mer d'Irlande et une partie de la Manche. Elles occupent le Golfe de Gascogne presque entièrement, ainsi que les abords de la péninsule ibérique.

Du côté austral, les variations transgressives sont moins

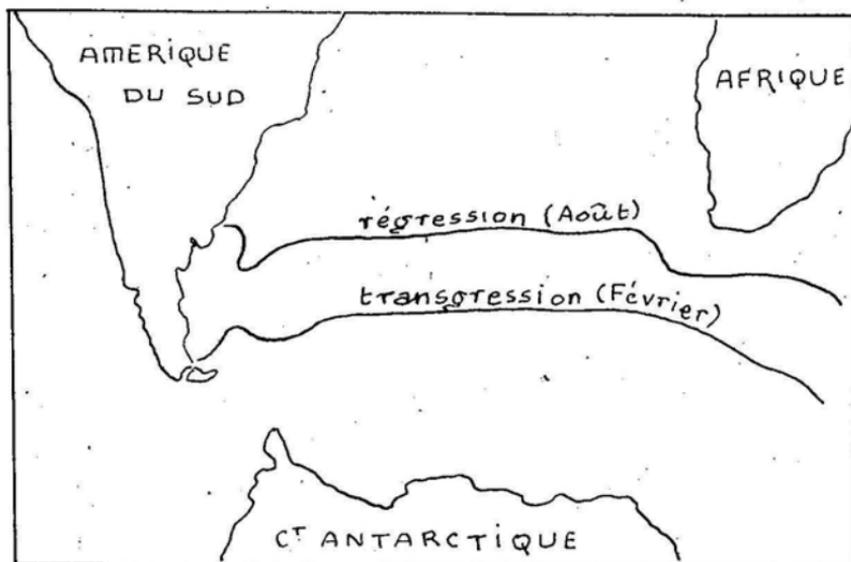


Fig. 23. — Les variations transgressives australes.

accusées, mais, cependant, les eaux atlantiques refoulent le front polaire au delà du 45° Sud et occupent le plateau continental des îles Malouines.

Quand l'été océanique correspond à l'été terrestre, la première indication du mouvement transgressif se manifeste vers février ou mars, en baie d'Espagne ; la pénétration dans le Golfe de Gascogne se produit au début de mai, et l'invasion du plateau franco-britannique et de la Mer du Nord, vers juin et juillet ; c'est vers octobre et même novembre que

l'extension des eaux atlantiques se manifeste dans les régions boréales.

Dans l'hémisphère Sud le maximum normal transgressif se place vers le mois de février.

Mécanisme des transgressions.

Le caractère cosmique du mouvement transgressif entraîne à le comparer à une marée des eaux océaniques de large amplitude, définie par un rythme périodique. Il est très probable que l'alternance des maxima transgressifs dans les deux hémisphères correspond, au moment de ces maxima, à une élévation du niveau marin. Dans la région équatoriale, le niveau doit rester sensiblement constant et de plus inférieur à celui des régions boréale et australe de l'Atlantique. La zone équatoriale constitue donc, mécaniquement, le centre des phénomènes transgressifs.

Nous avons indiqué que c'est sous l'Équateur que se rencontrait la partie de l'Océan le moins riche en oxygène dissous. Cette zone dépourvue d'oxygène forme, vers trois cents mètres de profondeur, une sorte de seuil permanent. Cette fixité de la mer sans oxygène a été soulignée par les océanographes allemands qui la rattachent à la partie de l'Océan jouissant d'une constante immobilité, la stratosphère océanique, et c'est sur ce seuil stratosphérique que viennent s'appuyer le courant et le contre-courant équatoriaux. Le contre-courant équatorial dirigé d'Ouest en Est se confond, du côté africain, avec le courant de Guinée ; sa présence en surface est signalée par cette zone de salure inférieure à 35 0/00, qui s'étend de l'Afrique aux Antilles, la cloison de Schott, que j'avais définie comme une vanne de régulation des alternances transgressives.

Le centre équatorial transgressif est donc un élément stable, caractérisé par le seuil des eaux sans oxygène, en profondeur ;

le courant de Guinée et la cloison de Schott en surface. C'est en s'appuyant sur cette barrière stratosphérique que déferle tantôt vers le Nord, tantôt vers le Sud, la marée interne transgressive.

Les eaux de la transgression comprennent l'ensemble des eaux d'origine tropicale, à savoir les eaux équatoriales de 37 à 35,5 0/00 et les eaux atlantiques de 35,5 à 35 0/00. Dans la zone tempérée, la distribution des eaux équatoriales est très limitée et ces eaux restent superficielles.

Sur le plateau continental européen, l'action transgressive est due aux eaux atlantiques. Dans cette région le phénomène transgressif se traduit, d'une part, par une progression en surface d'eaux de haute température et par une avancée en profondeur d'eaux de forte salinité ; on peut même en déduire la loi suivante :

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

Cette partie profonde de la transgression, par suite de sa salure et de sa température, a une forte densité ; aussi a-t-elle tendance, quand elle empiète sur le plateau continental, à suivre les lignes de plus grande pente, en refoulant devant elle les eaux continentales. Quand la trouée est effectuée, les eaux chaudes et légères de la surface marquent leur avance à leur tour, et il en découle le principe suivant :

Les transgressions de surface suivent la route tracée par les eaux atlantiques en profondeur et se conforment, dans leur parcours, au trajet des vallées et des dépressions du relief sous-marin continental.

Les eaux chaudes superficielles, au moment de la régression, reculent les premières ; ce n'est que plus tard que les eaux salées du fond perdent du terrain ; elles ne reculent qu'au moment de la stabilité hivernale.

L'avance des eaux transgressives est fortement retardée

par l'inertie et la lourdeur des eaux continentales et polaires ; par leur adhérence à la falaise continentale et aux socles des archipels, elles constituent un véritable obstacle à la transgression. Le mécanisme de l'avance dans un golfe est, en général, le suivant : il y a d'abord pénétration d'une nappe salée,

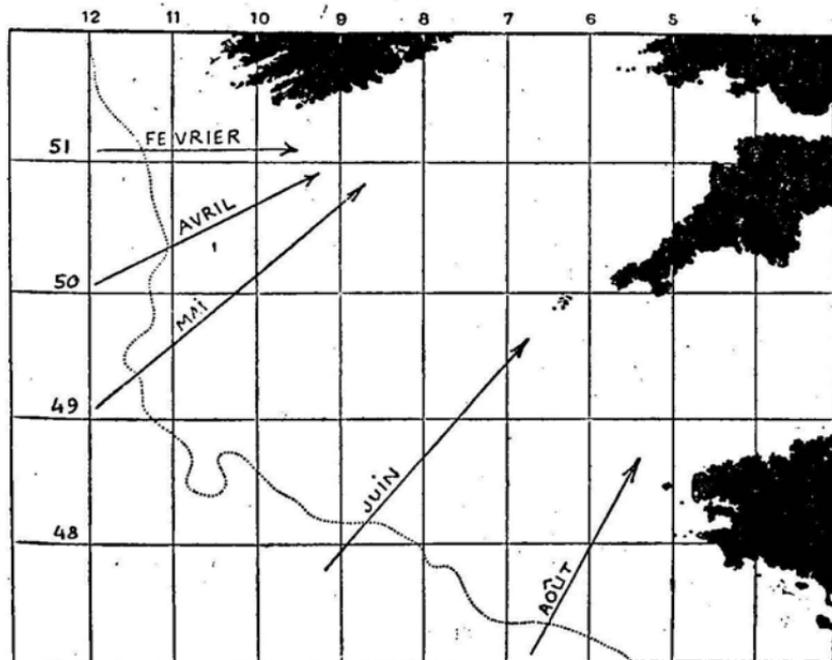


Fig. 24. — Axes transgressifs en mer Celtique.

selon la ligne de plus grande profondeur, puis arrivée d'une nappe chaude en surface ; celle-ci s'étale dans le golfe, mais la plupart du temps, son entrée reste limitée à un chenal, bordé d'eaux continentales ; l'arrivée de nouvelles masses d'eaux transgressives à partir du large permet le déplacement du seuil d'eaux froides qui finit par être rompu.

En ce qui concerne les archipels, les eaux continentales qui

les rattachent à la côte sont entourées par les eaux transgressives à partir du large ; celles-ci forment deux lobes qui finissent par se rejoindre, en coupant le pédoncule d'eaux continentales. Il ne reste plus autour de l'archipel qu'une faible gaine de ces eaux, et celle-ci ne tarde pas à se réchauffer *in situ* au contact des eaux transgressives.

Dans certaines régions, 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* » ces directions variables de l'avance des eaux équatoriales. Un excellent exemple du changement d'orientation des axes transgressifs se trouve en Mer Celtique, sur le plateau continental franco-britannique ; de février à août, dans une année moyenne, les axes transgressifs passent du 51° N au 48° N, c'est-à-dire de l'Irlande à l'Armorique et leur orientation, d'abord Ouest-Est, devient peu à peu Nord-Nord-Est, Sud-Sud-Ouest.

Ces divers principes qui régissent le mécanisme des transgressions seront mis en évidence un peu plus loin quand nous étudierons le détail de ces phénomènes dans diverses régions de l'Atlantique.

Causes et périodicité des transgressions.

1° Relations astronomiques.

a) Recherches du professeur Pettersson. — Nous avons dit qu'un an après notre découverte des transgressions, le professeur Otto Pettersson, 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 Pettersson avait défini les marées internes comme « une marée sous-marine parallactique 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 Pettersson 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'actions 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 Pettersson 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 périégée 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 perihelium, 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 du 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 de Sir d'Arcy Thomson et du Dr. Storrow. — Sir 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 trois quarts 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, 5 ;

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, 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 remarquée 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, 1916. C'est donc d'après des données purement empiriques que nous pûmes établir, dès cette époque, un rythme périodique, avec les multiples :

$$1 - 4 \frac{1}{2} - 9 - 18.$$

La publication des travaux d'Otto Pettersson, basés sur des considérations astronomiques, en 1922, nous permit de

préciser la périodicité, et de prendre la nouvelle formule :

$$1 - 4 \frac{1}{2} - 9 - 18 \frac{1}{2} - 111.$$

Puis, en 1929, vinrent les travaux de Lallemand et Prevot et, en 1931, 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 par 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.

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 répétées 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.

**

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. La transgression de 1921 apporta dans le monde de la pêche de graves perturbations en ce qui concerne la morue, le hareng et, indirectement, les huîtres.

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 25 donne seulement un aperçu de la disposition des transgressions octo-décimales par rapport aux transgressions séculaires. La figure 26 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-

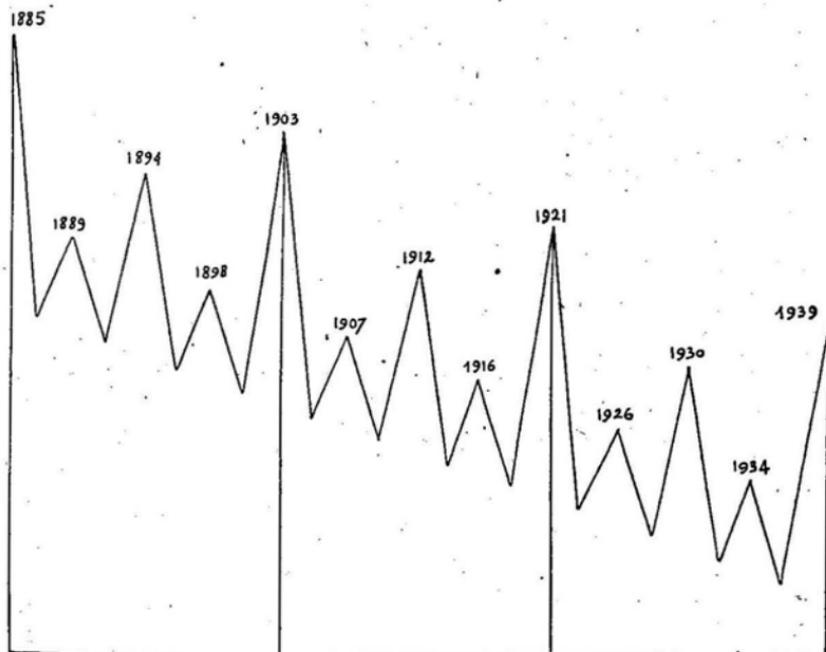


Fig. 26. — Schéma de la périodicité de 1885 à 1939.

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 de 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'azimut du périhélie fait un tour complet, soit 207 siècles ou 20.700 ans.

— : Onde de 111 ans de période.
- - - : Onde de 93 ans de période.

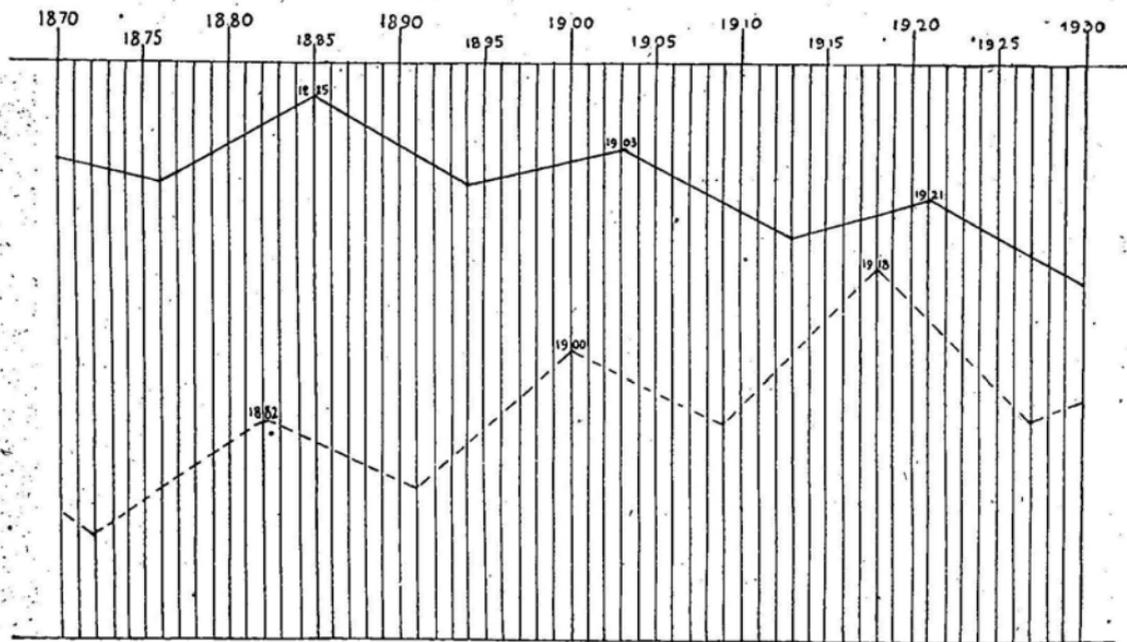


Fig. 27. — Rapport des ondes de 93 et 111 années de période.

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 ;
2 ^e glaciation (Mindel) :	460.000 ans ;
3 ^e glaciation (Riss) :	210.000 ans ;
4 ^e glaciation (Würm) :	98.000 ans.

Ces chiffres approximatifs permettent d'inférer qu'entre chacune des deux dernières glaciations, s'est étendue une

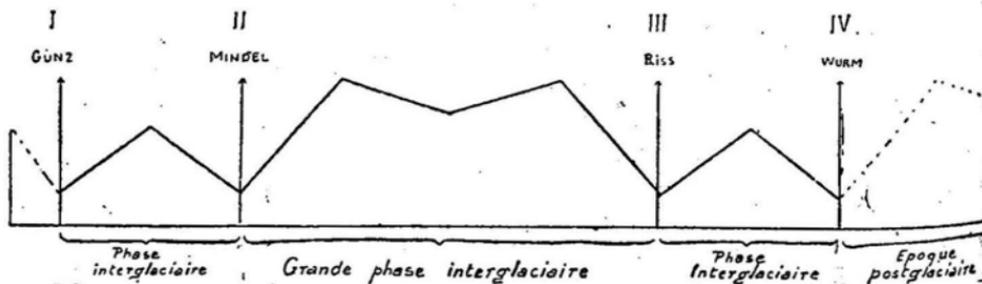


Fig. 28. — Rythme périodique des glaciations pléistocènes.

période d'environ 110.000 ans, correspondant à onze fois la période de coïncidence des deux ondes de 93 à 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 interglaciaire 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 inter-

médiales, 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 le passé de notre planète. On a trouvé des traces de glaciation au Cambrien, au Dévonien, au Permien, et la grande invasion de la mer Cénomaniennne, 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	
Devonien	Silurien
Permien et triasique	Carbonifère
Crétacique (cénomaniennne)	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 à 1.860 ans qu'indique Otto Pettersson comme période perihelium — nœud apside. L'époque dernière de cette grande période tombait, au commencement du xv^e 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 à 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.

Les courants marins.

Dans l'ensemble des masses d'eaux océaniques, le heurt des eaux transgressives contre les fronts polaires et la mise en mouvement des transgressions elles-mêmes, se traduit, dans certaines zones de contact, par des déplacements des nappes marines, suffisamment actifs pour que leurs vitesses soient susceptibles d'être remarquées et enregistrées et qu'on appelle « courants ». Il résulte de cette définition, que les courants atlantiques peuvent se diviser en deux groupes : les courants des fronts polaires et les courants des eaux transgressives.

a) *Courants des fronts polaires.*

Nous avons mentionné à diverses reprises la grande dérive glaciaire qui, sous l'influence de la force de la rotation de la terre, entraîne contre le Groënland l'accumulation des banquises formées dans la cuvette boréale. L'étude du déplacement des glaces polaires est assurée, depuis de nombreuses années, par l'Institut Météorologique de Danemark qui, chaque année, publie un Atlas de leur position dans l'année écoulée, du mois d'avril au mois d'août. La limite moyenne de la banquise arctique, vers la fin de l'hiver, inclut les abords de la Mer Blanche, de l'île de l'Ours et du Spitzberg. Dans la région placée à l'ouest de cet archipel et jusqu'au 80° Nord persiste une région d'eaux libres, que les glaces n'envahissent qu'exceptionnellement. A partir du Spitzberg et vers l'Ouest, la limite glaciaire est sensiblement marquée par une ligne joignant l'île Danes (Spitzberg) à la terre de Jan Mayen et à l'Islande. A partir du Cap Nord d'Islande, les glaces s'appliquent plus étroitement encore contre le Groënland et bloquent les parages du Cap Farewell.

En été, le retrait de la banquise dégage complètement la Mer de Barentz et la côte Nord Sibérienne. Elle se trouve alors jalonnée par les archipels sibériens et la Terre François-Joseph. Le Spitzberg est complètement dégagé jusqu'au 83° N.; puis la banquise vient rejoindre la côte groënlandaise vers l'île Shannon et se termine vers Angmassalik.

Pendant toute la période du retrait glaciaire, l'intense fusion de la banquise provoque la formation d'une masse d'eaux très froides et de faible salure, continuation directe de la dérive polaire, le *courant du Labrador*. Il remplit le détroit de Danemark, dépasse le cap Farewell, où il s'accroît de l'apport des eaux de fusion de la Mer de Baffin; il franchit alors le détroit de Davis pour venir se heurter contre le plateau

continental de l'île de Terre-Neuve et des Bancs. Nous étudions, à propos de cette dernière région, la terminaison des diverses branches du courant du Labrador. Les icebergs, détachés de la côte groënlandaise, suivent ce courant jusqu'aux accores de l'Est du Grand Banc ; les eaux froides issues du Saint-Laurent, jointes à celles du courant polaire, recouvrent les Bancs de Nouvelle-Écosse et du Maine, et leur influence se fait sentir jusqu'au Cap Hatteras.

L'absence de barrière continentale dans l'hémisphère austral empêche la constitution d'une dérive glaciaire aussi massive et aussi importante que celle de l'hémisphère boréal, mais il faut cependant noter que, pendant l'hiver antarctique, c'est-à-dire vers le mois d'août, un courant de dérive glaciaire règne contre la côte américaine jusqu'au Rio de la Plata ; c'est le *courant des îles Malouines* qui provoque le climat rigoureux de la Patagonie. Dans la période estivale, c'est-à-dire vers février, l'influence du courant des Malouines est nulle et le front polaire ne dépasse guère la Terre de Feu.

b) *Courants des eaux transgressives.*

Nous avons vu que sous l'Équateur se place un seuil hydrologique défini par les eaux sans oxygène et de caractère stratosphérique. Géographiquement, ce seuil hydrologique équatorial constitue une zone neutre dans l'Océan, limité au Nord par une ligne qui rejoint le Cap Verd aux Antilles et au Sud, par une autre ligne joignant le Cap Lopez à l'îlot Saint-Paul. Cette zone neutre est parcourue en surface par le *contre-courant équatorial, ou courant de Guinée*, qui se dirige de l'Ouest vers l'Est. Les eaux superficielles, particulièrement du côté africain, sont de très faible salure, variant entre 34 et 35.5 0/00 (cloison de Schott). Les couches profondes du courant de Guinée sont plus salées et varient entre 35,5 et

36 0/00. Nous avons indiqué l'importance du triple phénomène :

Cloison de Schott, + courant de Guinée, + seuil sans oxygène,

comme éléments constituant le centre transgressif.

Au Nord et au Sud du seuil hydrobiologique équatorial se placent deux courants, généralement dénommés *courants équatoriaux*, et ayant une direction d'Est en Ouest et qui semblent obéir à la force de la rotation de la Terre. Ils transportent, en effet, des eaux de haute salure, de la côte africaine vers les côtes américaines. Le courant du Nord reçoit souvent la désignation de « *courant des Canaries* » ; son origine est localisée au Maroc, près de Mogador où les eaux du plateau continental marocain, refoulées par les eaux venues du large, se glissent vers le Sud en direction de l'Archipel des Canaries ; dans cette région le courant s'amplifie et, traversant l'Atlantique, pénètre dans la Mer des Antilles, en longeant strictement la limite septentrionale du seuil hydrologique équatorial.

Le courant du Sud a une formation analogue et peut être appelé « *courant de Benguela* ». Il prend sensiblement naissance entre le Congo et Walfisch-bay et part vers l'Ouest en suivant la limite méridionale du seuil hydrologique équatorial, pour atteindre la Mer des Antilles, en longeant la côte Nord du Brésil.

Cette concentration dans la Mer des Antilles des courants équatoriaux des deux hémisphères, s'explique par la fermeture récente de cette mer et, au lieu de passer dans le Pacifique par les détroits Dariens, ils accumulent leurs eaux dans le Golfe du Mexique. Le courant de Guinée, orienté d'Ouest en Est, et les deux courants équatoriaux, orientés d'Est en Ouest, sont les courants fondamentaux de la masse transgressive.

Au delà de ces courants, au Nord et au Sud, se trouvent deux *zones calmes*, nettement individualisées par leur haute

salure qui varie de 36,6 à 37 0/00. La zone nord est communément désignée sous le nom de « *Mer des Sargasses* » et s'étend entre la Floride et les Açores. Elle s'appuie à l'Ouest sur la crête insulaire des Antilles. On a maintes fois décrit la flore et la faune spéciale de cette mer. Il est très certain, maintenant, que les Sargasses se développent sur place dans cette zone calme et ne proviennent nullement de la côte américaine. Il est probable que leur origine, ainsi que celle de la faune qui les habitent, doit être attribuée à un lent effondrement d'un ancien pont continental qui serait celui de l'Atlantide géologique ; la lenteur du phénomène aurait permis aux Sargasses de s'adapter à la vie pélagique, ainsi que leur population animale.

Du côté austral, l'équivalent de la Mer des Sargasses est marqué par une zone d'eaux à salure très élevée (37 0/00), accolées à l'Amérique du Sud, dans la région de Bahia. Ces zones neutres, au Nord et au Sud, isolent nettement la partie équatoriale du système transgressif, des grandes extensions par lesquelles ce phénomène se manifeste aux hautes latitudes, dans les deux bassins atlantiques.

Les extensions transgressives sont essentiellement inégales dans les deux hémisphères. L'étude de la distribution des eaux atlantiques a, en effet, montré que dans l'hémisphère austral, la nappe des eaux d'origine équatoriale n'excède guère une profondeur de 500 mètres. La configuration de l'Océan austral réduit, de plus, les variations transgressives qui, pratiquement, sont indiquées par des fluctuations du front polaire entre le 40° et le 45° de latitude Sud.

Par contre, dans l'hémisphère boréal, les eaux atlantiques sont représentées par une masse considérable pouvant s'étendre, en profondeur, jusqu'à 2.500 mètres.

La déviation vers l'Ouest de la grande dérive glaciaire et du courant du Labrador, laisse libre toute la partie orientale de l'Atlantique Nord, aussi assistons-nous, dans cette partie

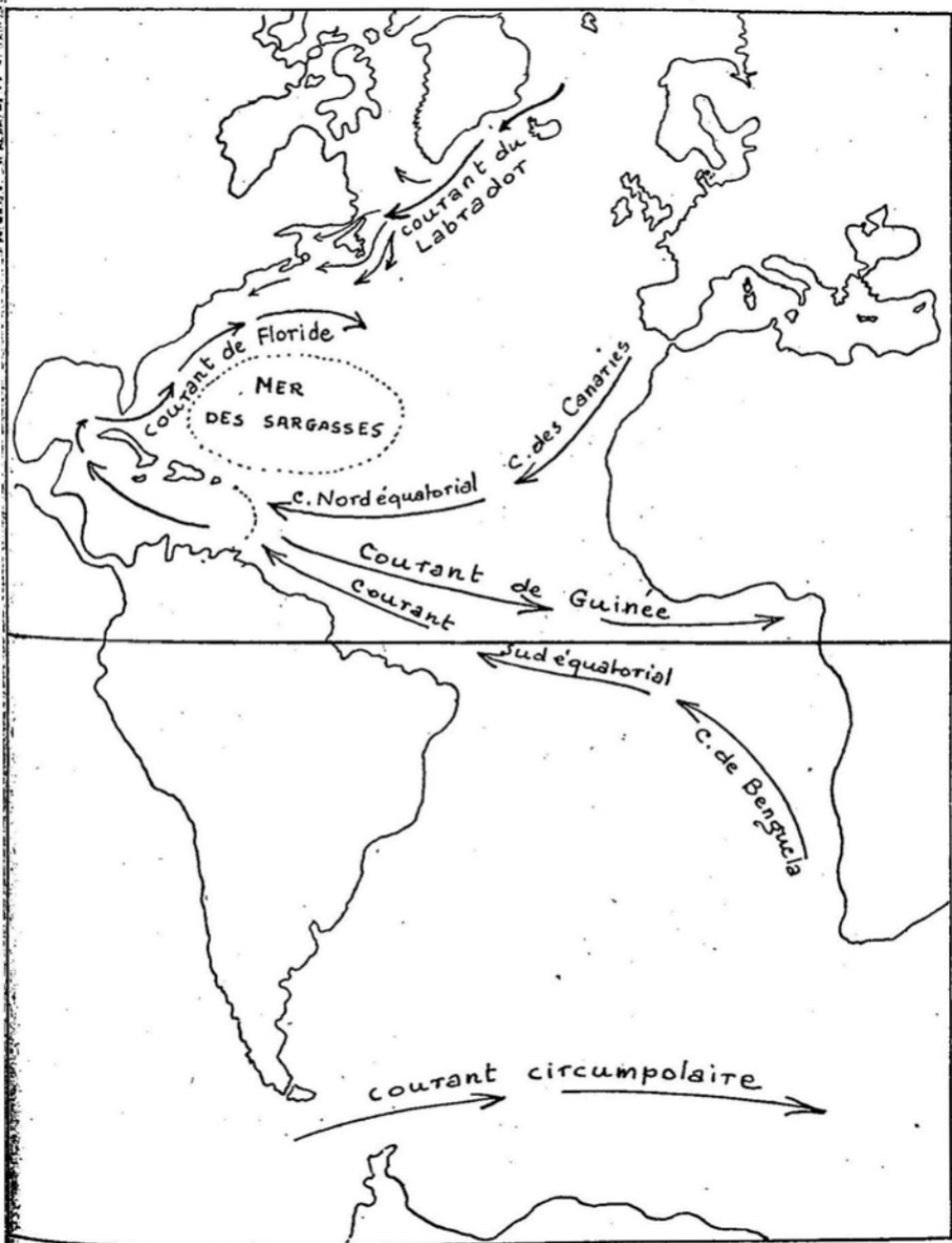


Fig. 20. — Carte générale des grands courants marins.

de l'Océan, à une manifestation extrêmement puissante de l'extension transgressive. Nous avons signalé que les variations des eaux d'origine équatoriale, entre le maximum transgressif et la position de stabilisation hivernale, peuvent dépasser, dans les couches superficielles, une amplitude de plus de vingt degrés de latitude. C'est la valeur de cette fluctuation qui a induit les premiers océanographes à confondre le phénomène cosmique des transgressions avec l'extension d'un courant.

c) *Le Gulf-Stream ou courant de Floride.*

L'accumulation des eaux des courants équatoriaux dans la Mer des Antilles et le Golfe du Mexique provoque, entre la Floride et l'île de Cuba, la sortie d'un énorme volume d'eau, doué d'une grande vitesse et déterminant un courant violent, le Gulf-Stream. Presque dès sa sortie du détroit de Floride, le Gulf-Stream contourne par le Nord la zone calme de la Mer des Sargasses et à la latitude du Cap Hatteras se trouve en contact avec les eaux continentales américaines issues du courant du Labrador.

Dès ce moment, le Gulf-Stream se trouve intégré dans la masse des eaux transgressives dont il constitue la limite nord. Dans la région des Bermudes, les eaux sorties du Golfe du Mexique se mélangent aux eaux équatoriales de la zone située au nord de la mer des Sargasses, et le début du courant de Floride s'en trouve renforcé. C'est dans ces conditions qu'il atteint le bord méridional des Bancs de Terre-Neuve. La rencontre des eaux de la transgression et des eaux de la dérive polaire, se manifeste, dans cette zone de contraste, par un heurt extrêmement violent, dans lequel le Gulf-Stream perd peu à peu sa vitesse et sa puissance. Nous décrirons ultérieurement le détail de cette lutte entre les eaux polaires et les eaux transgressives. Déviées vers l'Est par la résistance des eaux froides, les eaux équatoriales s'étalent en surface et un peu au Nord-Ouest des

Açores, vers le 30° W. G., le courant de Floride perd son individualité, tandis que la masse des eaux transgressives chemine vers le Nord-Est dans l'Atlantique oriental

*
**

De nombreux articles parus dans la presse, soit amicaux, soit malveillants, ont souvent dénaturé les opinions que j'avais émises au sujet du courant de Floride : on a fait de moi l'homme qui avait « volé » ou « tué » le Gulf-Stream ; en réalité, je me suis seulement attaché à limiter le courant à ses justes proportions et à montrer que sa prétendue influence sur le climat des côtes d'Europe était due à un phénomène d'ordre plus général, relevant de la circulation océanique, les transgressions atlantiques.

L'histoire du Gulf-Stream mérite d'être rappelée : il fut découvert en 1513, dans le Golfe de la Nouvelle Espagne, par le conquistador Ponce de Leon, mais on en parla peu jusqu'à Franklin. C'est ce dernier qui figura, sur une carte connue de tous, le fameux courant, en lui donnant l'aspect d'un fleuve marin au cours précis. Le lieutenant Maury, de la Marine Américaine, raconte de la façon suivante l'entrée du Gulf-Stream dans l'hydrographie :

« 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 on 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. »

Cependant Maury reprit pour son compte l'étude du Gulf-

Stream. Il précisa qu'à la sortie du Canal de Floride, le courant a une vitesse de 6 à 8 milles par heure, une largeur de 80 kilomètres, une épaisseur de 1.000 mètres ; il ajouta qu'à la longitude de Terre-Neuve, la vitesse avait bien diminué et qu'à 500 milles vers l'Est, elle était à peine perceptible ; par contre, la largeur du Gulf-Stream était si considérable qu'on ne savait s'il fallait la fixer à 1.200 ou 1.800 kilomètres.

L'étude du Gulf-Stream suscita le lancement de flotteurs destinés à en déterminer la vitesse et le trajet. On doit particulièrement ces expériences au prince Albert I^{er} de Monaco, mais les trajets des flotteurs ne concordèrent pas avec les hypothèses et quand, plus tard, le Prince essaya d'expliquer la dérive des mines flottantes pendant la guerre, il fut obligé de faire décrire à ces mines un trajet complexe, difficilement vérifiable. La carte de l'Allemand Krümmel, sur la dérive des épaves, ne concorde pas non plus avec l'itinéraire du courant de Floride.

Du reste, la définition même que l'on donne du Gulf-Stream ne peut être logiquement acceptée ; il est impossible pour un courant de se déplacer sans cesse vers le Nord sans perdre totalement sa chaleur initiale ; après un parcours de 4.000 milles, ses eaux, étalées à la surface de l'Océan, ne peuvent être décelées ni par leur température, ni par leur vitesse.

Les cartes des courants atlantiques indiquent, d'autre part, avec une extrême netteté, la limite nord du Gulf-Stream, mais la limite sud du courant reste dans le vague ; en effet, la ligne de démarcation septentrionale correspond à la séparation des eaux atlantiques et des eaux polaires, à la limite nord des transgressions. Comme le Gulf-Stream n'est qu'une partie de la masse des eaux transgressives, on ne peut donc lui trouver une limite Sud.

Les effets attribués à l'influence du Gulf-Stream sur le climat de l'Europe occidentale ne peuvent se justifier par l'arrivée, au large de ses côtes, d'une quantité d'eau aussi



Fig. 30. — Carte du Gulf-Stream, d'après Franklin.

minime que celle d'un simple courant, quelque important qu'on veuille le décrire. Ces variations météorologiques nécessitent un phénomène de plus grande amplitude, intéressant une notable partie de la masse océanique.

Je dois ajouter que, dans la majorité des récents travaux d'océanographie, le terme « d'eaux atlantiques » a remplacé celui « d'eaux du Gulf-Stream ». Dans les régions septentrionales, les auteurs transforment le courant légendaire en « dérive Nord-Atlantique » sans donner de précisions ni sur la nature, ni sur l'origine de ce phénomène.

Je dois cependant noter que l'océanographe américain Iselin, à la suite des observations qu'il a effectuées à bord du navire *Atlantis*, a fait un grand effort pour faire revivre le Gulf-Stream, sans doute afin d'honorer la mémoire de Franklin. Il l'avoue du reste en partie, car il déclare qu'il n'emploie le terme de Gulf-Stream que parce que ces mots sont devenus si usuels qu'il est difficile de les abandonner maintenant. Iselin constate, en outre, que le système du Gulf-Stream n'est dû que partiellement au courant de Floride et qu'il ne prend d'importance que par un apport général d'eaux venant s'y ajouter entre le 20° et le 30° de latitude Nord. Après le Banc de Terre-Neuve, il transforme le Gulf-Stream en courant Nord-Atlantique auquel il ne confère aucune valeur thermique spéciale. Le Gulf-Stream ainsi modifié se défend avec peine et M. Aimé Perpillou, dans une critique publiée dans les *Annales de Géographie*, se demande pourquoi, après avoir décrit les variations saisonnières du Gulf-Stream, Iselin les a qualifiées d'apparentes. Et de plus pourquoi, tout en répudiant la théorie française des transgressions, il emploie les éléments de nomenclature fixés par cette théorie.

Il faudra cependant encore longtemps pour que la croyance à l'extension du Gulf-Stream dans l'Atlantique Oriental soit définitivement abandonnée par les auteurs de géographies générales et les marchands d'atlas !

CHAPITRE III

ÉTUDE DES TRANSGRESSIONS DANS QUELQUES RÉGIONS DE L'ATLANTIQUE

Si certaines parties de la théorie des transgressions exposées dans le précédent chapitre reposent sur des hypothèses, déjà partiellement vérifiées, comme, par exemple, leurs causes et leur périodicité, il n'en est pas de même de la base du système qui a été construit sur des observations précises effectuées à la mer au cours de multiples croisières : l'origine de la conception des transgressions est entièrement empirique ; aussi, malgré leur complexité, convient-il de mettre sous les yeux des lecteurs les faits fondamentaux qui permettent de saisir ce grand phénomène océanique dans les diverses formes qu'il affecte suivant les régions de l'Atlantique. Cet exposé contient uniquement les résultats des recherches minutieuses auxquelles, depuis une vingtaine d'années, je me suis personnellement livré, avec mes collaborateurs de l'Office des Pêches Maritimes, à bord des navires océanographiques français.

Nous avons indiqué que la masse des eaux transgressives comprenait les eaux équatoriales proprement dites et les eaux atlantiques de salure légèrement plus faible ; aussi examinerons-nous successivement les mouvements de ces deux catégories d'eaux marines et leur rôle respectif dans le phénomène

des transgressions, enfin nous décrirons dans certaines zones caractéristiques leurs rapports avec les eaux du front polaire.

1° *Transgression des eaux équatoriales :*

A. — Atlantique occidentale (des Açores à Terre-Neuve).

B. — Atlantique oriental (région ibéro-africaine et Méditerranée).

2° *Transgression des eaux atlantiques :*

C. — Golfe de Gascogne.

D. — Plateau franco-britannique.

3° *Front polaire arctique :*

E. — Front polaire européen (mer de Norvège et de Barentz).

F. — Front polaire américain (bancs de Terre-Neuve et côte américaine).

A. — *Atlantique occidental (des Açores à Terre-Neuve),*

En 1934, le navire océanographique *Président Théodore Tisier* traversa deux fois l'Atlantique, aux mois de septembre et d'octobre, d'une part, au voyage d'aller, le long du 45° Nord ; d'autre part, au retour, des Bancs de Terre-Neuve aux Açores et de cet archipel à Lorient. Ce sont les résultats de cette croisière qui serviront de base à notre description du régime de l'Atlantique occidental.

Quand on traverse l'Océan, d'Ouest en Est, le phénomène qui frappe, au premier abord, est la différence de disposition des isothermes dans l'Atlantique Oriental et dans l'Atlantique Occidental. Du côté européen on voit, en effet, ces lignes s'enfoncer lentement vers les grandes profondeurs ; les couches d'eaux de même température s'inclinent vers les fonds, en pentes très douces presque insensibles. Par contre, dès qu'on a dépassé les Açores, dans l'Atlantique Occidental, les isothermes subissent des variations très marquées, montant

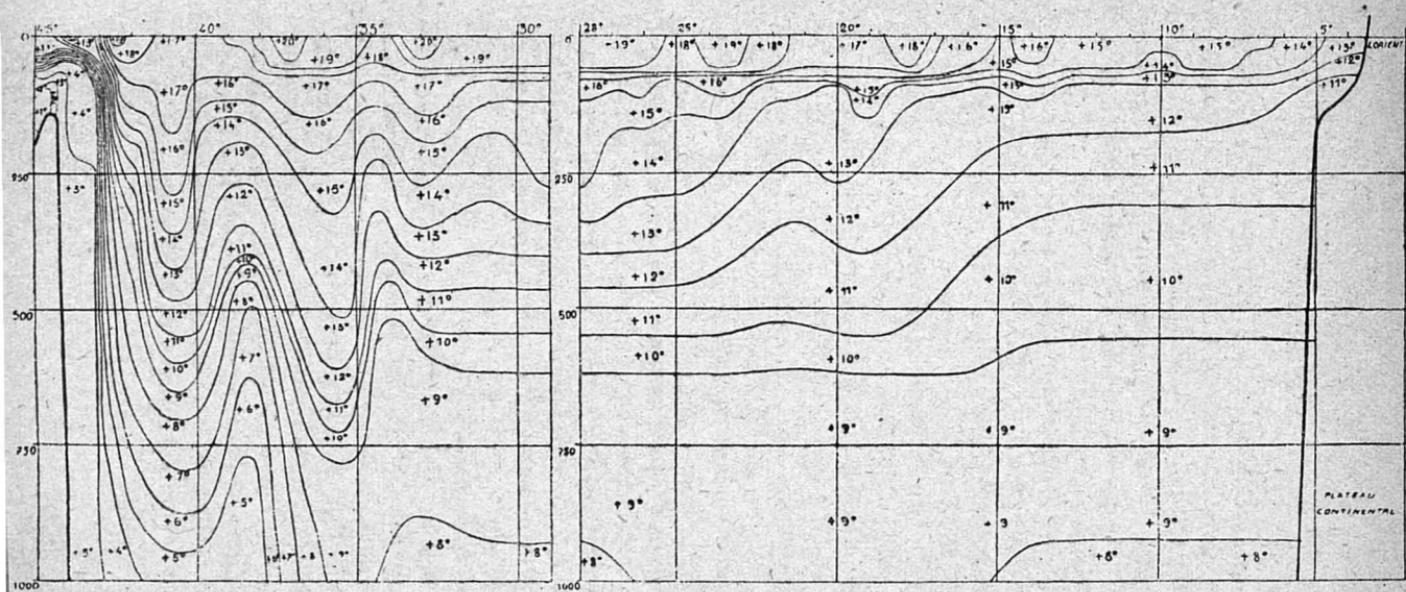


Fig. 31. — Section de l'Atlantique de Terre-Neuve à l'Europe.

et descendant avec de brusques oscillations, puis, subitement, entre le 43° et le 44° de longitude Ouest, elles se redressent presque verticalement, à partir du fond. Le rapprochement des isothermes dans cette région est tel qu'on rencontre, à quelques milles de distance et aux mêmes profondeurs, des écarts de température dépassant 15° ; c'est le *mur froid de Terre-Neuve*, ou « Cold wall », zone de contraste caractéristique de l'Atlantique occidental.

Si l'on transpose les sections hydrologiques verticales sur des plans d'isobathes, on s'aperçoit que la succession de sommets et de vallées que dessinent les isothermes correspondent à des alternances d'avances et de retraits d'eaux de différente nature. Cette région de l'Atlantique est le théâtre du heurt intense des eaux d'origine polaire, groupées dans le courant du Labrador, et des eaux d'origine équatoriale, intégrant le Gulf-Stream dans toute sa force. Bien que participant à l'ensemble du mouvement transgressif, les eaux atlantiques à 35 0/00 ne servent guère que d'élément de transition entre les eaux équatoriales à 36 0/00 et les eaux polaires : moins mobiles que les eaux de l'Équateur, les eaux atlantiques, dans cette région de l'Océan, font presque figure d'eaux froides et arrêtent les assauts violents des eaux équatoriales.

Ces dernières ont une telle force d'empiètement et de pénétration et réalisent à un si haut degré le caractère même des eaux transgressives, qu'on est amené, pour bien faire comprendre la valeur de leurs attaques répétées contre les eaux froides, à supposer, par un artifice de démonstration, qu'elles sont de nature essentiellement différente des eaux auxquelles elles livrent bataille. Supposons, par exemple, que la masse des eaux d'origine polaire, accrue même des eaux atlantiques à 35 0/00, constitue un support solide et gardons aux eaux équatoriales leur caractère de mobilité liquide ; les eaux froides, par cet artifice, vont se transformer en une haute falaise contre laquelle se ruent les eaux de très haute salinité,

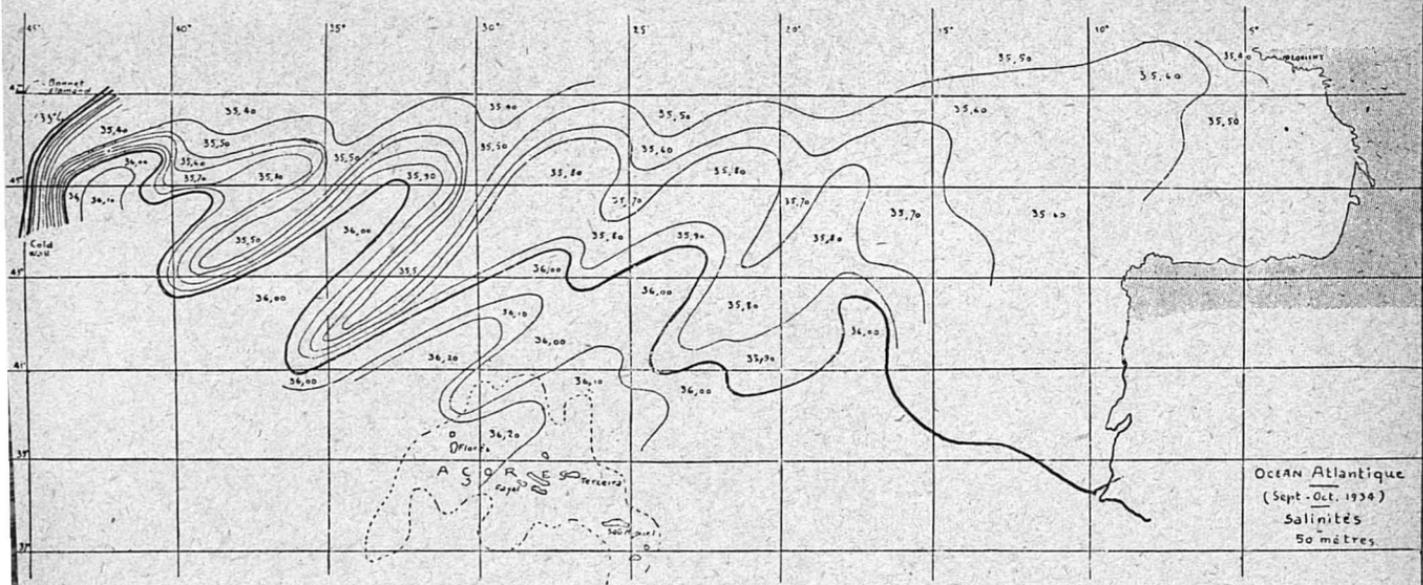


Fig. 32. — Salinités de l'Atlantique Nord, 50 mètres.

et cette attaque est si violente que la falaise va se raviner sous l'influence des eaux à 36 0/00 et présenter par ailleurs des saillants qui résisteront à leur choc. Le mur froid de Terre-Neuve représente l'escarpement définitif de la falaise d'eaux froides, véritable doublure du plateau continental terrestre. Ce sont les alternances des ravins et des saillants de la falaise d'eaux froides qui inscrivent, sur les sections verticales, ces ondulations si spéciales des isothermes de l'Atlantique Occidental.

Pour synthétiser clairement les eaux équatoriales, nous les définirons momentanément par l'isohaline 36 0/00 et par l'isotherme + 19° et considérons que cette définition correspond sensiblement aux eaux du courant de Floride.

Ayant longé la côte américaine, en marge du plateau continental, le Gulf-Stream, en pleine force, vient buter contre le Cold Wall, au large du Grand Banc de Terre-Neuve et du Bonnet Flamand, vers le 45° N. Il y détermine un ravin profond qui s'étend jusqu'au 46° N., mais le poids des eaux polaires a raison de l'impétuosité du courant de Floride, et les eaux froides forment un saillant puissant qui s'avance jusqu'au dessous du 43° N., entre le 35° et 40° W.G.

Les eaux équatoriales tentent avec succès un nouvel assaut, et vers le 33° W.G. s'inscrit un nouveau ravin dans la falaise qui remonte jusqu'au 45° N. ; à celui-ci succède un autre saillant, plus marqué, plus puissant, car il arrive à atteindre la latitude du 41° N. Les eaux à 36 0/00 essaient de le contourner vers l'Est, mais elles ont tendance à s'étaler ; elles parviennent cependant à gagner, au Nord des Açores, le 43° N. ; dans ce suprême sursaut, elles perdent leur énergie dernière. Les eaux au dessous de 36 0/00 viennent s'arc-bouter dans un saillant permanent sur le plateau même des Açores, englobant dans leurs couches profondes la base de l'île de Terceira, vers le 28° W.G. ; on peut dire que c'est dans ce dernier ravin que disparaît définitivement la force

active de l'individualité du courant de Floride. A partir de cette longitude, les eaux atlantiques vont remplacer dans l'avance transgressive les eaux équatoriales et s'avancer dans la grande vallée formée par les eaux d'origine polaire dans l'Atlantique Oriental. Elles ne trouveront devant elles, en surface, que la résistance des eaux continentales, jusqu'au moment où elles atteindront les hautes latitudes de l'Écosse et des Feroë.

Ces phénomènes, que nous avons pu saisir sur le vif, à un moment précis, marquent le formidable contraste des eaux polaires et des eaux équatoriales et leur lutte, personnifiée par le choc des courants de Floride et du Labrador. Il est probable que, suivant les années et suivant les saisons, les positions des ravins et des saillants varient de forme et de situation géographique, mais que les caractères essentiels du phénomène restent les mêmes.

Si l'on considère que le Cold Wall est, dans cette région, la limite entre la Troposphère, représentée par les eaux équatoriales et Atlantiques et la Stratosphère, constituée par les eaux abyssales et polaires, la séparation entre ces deux parties de la masse océanique est précisée par l'isotherme + 4° qui remonte des grandes profondeurs jusqu'en surface, aux environs du 45° W.G.

B. — *Atlantique Oriental* (région ibéro-africaine et Méditerranée).

L'étude des eaux tropicales dans l'Atlantique oriental a été effectuée, à diverses reprises, par les navires de l'Office des Pêches, notamment par la *Tanche*, en 1925, et par le *Président Théodore Tissier*, en 1933 et en 1936. Une partie importante de ces observations est due à mon excellent collaborateur M. G. Belloc.

La limite des eaux équatoriales à 36 0/00 semble localisée, à peu près en toutes saisons, dans les parages du Cap Saint-Vincent. De ce promontoire les eaux équatoriales s'avancent légèrement vers le Nord en formant un lobe vers le 18° W.G., et qui s'étend presque jusqu'au 43° N. Au sud de cette limite et au large de la côte africaine, on ne rencontre pratiquement que des eaux équatoriales, sauf dans les grandes profondeurs ; leur salinité varie de 36 à 37 0/00. Sur le plateau continental africain et autour des archipels, la salinité est légèrement moindre et oscille entre 36,1 et 36,5 0/00. La température dans les couches superficielles y est plus basse qu'au large pendant l'hiver, et varie entre +14° et +17° ; aussi les mouvements transgressifs dans cette zone sans contrastes sont-ils assez difficiles à bien préciser. On peut, toutefois, signaler que la première ébauche des transgressions se manifeste dans cette région suivant deux axes. Le mouvement le plus important est une avance des eaux chaudes et salées (36,8 0/00 et +20°), en hiver, entre l'archipel de Madère et les Iles Salvages. La direction de cet axe suit exactement les grandes profondeurs du golfe sous-marin qui s'avance vers la baie d'Espagne et le détroit de Gibraltar et que nous avons décrit dans l'étude topographique de la région ibéro-africaine. Cet axe transgressif obéit donc strictement au principe qui fait suivre les lignes des grandes profondeurs par les transgressions de surface.

Un autre axe transgressif de moindre importance détermine la formation d'un lobe d'eaux de forte salure et de forte température, le long de la côte africaine, entre l'archipel des Canaries et le Cap Juby. Les eaux à caractère semi-continental qui entourent l'archipel canarien, se trouvent enserrées entre les deux axes transgressifs, et se réduisent rapidement à une mince gaine qui, finalement, est intégrée dans les autres eaux équatoriales.

Plus au Nord, l'archipel des Salvages oppose un obstacle analogue à l'avance des eaux du large, mais cet îlot de résis-

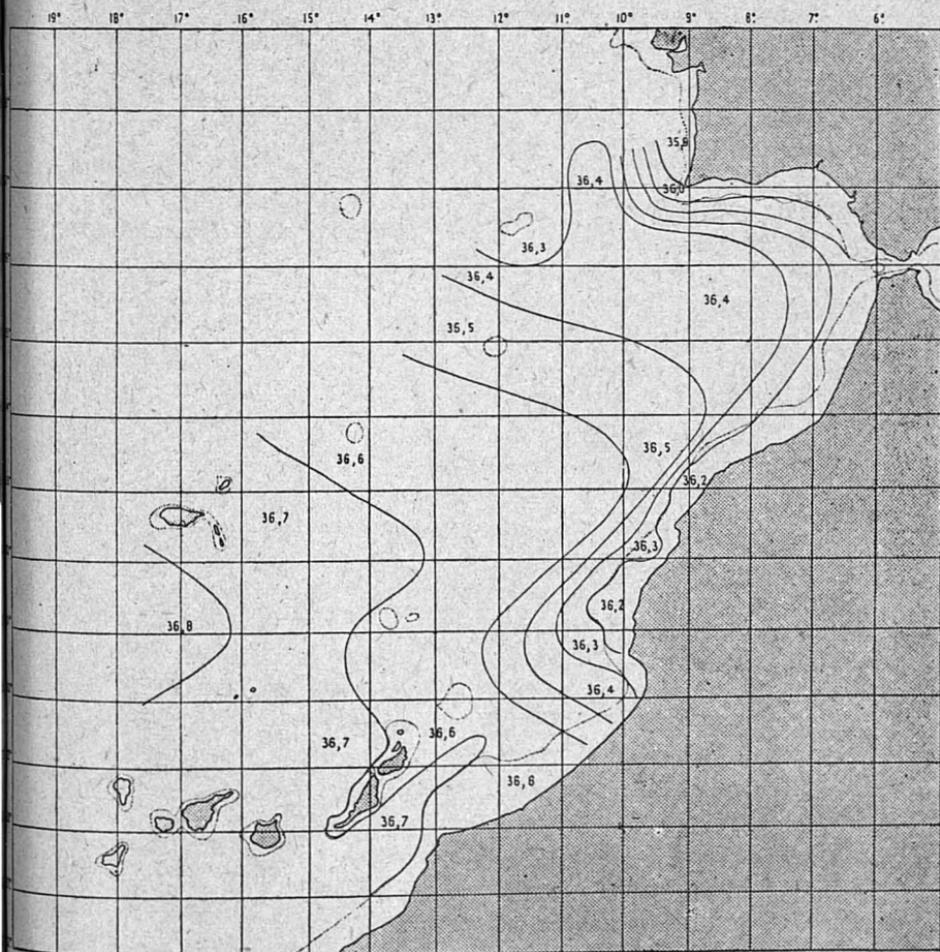


Fig 33. — Mouvement transgressif au large du Maroc.

tance ne tarde pas non plus à être absorbé. Il faut toutefois noter qu'en profondeur, à partir de 250 mètres, on retrouve une persistance d'eaux moins salées et moins chaudes autour des Canaries et des Salvages, pendant toute l'année.

Les eaux continentales de la région de Mogador se trouvent pressées, au Nord et au Sud, par ces deux axes transgressifs. Ce double mouvement force ces eaux à partir vers le large et elles se dirigent vers le Sud-Ouest, donnant naissance au courant froid des Canaries : on sait que ce courant est à l'origine de la formation du courant Nord-équatorial.

Le lobe transgressif qui chemine vers la baie d'Espagne va jouer un rôle décisif dans les rapports entre la Méditerranée et l'Océan Atlantique. Le seuil de Gibraltar est formé de cuvettes séparées les unes des autres par des crêtes sensiblement orientées du Nord au Sud, à savoir, d'Est en Ouest : la crête Cabezos-al-Boassa, la crête du Cap Spartel, et la crête de Trafalgar. Ces crêtes jouent le rôle d'écluses successives, réglant la pénétration des eaux de la Méditerranée vers l'Atlantique et réciproquement. On sait, en effet, depuis fort longtemps, qu'un courant Atlantique pénètre en Méditerranée en longeant la côte d'Afrique dans la direction du cap des Trois-Fourches et que, d'autre part, un courant méditerranéen se dirige vers l'Atlantique en longeant la côte ibérique vers Cadix. Par suite de la haute salinité des eaux méditerranéennes, supérieures à 37 0/00, le courant de sortie a le caractère d'un courant de profondeur ; la salinité moindre des eaux atlantiques maintient ces dernières en surface.

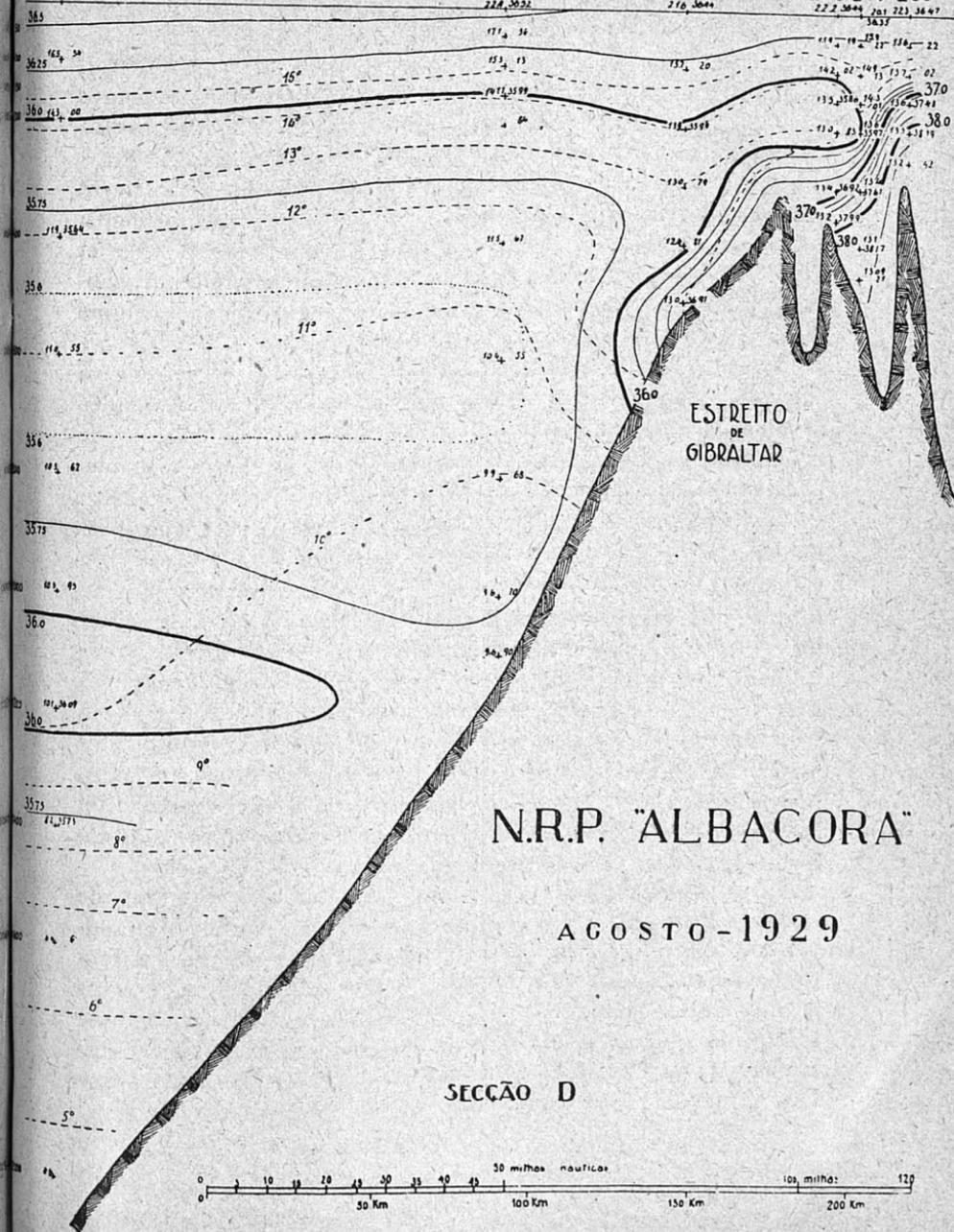
On a énormément discuté sur la valeur du courant de sortie méditerranéen ; certains océanographes comme Helland-Hansen, font sortir de cette mer toutes les eaux de l'Atlantique d'une salinité supérieure à 37 0/00, y compris sans doute, celles de l'Atlantique Sud. D'autres savants, comme Rafaël de Buen, ont nié tout déversement de la Méditerranée en Atlantique. Nielsen, hydrologiste du *Thor*, a constaté que

6° W/G
258
224, 36, 60

7° W/G
264
228, 30, 32

275
276, 30, 44

6° W/G
279 277 283
272, 36, 44 201 223, 36, 47
383, 37



la quantité d'eau évaporée par la chaleur solaire en Méditerranée dépasse l'apport des eaux douces dû aux fleuves tributaires. Comme le niveau de la Méditerranée reste sensiblement constant, il en résulte que la pénétration d'eaux atlantiques, sous forme de courants superficiels, est de beaucoup supérieure à la sortie des eaux méditerranéennes comme courant profond. Il est certain, ainsi que l'ont montré Schott et Ramalho, qu'il y a déversement d'eaux méditerranéennes dans l'Atlantique, mais ce phénomène est loin d'avoir l'envergure qu'on lui a prêtée. Nous avons, du reste, déjà expliqué qu'il fallait chercher l'origine des eaux équatoriales de haute salure de l'Océan dans une survivance de la Tethys géologique.

Le rôle des transgressions en cette affaire est de régler le déversement méditerranéen. En effet, en période hivernale, — il s'agit ici de l'hiver océanique et non de l'hiver continental, — les eaux transgressives se trouvent très au large, du seuil de Gibraltar, et les eaux méditerranéennes remplissent les cuvettes de ce seuil, en débordent, et s'enfoncent librement vers la côte ibérique ; mais quand commence l'été océanique, les eaux qui suivent l'axe transgressif de Madère pénètrent en baie d'Espagne, s'engagent dans le détroit et, s'appuyant sur les crêtes successives, empêchent tout déversement de la Méditerranée vers l'Océan. Les eaux transgressives jouent donc le rôle d'une vanne de régulation pour la pénétration des eaux méditerranéennes en Atlantique.

*
*
*

Le Régime Méditerranéen. — Bien que le rôle des transgressions en Méditerranée se borne à la formation du courant d'entrée atlantique, il est intéressant de rappeler brièvement le régime hydrologique de cette mer. Il est considéré, par tous les océanographes, comme un paradoxe scientifique ; en effet, il échappe à la loi fondamentale qui fait décroître la tempéra-

ture de la surface vers le fond. Il existe bien quelques variations dans les couches superficielles, mais à partir de 1.000 mètres les eaux présentent, en profondeur, une température uniforme de $+13^{\circ}$. Dans les grandes fosses il y a isothermie à $+13^{\circ},7$. La salinité de la Méditerranée est presque partout supérieure à 37 0/00 ; en profondeur, on trouve constamment 38,7 0/00 ; en surface, dans le bassin oriental, se rencontrent les salinités les plus hautes du globe, dépassant 39,5 0/00.

À côté de ce régime d'exception, nous trouvons une mer tributaire de la Méditerranée qui obéit aux règles habituelles de la thermométrie des mers, c'est la Mer Noire. En profondeur, la température descend graduellement vers $+8^{\circ}$ et même $+7^{\circ}$ dans la cuvette centrale ; c'est une mer de faible salinité avec une moyenne de 23 0/00 et, à l'embouchure des grands fleuves, cette salure tombe aux environs de 10 0/00.

Si l'on admet avec nous que la mer est un parfait milieu de survivance géologique, le paradoxe des conditions physico-chimiques de la mer Méditerranée reçoit une explication facile ; il suffit de se rappeler que cette mer, à caractère océanique, est un fragment caractérisé de l'ancienne Tethys. La Méditerranée a gardé dans sa salure et dans sa température les caractères anciens de la ceinture thalassique à laquelle elle doit son origine.

Et cette même explication est aussi valable pour la Mer Noire. Nous avons, en effet, démontré que cette dernière était séparée, aux époques géologiques, par les continents de l'Égée et de l'Angara et se rattachait au système boréal de la dépression Aralo-Pontique ; aussi le Pont-Euxin a-t-il gardé les caractères des océans polaires, dans ses températures et ses salinités.

Les eaux de la Méditerranée présentent une très faible proportion de phosphates et de nitrates ; le plankton y est peu abondant, et peut-être retrouve-t-on, là encore, les indices qui

révèlent une mer biologiquement épuisée. Au contraire, le plankton de la Mer Noire est des plus riches dans les couches superficielles et, comme l'a montré G. Antipa, il sert de réserve nourricière à de nombreux poissons qui passent spécialement les détroits pour venir s'y alimenter. Les couches profondes de la Mer Noire sont pratiquement dépourvues de vie animale, car, à partir de 300 mètres, elles contiennent une énorme proportion d'hydrogène sulfuré. Cette dernière question ne modifie pas les conditions générales de l'hydrologie pontique ; elle peut avoir un haut intérêt pour les savants qui se consacrent à l'étude des origines des gisements pétrolifères.

C. — *Golfe de Gascogne.*

Dans les régions de l'Atlantique que nous venons d'étudier, nous avons essayé de montrer le développement du phénomène des transgressions dans la partie où il intéresse les eaux équatoriales proprement dites et ayant une salure supérieure à 36 0/00. Dans les zones situées plus au Nord, ces eaux perdent leur action, mais le mouvement transgressif se continue, en prenant comme support les eaux atlantiques d'une salure supérieure à 35 0/00. Ce sont celles-ci qui, dans l'Atlantique Oriental, s'avancent jusqu'à la mer polaire, entraînant au large des côtes d'Europe des réserves caloriques suffisantes pour adoucir et tempérer le climat de l'ancien continent. Ce mouvement vers le Nord est grandement facilité, nous l'avons dit, par la force de la rotation de la terre, qui entraîne vers l'Ouest la banquise et les eaux glaciaires ; aussi les eaux atlantiques peuvent-elles cheminer librement, sans rencontrer une résistance comparable à celle que nous avons décrite dans l'Atlantique Occidental.

Les eaux atlantiques occupent, dans leur déplacement, une large vallée constituée par les eaux d'origine polaire, abyssales

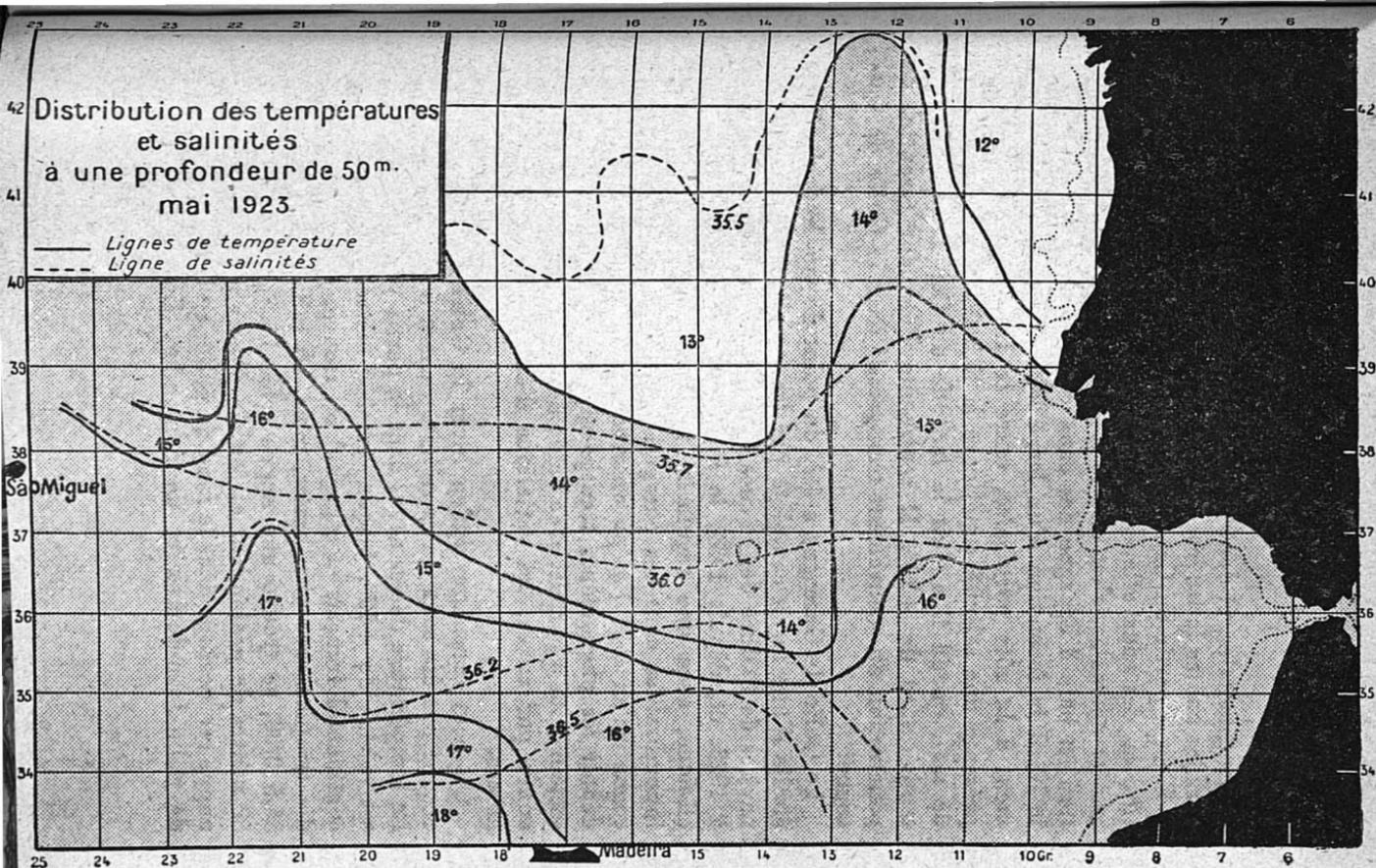


Fig. 35. — Le lobe transgressif au large de la péninsule ibérique.

et continentales, et dont la profondeur diminue graduellement vers les hautes latitudes.

C'est à partir du Cap Saint-Vincent que se produit la substitution des eaux atlantiques aux eaux équatoriales. Dans les années normales, c'est vers le mois de janvier que la pénétration en baie d'Espagne des eaux équatoriales détermine vers le Nord la formation d'un large lobe qui remonte parallèlement à la côte portugaise, entre le 11° et le 15° W.G. Il présente une salinité supérieure à 35,5 0/00 et, vers le mois de mai, quand il atteint la latitude du Cap Finisterre, une température de +14°. Il représente l'élément essentiel de pénétration du mouvement transgressif dans le Golfe de Gascogne.

Le Golfe de Gascogne a été, du point de vue hydrologique, étudié d'une façon complète par les croisières successives des navires de l'Office des Pêches Maritimes. La *Tanche*, de 1921 à 1928, et, depuis 1933, le *Président Théodore Tissier*, ont effectué, avec une régularité méthodique, des observations innombrables dans ces parages. C'est dans le Golfe de Gascogne qu'en 1921 j'ai pu observer, pour la première fois, et définir les phénomènes transgressifs et la connaissance de ce secteur nous a permis, avec l'aide de G. Belloc, de déterminer, année par année, les variations d'amplitude de ces phénomènes.

On peut considérer qu'en hiver le Golfe de Gascogne est occupé par des eaux d'une salinité variant de 35,4 à 35,5 0/00. La température de ces eaux, dans la partie profonde du golfe, est voisine de +12°, jusque vers 200 mètres ; sur le plateau continental français et espagnol on trouve, dans cette saison, des températures plus basses, mais, au milieu de ces eaux à 35,5 0/00, se trouve une nappe salée bien caractérisée, vers 50 mètres de profondeur et formée d'eaux à 35,6 0/00 ; cette nappe est localisée dans le fond du golfe, au large d'Arcachon, de Saint-Jean-de-Luz et de Santander. Elle représente un

reste de la transgression de l'année précédente, et sa permanence a une haute importance sur les conditions de la pêche dans la région.

Vers le mois de mai, le lobe transgressif à 35,6 0/00 vient longer la côte occidentale ibérique, continue à remonter vers le Nord, mais, vers le 44° N., il émet vers l'Est un rameau qui

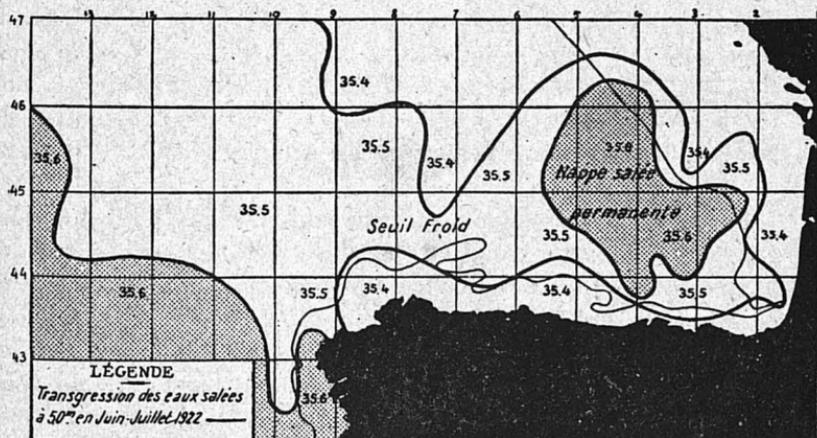


Fig. 36. — Nappe salée permanente du golfe de Gascogne.

contourne le Cap Finisterre et pénètre dans le Golfe de Gascogne, en suivant la ligne de grande profondeur qui borde le plateau continental espagnol, et en direction de la fosse de Cap Breton. Ce rameau est formé d'eaux à 35,6 0/00 et de +13° à +14°. Arrivé au fond du golfe, il rencontre la nappe d'eau salée permanente et se mélange avec elle. Vers le début de juin, il se constitue une vaste poche d'eaux transgressives dans le fond du golfe, et ces eaux se glissent vers le Nord en suivant le bord du plateau continental jusque vers la latitude de La Rochelle. Cette partie de la masse transgressive est séparée des eaux du large, de même nature, par un véritable

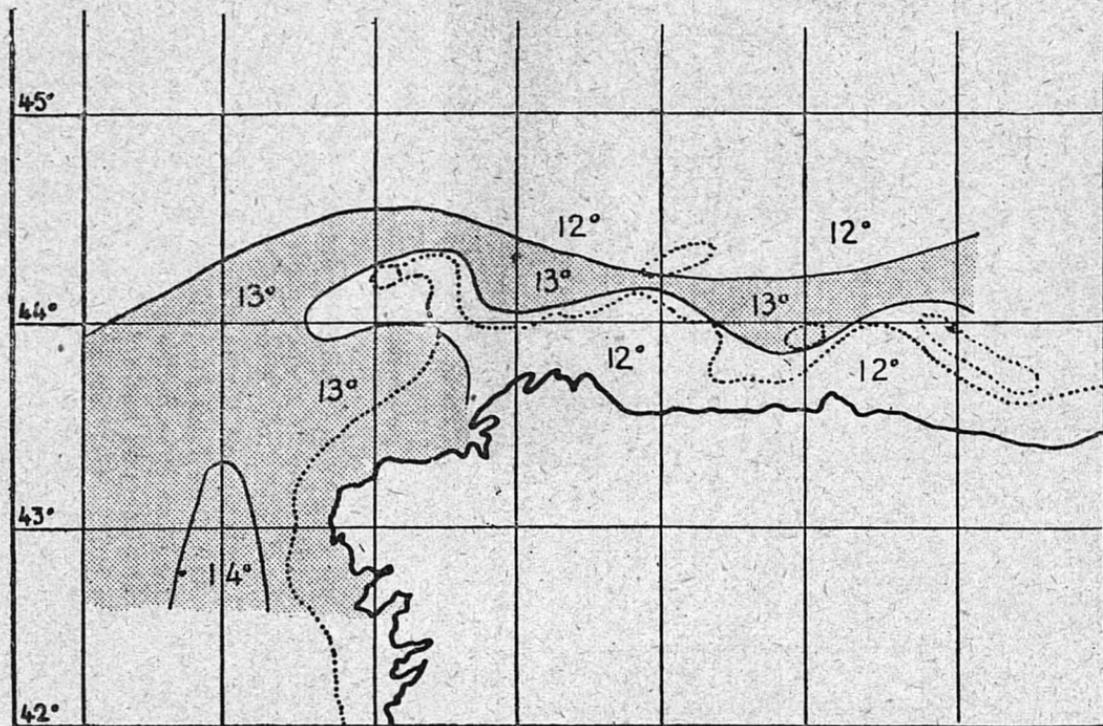


Fig. 37. — Entrée de la transgression dans le golfe de Gascogne.

seuil d'eaux continentales, froides et peu salées, et qui s'étend entre le 6° et le 7° W.G. Une des bornes de ce seuil est due aux eaux du plateau continental espagnol, l'autre partie comprend la masse des eaux continentales qui débordent du vaste plateau de la mer Celtique. Au mois de juillet et au mois

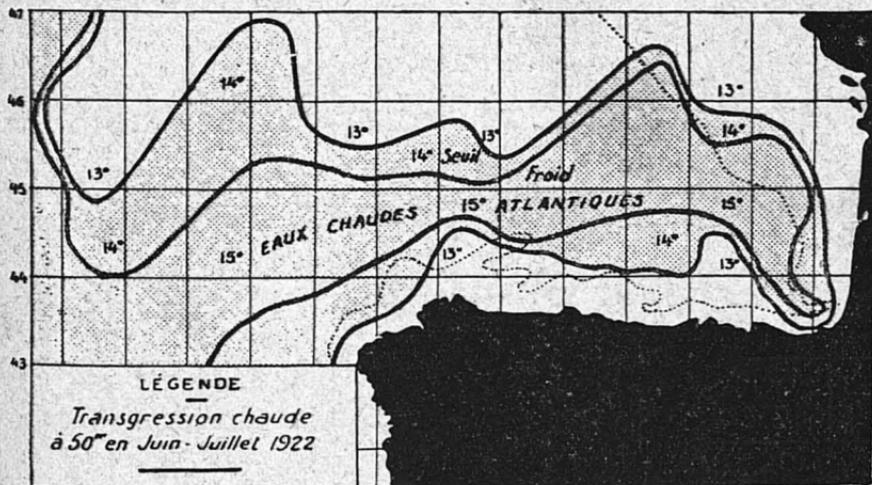
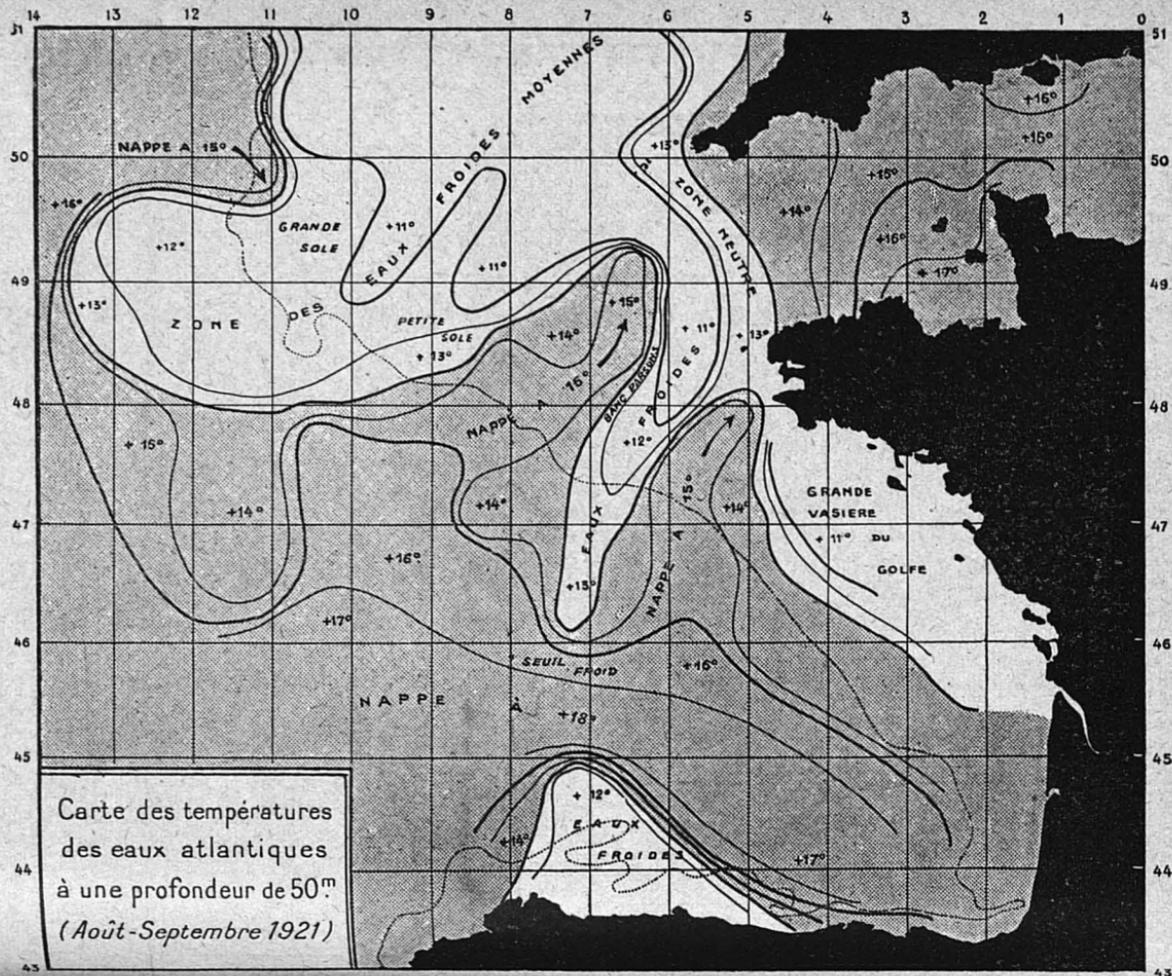
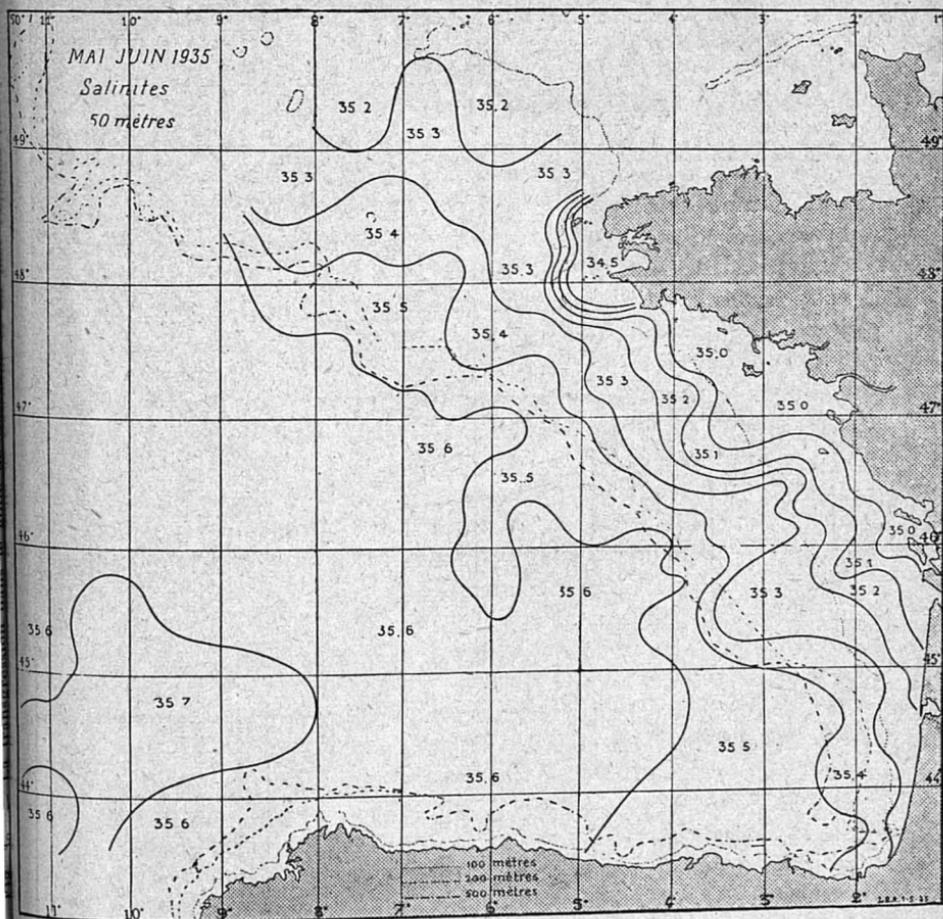


Fig. 38. — Développement de la transgression dans le golfe de Gascogne.

d'août le seuil froid persiste encore, bien que son ouverture soit plus large et s'étende entre le 45° et le 46° N., mais il a été considérablement aminci par deux lobes transgressifs, l'un du côté de l'Est, émanant de la poche du fond du Golfe de Gascogne, l'autre vers l'Ouest, émis par les eaux transgressives du large et empiétant fortement sur le plateau continental, vers le 48° N. Ce n'est que vers le mois de septembre ou d'octobre que ces deux lobes transgressifs finiront par avoir raison du seuil froid et s'uniront pour pénétrer dans la direction de la Manche. Le Golfe de Gascogne garde son caractère estival extrêmement tard dans l'année, et la régres-





sion totale n'est guère réalisée que vers le mois de janvier, avec isolement de la nappe salée permanente.

D. — Plateau franco-britannique.

Le plateau franco-britannique constitue un vaste ensemble continental recouvert, pendant la période de stabilisation hivernale, d'eaux froides peu salées, aussi le mouvement transgressif trouve-t-il dans son avance une forte résistance des eaux continentales pour envahir ce plateau, et il n'y parvient jamais complètement.

Les observations pratiquées dans cette région, particulièrement en Mer du Nord, sont innombrables, car les différents secteurs du plateau continental franco-britannique ont une importance considérable pour la pêche. Les recherches françaises ont surtout été effectuées en mer Celtique et dans la partie méridionale de la Mer du Nord. Une notable contribution à ces études est due à mon collaborateur J. le Gall, de l'Office des Pêches Maritimes.

Le plateau continental de la mer Celtique est, en hiver, le domaine d'eaux ayant une température de $+8^{\circ}$ à $+10^{\circ}$, et l'ensemble des salinités varie de 34,75 0/00 à 35,4 0/00. Au bord du plateau, les eaux à 35,5 0/00 persistent en profondeur et elles utilisent les ravins profonds qui découpent le plateau pour remonter, sous forme de transgression salée profonde, dès le premier printemps. C'est dans cette région que nous avons pu mettre en évidence les variations des axes transgressifs aux divers mois de l'année (Fig. 24).

Dès février, les eaux atlantiques manifestent leur présence en suivant un axe transgressif dirigé de l'Ouest à l'Est, le long du $51^{\circ},10$ N. Cette transgression envahit Hurd Bank, en suivant la ligne de fracture du Sud de l'Irlande, jalonnée d'abrupts monoclinaux. Au mois d'avril, un autre axe trans-

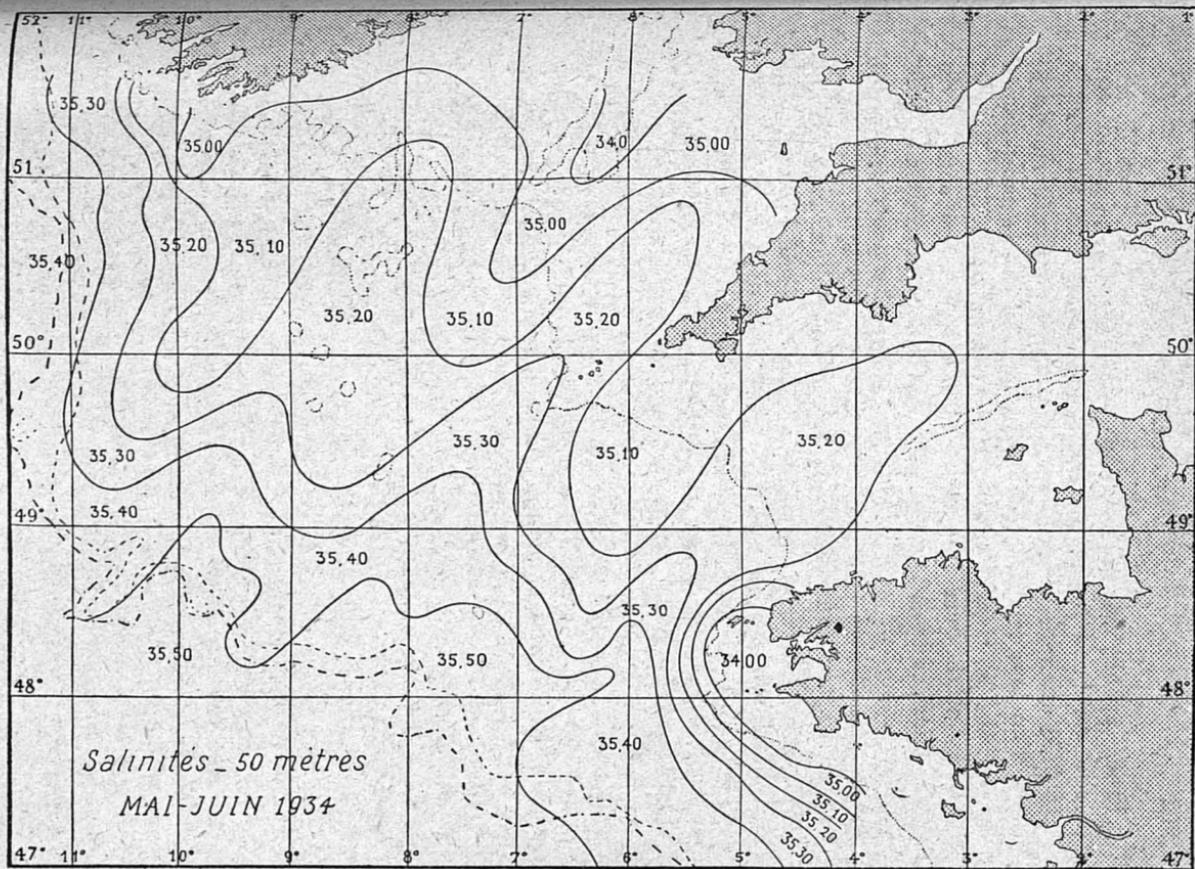


Fig. 41. — Transgression en mer Celtique (1934).

gressif, ayant une orientation Nord 60° Est, prend son origine au bord de la pente, vers 50°20 N., et les eaux à 35,5 0/00 utilisent la ligne de profondeur d'un petit ria de la ligne d'anciens rivages. En mai, plus au Sud, le mouvement transgressif s'oriente suivant la direction Nord 50° Est, et les eaux atlantiques remontent le grand estuaire sous-marin de la Severn, désigné par les pêcheurs sous le nom de « Souille de la Grande Sole ». Dès cette époque, le bord occidental du plateau de la mer Celtique est submergé par les eaux Atlantiques. En juin, le bord méridional est attaqué aux environs du banc de la Petite Sole par un axe transgressif orienté Nord 40° Est. Cet axe se modifie graduellement jusque vers le mois d'août, redresse son orientation suivant le Nord 30° Est et porte son effet principal sur le banc de la Chapelle. C'est ce lobe transgressif qui arrive à amenuiser progressivement la masse d'eaux continentales qui sert de borne septentrionale au seuil froid du Golfe de Gascogne. En septembre, nous l'avons dit, il s'unit à un autre lobe transgressif, émis par la poche des eaux du Golfe de Gascogne, et la direction de l'axe commun à ces deux lobes devient sensiblement Sud-Nord ; les eaux de la transgression empruntent alors l'estuaire géologique de la Seine, pour pénétrer en Manche Occidentale.

Au début de l'année, les eaux continentales, pressées du côté de l'Ouest, se déversent vers le Sud, de la mer d'Irlande vers les Sorlingues, et c'est ce déversement même, dans la région du Banc Parson, qui provoque la formation du seuil froid du Golfe de Gascogne. J'ai appelé : « zone neutre des îles Sorlingues » cette barrière que le déversement des eaux continentales oppose, pendant plusieurs mois, à toute pénétration de la transgression en Manche.

L'avance des eaux atlantiques, vers la mer d'Irlande, s'opère dans le ria de la Grande Sole, en direction du Banc Labadie. Après avoir submergé ce banc, les eaux transgressives atteignent la fosse des Small's, qui représente une partie du

fossé tectonique de la mer d'Irlande. Mais ce fossé, à la latitude du Comté de Carnavon, est rompu par un seuil qui va du pays de Galles à l'Irlande ; ce seuil arrête net l'élan des eaux transgressives qui ne parviennent jamais à le franchir ; aussi la mer d'Irlande reste-t-elle toujours occupée par des eaux continentales de salinité inférieure à 34,5 0/00. Le régime thermique de la mer d'Irlande est extrêmement variable suivant les saisons, par suite de son peu de profondeur et de la faible salure de ses eaux ; celles-ci se refroidissent et se réchauffent *in situ* avec une très grande facilité.

Les couches profondes de la Manche présentent, pendant presque toute l'année, une salinité constante de 35 0/00, dans le milieu de cette mer et cette nappe d'eau franchit le détroit du Pas-de-Calais pour former un petit diverticule dans le Sud de la Mer du Nord, sur les Bancs de Flandre, mais, par contre, les côtes de Grande-Bretagne et de France restent constamment occupées par des eaux de caractère continental, inférieures à 35 0/00 en salinité. Lorsque vers octobre, le seuil froid du Golfe de Gascogne et la zone neutre des Sorlingues sont rompus par l'avance des eaux transgressives, ces dernières n'envahissent la Manche que dans une faible proportion, mais leur action provoque un réchauffement *in situ* de toute cette mer et détermine, par contre-coup, une avance plus marquée en période hivernale des eaux à 35 0/00, en direction de la Mer du Nord.

Vers le mois de décembre, la stabilisation hivernale se fait sentir à partir de la mer d'Irlande et gagne graduellement tout le plateau continental de la mer Celtique. Les eaux transgressives sont refoulées vers les profondeurs, au delà du bord du plateau continental. Il reste, bien entendu, dans la description de ces phénomènes, que les périodes de l'année auxquelles nous les fixons, s'entendent pour des années moyennes, lorsque le maximum transgressif se place dans le Golfe de Gascogne aux environs du mois d'août. Dans les

années où, par contre, ce maximum se rencontre en février, comme cela s'est produit, par exemple, en 1903 ou en 1926, les phénomènes que nous avons décrits ne se placent pas aux mêmes mois de ces années ; sous réserve de ces variations d'époque, les caractères du mouvement transgressif restent identiques dans leur forme générale.

*
**

Dans la région marine située au Nord de l'Irlande, le plateau continental descend brusquement vers les grands fonds du chenal de Rockall. Vers le mois de juin, la transgression a tendance à envahir les hauts fonds du Sud des Hébrides. Ce mouvement correspond à une avance d'eaux à 35,2 et 35,3 0/00, ayant une température moyenne de $+11^{\circ}$ à $+13^{\circ}$, mais il est rapidement arrêté par des eaux continentales variant de 34,4 à 34,9 0/0, solidement appuyées sur un seuil sous-marin qui unit l'île de Mull à Antrim et qui est certainement la marque d'une barrière volcanique réemment effondrée.

La transgression remonte ensuite vers le Nord-Est et contourne le Nord de l'Écosse. Elle franchit la crête Wyville-Thomson pour pénétrer en Mer du Nord. Alors que jusqu'au 60° de latitude Nord, les eaux transgressives ont toujours suivi, comme direction générale, les lignes de grandes profondeurs, on assiste à cette latitude, à un changement complet dans la position de ces eaux ; cette brusque variation est due à la rencontre, en profondeur, des eaux du front polaire.

En effet, la mer de Norvège comporte, dans son relief sous-marin, deux grandes baies profondes qui limitent, à l'Ouest et à l'Est, la large péninsule qui termine au Nord le plateau franco-britannique et supporte l'archipel des Shetlands et le banc Viking. La baie de l'Ouest, extrêmement étroite, s'insinue entre le socle des Feroë et l'Écosse ; on la désigne sous le nom de : Chenal des Feroë. Sa profondeur dépasse

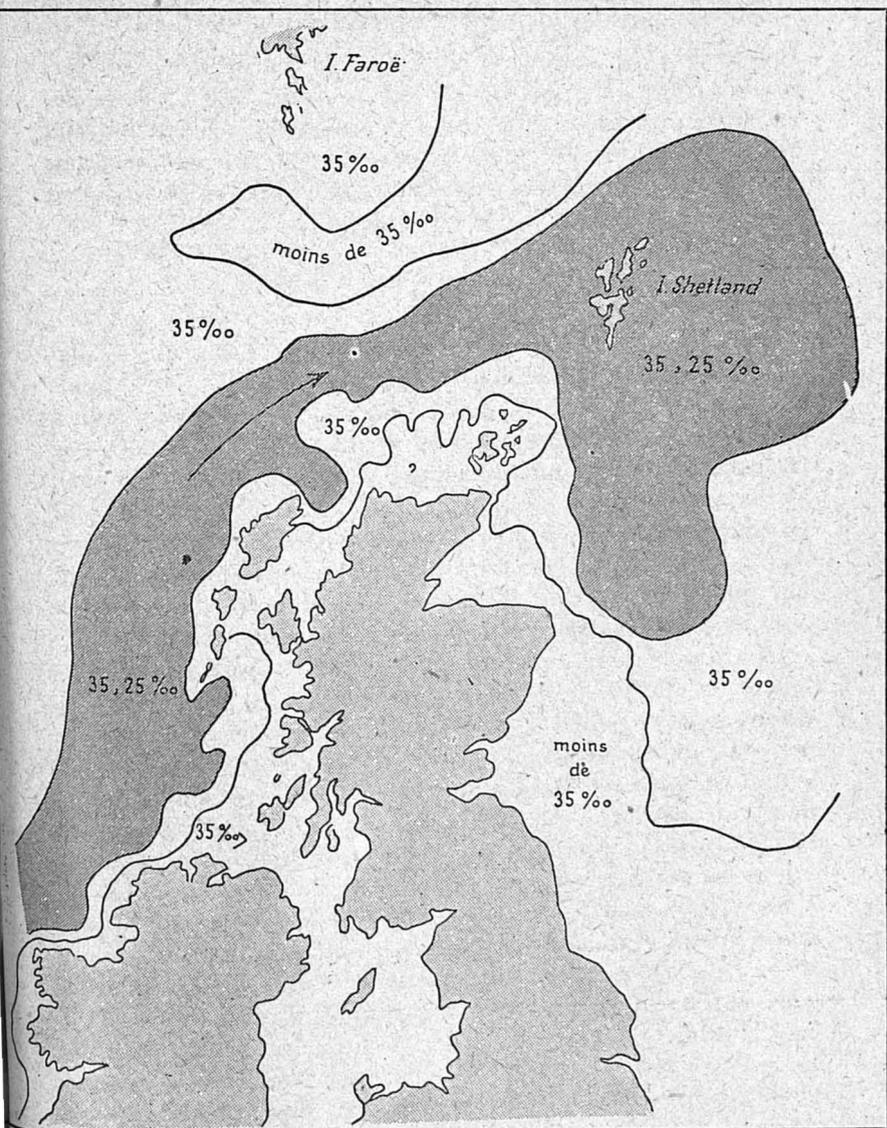


Fig. 42. — Mouvement transgressif au nord de l'Écosse

1.000 mètres. Dans le chenal des Feroë se trouvent, en toutes saisons, des eaux d'une température inférieure à $-0^{\circ},7$ et

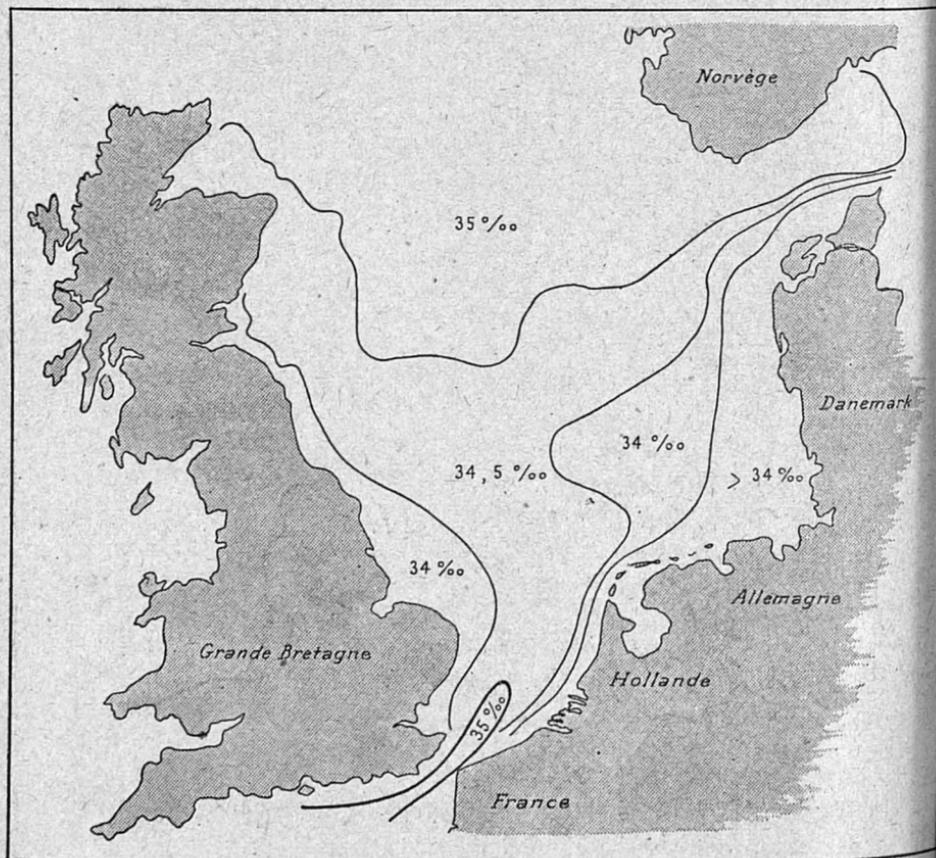


Fig. 43. — Transgression en Mer du Nord. Type normal.

même à -1° , avec la salinité caractéristique des eaux profondes d'origine arctique, à savoir 34,9 0/00.

La baie de l'Est, beaucoup moins profonde, longe la côte norvégienne et n'est autre que l'ancien chenal glaciaire du

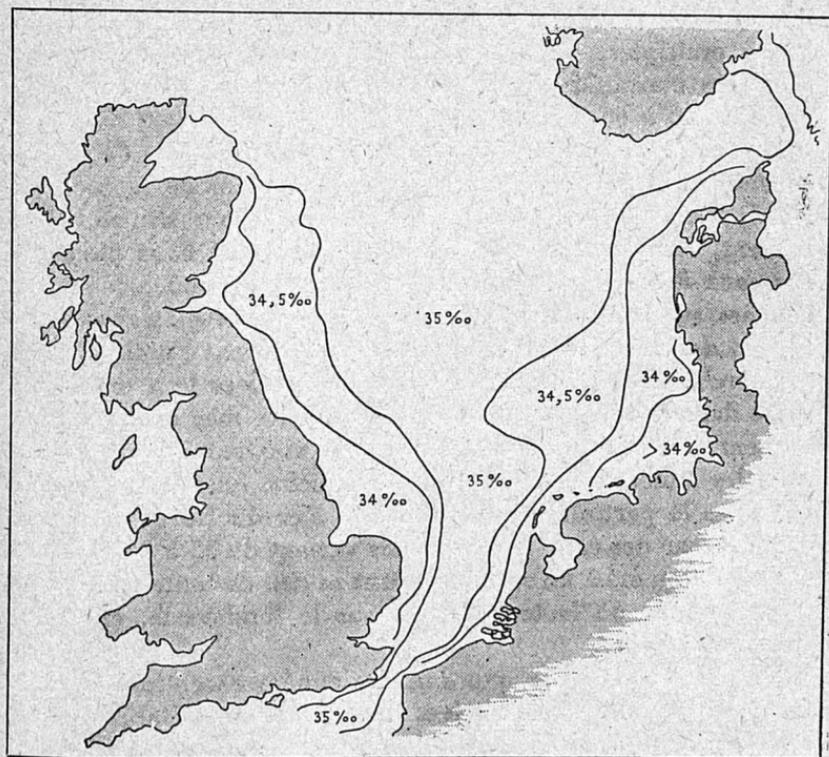


Fig. 44. — Transgression en Mer du Nord. Forte transgression.

Skager-rak. Ce chenal ne participe pas à l'extension profonde des eaux polaires.

D'autre part, le plateau continental de la Mer du Nord comprend deux parties bien distinctes : une région septentrionale, d'une profondeur variant de 80 à 200 mètres, et comprenant notamment tout le cours inférieur du Rhin géolo-

gique, avec son estuaire au fond des Fladen, et le plateau du Great Fisher Bank ; une région méridionale, très peu profonde, unissant les côtes d'Angleterre, de Belgique, de Hollande, d'Allemagne et de Danemark, par un vaste système de bancs multiples, en général sableux, et dont certains sont d'origine morainique ; la profondeur moyenne de cette zone varie de 20 à 60 mètres.

Les eaux atlantiques occupent en profondeur, de façon constante, la partie septentrionale du plateau de la mer du Nord, ainsi que le chenal du Skagerrak ; par contre, elles laissent, dans le chenal des Feroë, la place aux eaux polaires. Les eaux à 35 0/00 dominant, pendant toute l'année, dans les couches superficielles qui recouvrent les eaux glaciaires profondes du chenal des Feroë, et elles entourent l'archipel des Shetlands. Elles pénètrent en mer du Nord et leur extension varie dans la région septentrionale de cette mer avec, le plus souvent, un minimum en août et un maximum vers février dans les années normales. Habituellement, elles ne pénètrent pas dans la partie méridionale de la Mer du Nord, qui reste occupée par des eaux continentales variant de 32 à 34,75 0/00. On assiste en été à un réchauffement *in situ* de toute cette zone peu profonde où la température sur le fond varie, en août, de +14° à +17°.

Mais il faut signaler que dans les années exceptionnelles, à forte amplitude transgressive, une jonction s'établit entre les eaux à 35 0/00 de la partie septentrionale de la Mer du Nord et celles du diverticule de même salure de la Manche orientale ; cette liaison s'opère à l'Ouest du Døgger Bank, en suivant la côte anglaise ; elle n'est guère effective qu'au mois de février, et de très courte durée. Ce phénomène a marqué les hivers 1903, 1907 et 1922.

En résumé, le plateau continental franco-britannique est occupé par les transgressions, principalement en mer Celtique et dans la partie septentrionale de la Mer du Nord ; par

contre, la totalité de la mer d'Irlande, la partie méridionale de la Mer du Nord et presque toute la Manche gardent, en toutes saisons, un caractère continental.

E. Front polaire européen (mers de Norvège et de Barentz).

Du côté de l'Europe, le front polaire est limité assez exactement par la crête Wyville-Thomson ; dans les années de faibles transgressions, cette limite n'est pas dépassée par les eaux atlantiques à 35 0/00 ; mais dans les années moyennes ces eaux émettent vers le Nord un large lobe transgressif ; dans les années de fortes transgressions, ce lobe peut atteindre de très hautes latitudes.

On sent, dans cette région, que la transgression est arrivée presque à bout de course, et son importance suit étroitement sa courbe de périodicité. De plus, son extension doit tenir compte d'un facteur tout-puissant, l'intensité de la dérive glaciaire. Transgression et dérive glaciaire sont inversement proportionnelles ; quand la grande dérive des icebergs emplit l'Océan boréal, la transgression est arrêtée net ; quand, au contraire, l'apport glaciaire est faible, elle se développe de façon exceptionnelle. Ce sont là deux aspects d'un même phénomène cosmique, et il est difficile de dire s'ils sont simplement concomitants et de sens inverse, ou si l'un d'eux régit l'autre. Il est très certain que lorsque les fougères arborescentes poussaient au Spitzberg, la transgression avait raison du climat polaire, mais peut-être celui-ci était-il fort différent, par le fait que le vieux pont boréal barrait la route au déversement de la banquise.

La latitude du Nord de l'Écosse marque l'arrêt des eaux à 35,5 0/00 ; le socle des Feroë est la limite des eaux à 35,25 0/00 ; aussi le lobe transgressif qui remonte en suivant la côte de Norvège ne comprend-il, même dans les meilleures

années, que des eaux à 35 0/00. La limite occidentale de ce lobe correspond naturellement à la limite orientale des eaux de la dérive polaire : c'est la ligne Islande-Jan Mayen-Spitzberg.

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 ; le point culminant de leur influence se place alors en mai, c'est-à-dire environ neuf mois après le maximum vrai pour nos latitudes. Aussi, quand les maxima se placent en novembre ou en février, le phénomène se trouve hâté et il y a renforcement du mouvement, même si son amplitude périodique est moins forte que celle d'un maximum placé en août.

Au Nord de la Norvège, dans les années de forte transgression, un rameau à 35 0/00 pénètre en mer de Barentz ; il a été étudié en 1927 par Bruno Schulz, et en 1932 par le commandant Beaugé, de l'Office des Pêches Maritimes. Ce rameau suit les profondeurs de la mer de Barentz au Sud de l'île de l'Ours et s'avance jusqu'au 30° E.G.

Les récents travaux des océanographes russes et, en particulier, ceux de Wiese, permettent de supposer que le mouvement transgressif se ferait sentir jusqu'à la Nouvelle-Zemble, mais il s'agit peut-être d'un simple réchauffement *in situ* des eaux polaires peu profondes, à l'approche de la transgression.

F. — *Front polaire américain* (*Bancs de Terre-Neuve et de Nouvelle-Écosse*).

On doit à la campagne de l'*Albatros*, en 1887, les premières études hydrologiques du Banc de Terre-Neuve ; à la suite des recherches de Hjort, en 1914, Sandström publia une excellente étude sur la classification des eaux de cette région ; de

plus, chaque année, des investigations pratiques par l'Ice Patrol Service, ajoutent une nouvelle documentation à nos connaissances de l'hydrologie des Bancs. C'est en 1922 que furent effectuées les premières études françaises ; à la demande des armateurs de grande pêche, je me livrai, en effet, à une première enquête à bord de l'avis *Cassiopée* ; je poursuivis en 1923 mes observations à bord du navire *Ville d'Ys* et, dès cette époque, je pus indiquer les grandes lignes des fluctuations du climat hydrologique de la zone des Bancs et leur influence sur la pêche de la morue. Rallier du Baty, puis le commandant Beaugé, assurèrent un service régulier de mission sur les Bancs, de 1925 à 1932, et, de plus, la Marine Nationale, depuis mon passage à bord de l'avis *Ville d'Ys*, a bien voulu prêter, chaque année, le concours des officiers de ce navire, qui collaborent ainsi directement aux travaux de l'Office des Pêches Maritimes. Mais la série d'observations la plus complète qui ait été réalisée dans cette zone est due à la croisière du navire *Président Théodore Tissier*, en septembre-octobre 1934. Plus de cent stations permirent de déterminer exactement la situation hydrologique des Bancs. Nous prendrons comme type des conditions océaniques de cette zone, le résultat des recherches de cette croisière.

On peut diviser les eaux de Terre-Neuve en trois groupes :

- 1° Les eaux atlantiques, d'une salinité supérieure à 35 0/00 ;
- 2° Les eaux de la pente, d'une salinité de 34 à 35 0/00 ;
- 3° Les eaux continentales et arctiques, de salure variable inférieure à 34 0/00.

Les eaux de la pente (Slope waters), pourraient être dénommées : eaux abyssales, mais leur situation près de la surface rend, à première vue, ce terme impropre, et pourtant ces eaux, caractérisées par une température de +4° et une salinité moyenne de 34,50 0/00, sont en liaison directe et intime avec les eaux des grands fonds. Le redressement presque vertical de tous les isothermes dans la formation du mur froid de Terre-

Neuve, ou Cold Wall, fait remonter du fond des eaux dont la position normale serait de à 1.500 mètres de profondeur. Elles se tiennent localisées contre l'accore du Grand Banc, d'où leur nom d'eaux de la pente. Elles consolident le Cold Wall, et vers le 43° W.G. elles tangentent la surface, établissant ainsi une zone neutre entre les eaux atlantiques et les eaux continentales et arctiques. La présence dans les couches superficielles des eaux des grandes profondeurs est un des étranges caractères de cette zone de contrastes.

On ne peut réellement différencier les eaux arctiques des eaux continentales ; on a parfois essayé de constituer un groupe spécial : les eaux propres des Bancs, avec les nappes qui recouvrent les hauts fonds de cette région, mais leur origine arctique est si nettement visible que cette classification est factice. Les eaux continentales de Terre-Neuve, par leur faible salure et leur température basse en profondeur, ont tous les caractères d'une eau polaire.

L'eau arctique représente l'élément essentiel de l'hydrologie des Bancs ; le courant du Labrador se détache, au niveau du Cap Farewell, de la côte Groënlandaise, franchit le détroit de Davis, entraînant avec lui de multiples icebergs. Vers la fin de l'année, la pénétration d'un petit lobe transgressif en direction de la mer de Baffin, retarde souvent son mouvement et détermine la fusion des dernières glaces flottantes ; mais au printemps ou en été, il ne peut arrêter la dérive glaciaire.

Le courant du Labrador vient donc buter sur la côte Nord de l'île de Terre-Neuve, et il se divise alors en deux branches ; l'une d'elles pénètre dans le détroit de Belle-Isle, l'autre s'infléchit vers l'Est et contourne l'île. Cette branche vient alors heurter la partie septentrionale du Grand Banc et elle se divise à son tour ; le rameau primitif longe la presqu'île d'Avallon et, à partir du Cap Race, oblique vers le Sud-Ouest. L'autre rameau est écarté vers l'Est par le plateau continental et, à son tour, il se divise en deux branches, d'importance

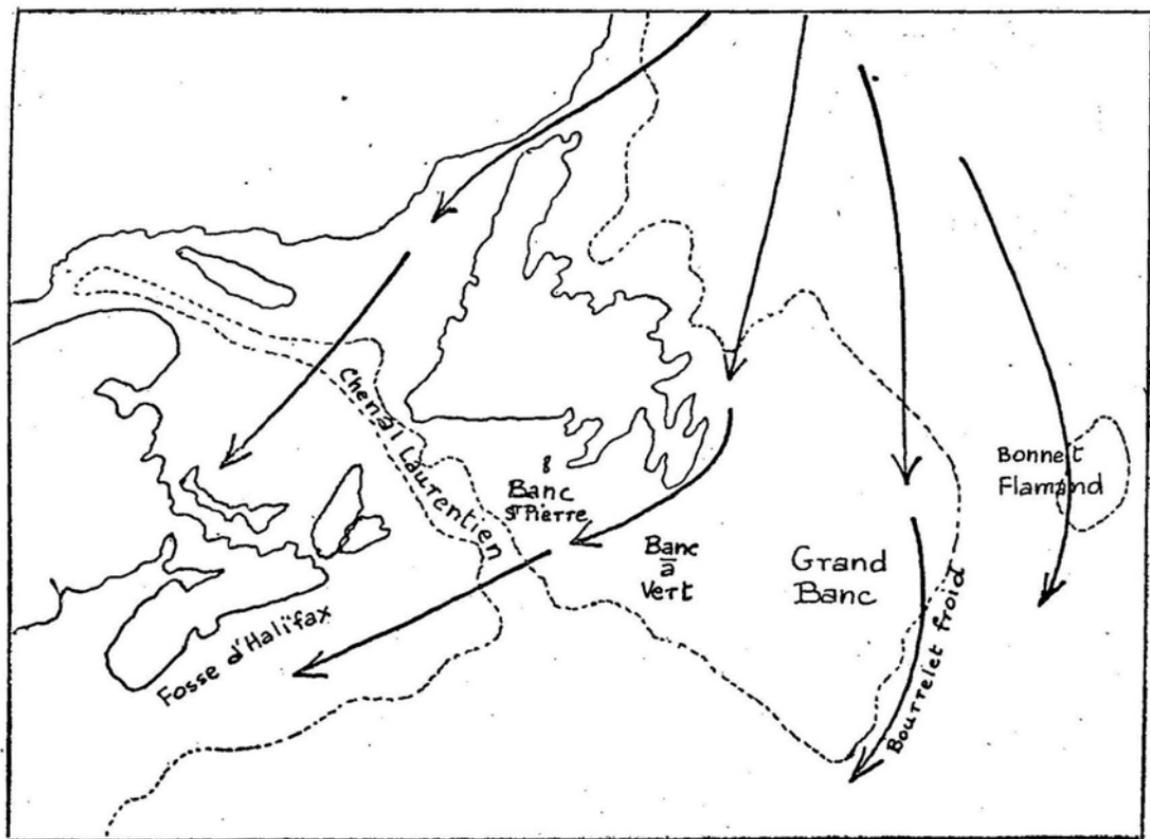


Fig. 45. — Divisions du courant du Labrador dans les eaux de Terre-Neuve.

inégal : l'une d'elles se colle contre l'accore oriental du Grand Banc et suit cet accore sur toute sa longueur, c'est le « bourrelet froid » du Banc de Terre-Neuve ; il règne sur le bord du Grand Banc, entre 50 et 150 mètres, surplombant, de la masse de ses eaux froides et lourdes, les eaux de la pente : sa température moyenne est de -1° . A partir du 45° N., il s'enfonce graduellement et disparaît vers les profondeurs, à l'extrémité Sud du Grand Banc. La dernière branche, plus orientale, prend comme support le haut fond isolé du Bonnet Flamand, mais après un trajet assez court, elle disparaît au Sud du 45° N.

Ainsi, le courant du Labrador se termine par quatre rameaux : la branche du détroit de Belle-Isle, la branche de la presqu'île d'Avallon, le bourrelet froid du Banc de Terre-Neuve, et le rameau du Bonnet Flamand. La lourdeur extrême de ces eaux polaires les rend sensibles à la force de la rotation de la Terre, et elles sont invinciblement déviées vers le Sud-Ouest. La branche du détroit de Belle-Isle, dès qu'elle pénètre dans l'estuaire du Saint-Laurent, quitte la côte occidentale de Terre-Neuve et se place en travers du grand fleuve, formant une véritable barrière d'eaux froides, jusqu'à l'île du Prince Edouard. Le résultat de ce phénomène est que les eaux du Saint-Laurent ne peuvent plus se déverser par leur sortie normale, entre Terre-Neuve et l'île de Cap Breton ; elles doivent, après Gaspé, s'infléchir vers le Sud, remplir la baie des Chaleurs et, finalement, sortir par le détroit de Canso, entre Cap Breton et la Nouvelle-Écosse.

La branche de la presqu'île d'Avallon, entraînée dans cette dérive occidentale, submerge le Banc-à-Vert, le Banc Saint-Pierre, franchit le chenal Laurentien et vient inonder le Banquereau et les Bancs de la Nouvelle-Écosse, en dedans de l'île de Sable. C'est cette branche qui alimente en eaux froides les vieilles vallées glaciaires de la baie de Plaisance et de la fosse d'Halifax.

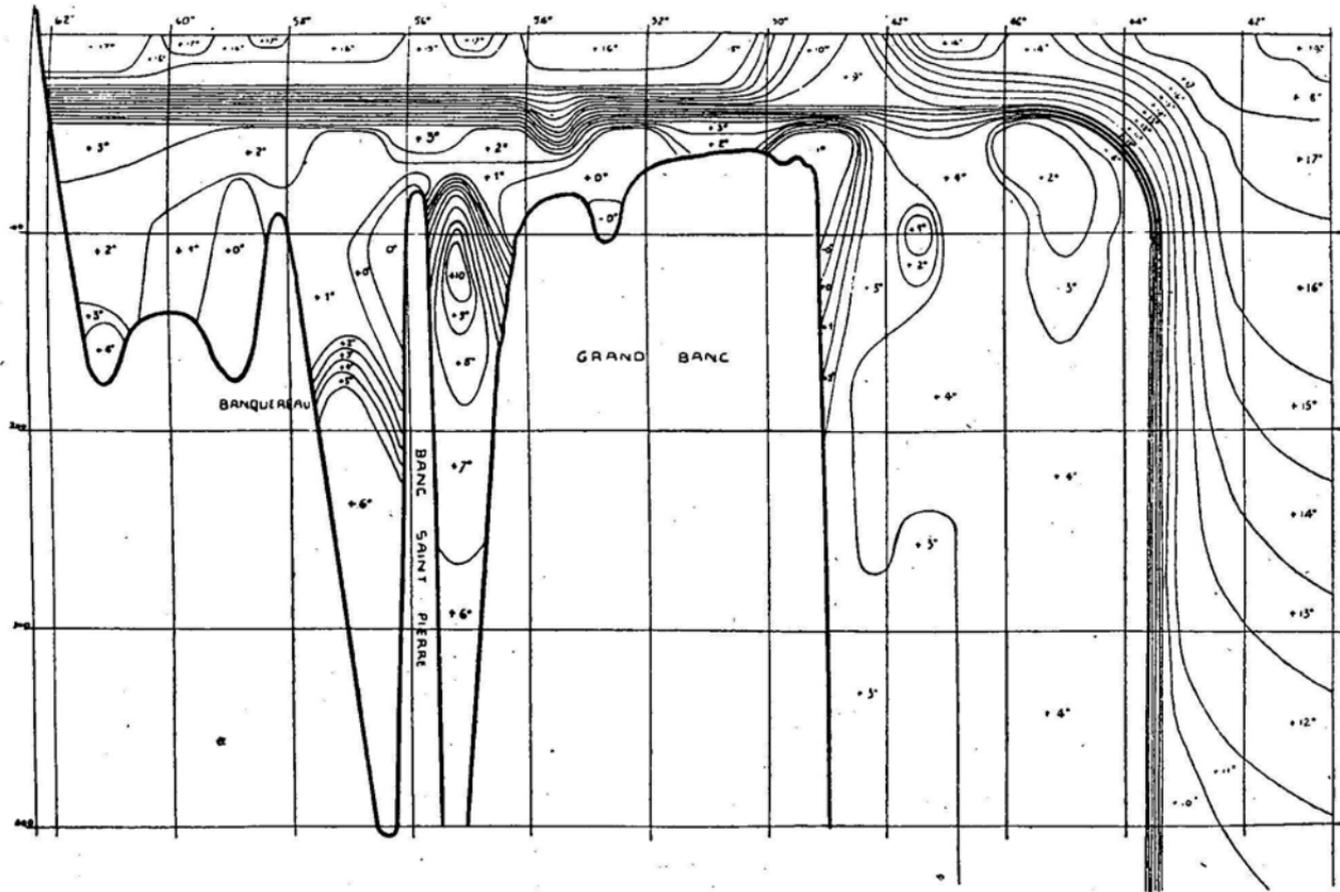


Fig. 46. — Section des Bancs de Terre-Neuve (1934)

Le bourrelet froid du Banc de Terre-Neuve aurait tendance également à gagner l'Ouest, et au Nord du 45° N. il s'étend largement sur les hauts fonds du Banc jusqu'au Trou de la Baleine, mais, plus au Sud, l'éminence du Platier arrête cette progression et le force à continuer son trajet à l'accorde du Grand Banc. Les chenaux qui séparent les divers bancs sont constamment remplis d'eaux glaciaires, avec une température moyenne de -1° et une salinité de 33 0/00.

Les eaux atlantiques bordent le Banc de Terre-Neuve, mais pratiquement n'y pénètrent pas. Du côté de l'Est le mur froid, renforcé par les eaux de la pente, constitue une barrière infranchissable ; par contre, du côté du Sud, les eaux atlantiques arrivent à se glisser dans la baie sous-marine où débouche le chenal Laurentien ; c'est surtout dans le chenal qui sépare le banc Saint-Pierre du Banc-à-Vert que se porte leur effort, et un diverticule profond, vers 100 mètres, arrive à remonter dans ce chenal jusqu'au 45° N. Ce lobe a la salinité normale de 35 0/00 et une température de $+10^{\circ}$. Sa présence amène par contact un réchauffement des eaux voisines et une nappe à $+4^{\circ}$ ou $+5^{\circ}$ s'insinue entre le Banc-à-Vert et le Banc de la Baleine, à une profondeur moyenne de 50 mètres.

Tous les phénomènes que nous venons de décrire se placent dans les eaux profondes du Banc, entre 50 mètres et les grands fonds, mais il faut noter qu'en surface ils ne sont pour ainsi dire pas apparents. En effet, de même qu'il existe à l'Est du Grand Banc une zone de contrastes due au rapprochement vertical des isothermes constituant le mur froid, de même sur les Bancs se trouve une autre zone de contrastes, mais cette fois sur un plan horizontal ; elle est exactement située à 35 mètres, de profondeur. Entre 30 et 40 mètres on trouve, sur presque toute l'étendue des Bancs, des variations de température dépassant quinze degrés. Il en résulte la présence, en profondeur, d'eaux très froides, de -1° à $+2^{\circ}$ presque en

contact direct avec les eaux de surface de $+10^{\circ}$ à $+16^{\circ}$. La salinité de ces eaux superficielles est des plus faibles et varie de 30 0/00 à 32,50 0/00. C'est ce qui explique la facilité du réchauffement *in situ* de ces couches de surface. Les isothermes s'alignent régulièrement en latitudes avec une légère exception dans la zone du bourrelet froid, et un observateur qui ne tiendrait compte que des températures des eaux de surface ne pourrait avoir aucune notion des grands phénomènes hydrologiques qui régissent les eaux profondes.

*
**

Les variations saisonnières altèrent peu l'ensemble des conditions hydrologiques. La différence la plus notable en hiver est le refroidissement des eaux de surface ; celles-ci se trouvent alors en équilibre thermique avec les eaux de profondeur, et il s'établit un régime de stabilisation hivernale, avec isothermie du fond à la surface ; cette isothermie annule toute progression d'eaux réchauffées sous l'influence des eaux atlantiques. Les variations annuelles sont en rapport avec la périodicité transgressive ; elles se traduisent par l'importance plus ou moins grande du bourrelet froid. Dans les années de faible transgression, le bourrelet reste, pendant toute la saison d'été, fort élevé, et il y a constance de la prédominance des eaux froides sur tout le Banc. Les eaux profondes des hauts fonds n'ayant aucun contact avec les eaux atlantiques, ne se réchauffent pas. Au contraire, dans les années de forte transgression, le bourrelet froid s'amenuise rapidement, s'aplatit, et les eaux du Banc se réchauffent directement au contact des eaux atlantiques ; leur température s'élève et avoisine en général $+4^{\circ}$, sauf dans les chenaux où persistent les caractères des eaux glaciaires.

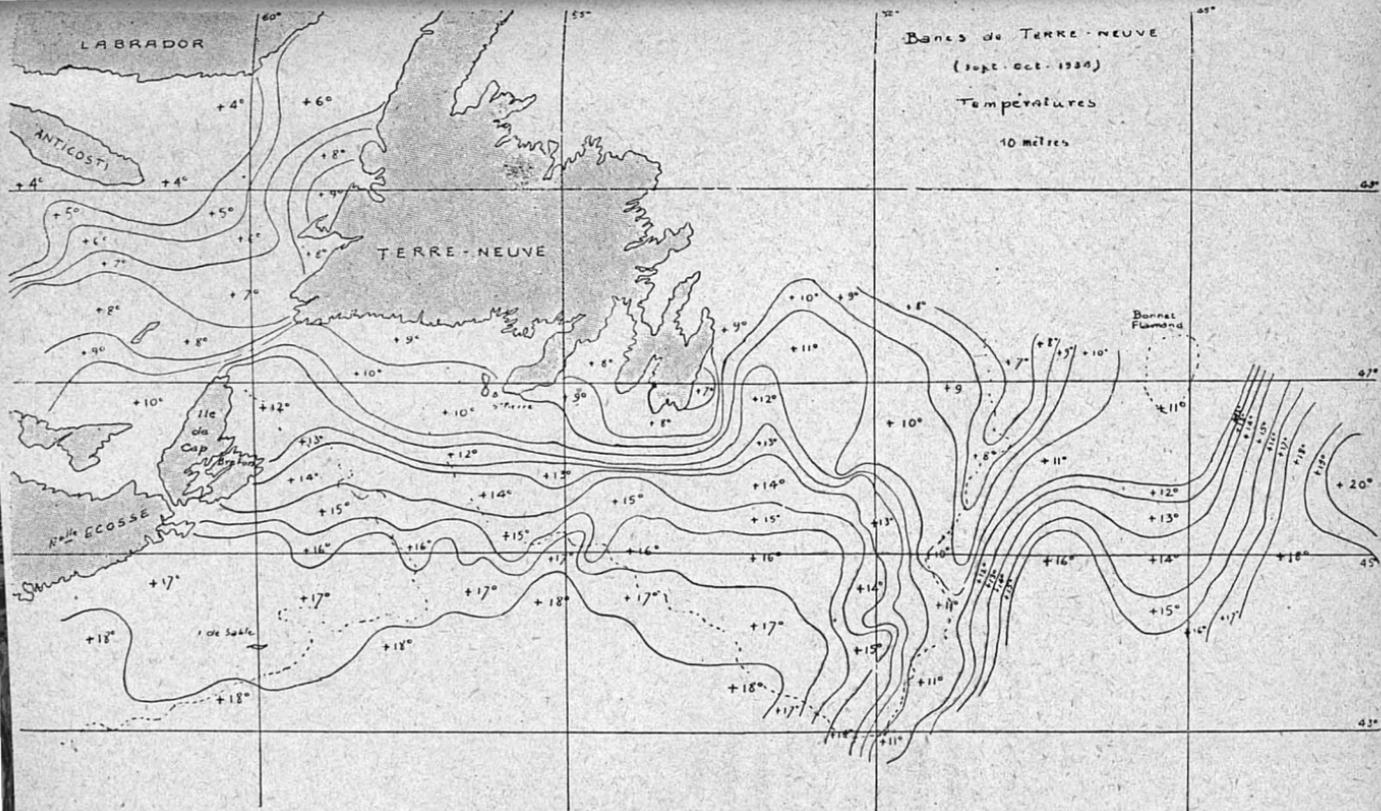


Fig. 48. — Bancs de Terre-Neuve. Températures, 10 mètres (1934).

*
**

L'examen des conditions hydrologiques de ces diverses régions de l'Atlantique montre combien variées peuvent être les modalités des phénomènes transgressifs. Le contraste, qu'il s'agisse des eaux équatoriales ou des eaux polaires, est frappant, entre les deux parties de l'Atlantique Nord. Du côté occidental le heurt des différentes eaux se traduit par des oppositions violentes, accentuées de courants bien marqués ; du côté oriental, tous les mouvements s'atténuent, et la lente montée des eaux atlantiques ne trouve, comme obstacle, qu'un front polaire faible et lointain.

TROISIÈME PARTIE

LES CONSÉQUENCES BIOLOGIQUES

CHAPITRE PREMIER

REMARQUES GÉNÉRALES ET TECHNIQUE BIOLOGIQUE

Depuis le début du xx^e siècle, la biologie, après avoir été une science basée sur l'observation, a montré une regrettable tendance à se transformer en une philosophie. Les grands zoologistes du siècle précédent étaient des anatomistes, et leurs recherches ont permis d'édifier une classification des espèces sur laquelle reposera longtemps notre connaissance du monde animal. Ces savants éminents vivaient devant la nature, en plein air, accomplissaient de surprenants voyages dans des contrées inconnues et dangereuses, pérégrinaient sur des mers inexplorées et, au péril de leur vie, enrichissaient de nouvelles découvertes notre documentation sur la faunistique générale de la Terre et des Océans. Ils ont créé, par leur labeur et leur courage, la base de la systématique sur laquelle reposent et doivent essentiellement reposer les sciences naturelles.

L'anatomie et la morphologie générale ont comme auxiliaires certaines sciences annexes, comme la physiologie, l'histologie, la cytologie. A l'étude des formes vivantes, sur place, dans leur milieu, aux recherches sur la constitution des êtres nouvellement découverts s'associent logiquement les travaux de laboratoire concernant les fonctions de certains organes,

l'analyse des tissus, la description des cellules ; mais ces sciences secondaires ont récemment pris le premier plan, et cela malgré l'échec évident de l'une d'elles, la cytologie, qui, après avoir voulu tout expliquer, même l'origine de la vie, n'a rien expliqué du tout, en dépit des artifices de coloration les plus ingénieux.

Quand, par hasard, l'étudiant de biologie se risque à sortir de son laboratoire pour se trouver devant la nature, il n'observe pas l'être vivant, mais son « comportement », et il analyse avec soin les réactions physiologiques, histologiques et autres, d'un animal dont il ignore la place en systématique ; et cependant, avant de connaître le détail, il faudrait étudier l'ensemble, car nos connaissances en biologie générale restent encore des plus élémentaires.

Benthos, plankton, necton ; faciès bionomiques.

C'est ainsi qu'on peut considérer que la biologie océanique est encore dans son enfance. Les savants qui ont pris part aux grandes expéditions maritimes ont récolté des échantillons d'innombrables espèces, mais, la plupart du temps, le cycle d'évolution et l'éthologie de ces formes animales sont complètement inconnus. A l'heure actuelle on groupe encore les êtres marins en trois catégories artificielles qu'il faut bien adopter, faute de mieux.

1° *Le Benthos* : On désigne sous ce nom l'ensemble des animaux marins fixés sur le fond ou enfouis dans la vase ou le sable. Le Benthos est, par définition, essentiellement sédentaire et, de ce fait même, sert de cadre aux aspects de la vie sous-marine qui déterminent les faciès bionomiques.

2° *Le Plankton* : On appelle plankton l'ensemble des êtres, soit à l'état adulte, soit à l'état larvaire, qui vivent en suspension dans les eaux, obéissant entièrement aux mouvements

des nappes marines qui les contiennent. Par son étymologie, le plankton est « ce qui erre », en ne se conformant qu'aux lois mêmes qui régissent le milieu dans lequel il vit. Le plankton se divise en « macrop plankton » et en « nannoplankton » ; le premier comprend les espèces de grande taille : méduses, tuniciers, crustacés, larves de poissons, et le second est surtout d'origine végétale et désigne des Protistes : Diatomées, Peridiniens, etc.

3° *Le Necton* : On appelle necton, c'est-à-dire « ce qui nage », l'ensemble des êtres marins, en général de forte taille, qui semblent obéir aux lois de leurs espèces plutôt qu'à celles du milieu dans lequel ils vivent ; nous verrons par la suite que cette définition repose beaucoup plus sur des apparences que sur des réalités pour la majorité des espèces. C'est dans le necton que se placent les cétacés, les poissons, les gros crustacés, etc...

Il existe une liaison intime entre ces trois groupes théoriques des êtres marins. En effet, beaucoup d'espèces, au cours de leur développement, passent d'un groupe dans l'autre ; les larves, après avoir mené une vie planktonique, en se transformant en adultes, se rangent ensuite dans les autres catégories ; d'autre part, le necton puise sa nourriture directement dans le plankton et le benthos et, de ce fait, se trouve en étroite dépendance avec ces deux groupes. Les conditions du développement et la nécessité de la nourriture déterminent des groupements d'animaux appartenant au benthos, au plankton et au necton, absolument obligatoires. Ces groupements constituent les facies bionomiques.

Les facies bionomiques ont été définis pour la première fois d'une façon magistrale par Pruvot, dans son étude sur la faune littorale de Roscoff et de Banyuls ; en prenant comme base, dans la zone intercotidale de la Manche occidentale, les niveaux algologiques, il put établir un groupement des espèces caractéristiques de ces niveaux. Les moyens d'investigation

dont disposait Pruvot ne lui ont pas permis de pousser vers les profondeurs sa classification des facies bionomiques. A diverses reprises, dans le Golfe de Gascogne et au large des côtes d'Algérie et de Tunisie, nous avons nous-même essayé d'étendre jusqu'au bord du plateau continental la détermination des facies bionomiques. Cette conception a, en effet, une haute importance, non seulement pour préciser les conditions actuelles de la biologie marine, mais aussi pour permettre de réaliser le mode d'existence des espèces géologiques. Certains facies sont remarquables par leur constance et leur homogénéité ; les associations animales des âges passés se retrouvent parfois dans les profondeurs de nos mers actuelles sans avoir subi de variations ni d'altérations sensibles. Je citerai pour exemple le groupement animal qui comprend des oursins du genre « *Dorocidaris* », des brachiopodes du type « *Terebratella* », de petits polypiéris isolés, les « *Caryophyllias* ». J'ai rencontré ce facies, déterminé par ces trois espèces, sur le plateau continental de la mer Celtique, près du banc de la Chapelle, sur la côte Nord de Tunisie, avec de très légères différences dans les espèces représentées ; on le trouve toujours en bordure de la falaise continentale, à une profondeur variant de 150 à 200 mètres, près de la limite des vases, mais sur fond sableux. Or, les couches géologiques, depuis l'époque primaire, révèlent fréquemment la présence de ce même groupement. On peut donc conclure sans hésiter que les régions où l'on rencontre ces fossiles furent placées au bord d'un plateau continental et à une profondeur de 150 à 200 mètres au cours de leur histoire géologique.

Facies hydrologiques ; sténothermie.

Les progrès de l'océanographie physique sont de nature à modifier la conception des facies bionomiques. Les groupe-

ments animaux qui les composent ne sont pas, en effet, constitués en tenant compte uniquement de la profondeur et de la nature du fond, mais aussi et surtout des conditions hydrologiques. A de très rares exceptions près, les êtres marins vivent et se développent dans des eaux déterminées, présentant des caractères de température et de salinité sensiblement constants, ou sujets à de faibles variations ; en conséquence, à la notion de facies bionomique doit-on, dans la plupart des cas, substituer la notion de *facies hydrologique*.

On appelle *sténothermie* ce caractère des êtres vivants qui les amène à rechercher, comme condition essentielle de leur existence, une température fixe. Pour les animaux marins, la *sténothermie* est presque toujours accompagnée de la *sténohalinité*, c'est-à-dire de la recherche d'une salinité constante. On reconnaît bien, cependant, que certaines espèces sont *eurythermes*, c'est-à-dire se soucient peu des conditions physico-chimiques de leur milieu, mais encore pour celles-là, leur *eurythermie* est relative et ne peut permettre de trop amples variations dans leurs conditions d'existence ; c'est le cas, par exemple, de la majorité des espèces littorales pour qui la faible profondeur de la zone où elles vivent permet de grandes variations du régime thermique, mais encore faut-il reconnaître que les hivers ou les étés exceptionnels peuvent provoquer de véritables catastrophes dans cette faune dite *eurythermique*.

C'est à la *sténothermie* que se rattache directement la classification générale des faunes : faune polaire, faune tempérée, faune tropicale.

Ainsi, dans le monde marin, le facies bionomique est obligatoirement hydrologique. Et si nous faisons encore une fois appel à la paléo-océanographie, nous pouvons déclarer que la présence de certains fossiles indique, non seulement leur position continentale mais, de plus, la nature des eaux au sein desquelles ils vivaient dans les âges passés. Il est très certain que

partout où nous trouvons des Coralliaires, les mers géologiques avaient une haute température et une forte salure. La présence dans les mers chaudes de bancs coralliens reposant sur une énorme épaisseur de polypiers anciens, remontant peut-être au tertiaire, est la preuve que dans ces mers les conditions physico-chimiques ont peu varié depuis fort longtemps. De plus, quand certains groupes zoologiques ont connu dans le passé une grande extension faunistique et sont réduits maintenant à quelques espèces nettement localisées, on peut supposer que le groupe entier vivait dans des conditions de température et de salinité analogues à celles dans lesquelles subsistent les derniers descendants. C'est, par exemple, le cas de la Limule, suprême vestige de la classe de Trilobites, qui promène sa carapace dans les eaux chaudes de l'Insulinde. Il est bien probable que les mers primaires où vivaient les Trilobites avaient un régime analogue à celui de cette partie de l'Océan Indien. Le même raisonnement s'applique aux Crinoïdes. Les mers secondaires où fleurirent les Encrines devaient ressembler, par leurs températures et salures élevées, aux eaux du Golfe du Mexique où vit la Pentacrine, ou à celles du fond du Golfe de Gascogne, où le *Président Théodore Tissier* a retrouvé, en 1935, les petits Crinoïdes jadis signalés par le *Talisman*.

*
**

Quand il s'agit, non plus d'animaux fixés du benthos, mais du necton, par exemple des poissons, les conditions physico-chimiques et la sténothermie prennent une importance encore plus grande. La salure et la température deviennent alors les bases essentielles de l'*habitat* ; c'est pourquoi les observations hydrologiques ont une influence majeure sur la pêche des espèces comestibles.

La notion de l'*habitat* hydrologique a profondément modifié les connaissances empiriques des pêcheurs. L'opinion généra-

lement répandue parmi ceux-ci était qu'on trouvait certains poissons sur les fonds déterminés. Chaque capitaine savait trouver la morue ou le merlu à un endroit précis et se basait sur des pêches fructueuses faites dans les parages repérés soigneusement ; aussi étaient-ils surpris qu'en revenant une autre année sur les mêmes fonds, à la même époque, ils n'y rencontreraient point le poisson attendu. La substitution de l'habitat hydrologique aux fonds de pêche peut désormais éviter aux professionnels de semblables déceptions. Il est, en effet, parfaitement évident que, suivant les années, par suite des variations périodiques de l'amplitude transgressive, les mêmes eaux ne recouvrent pas chaque année, au même moment, les mêmes parties du plateau continental et le poisson, par sa sténothermie et sa sténohalinité, change d'habitat géographique sans changer d'habitat hydrologique. On doit donc, en matière de pêche, remplacer l'idée des fonds à morue, des fonds à merlus, etc... par la notion « *d'eaux à morues* », « *d'eaux à merlus* », etc... La détermination des conditions de l'habitat hydrologique est le principe essentiel des recherches scientifiques destinées à venir en aide aux pêcheurs. Les mouvements du necton ne sont donc, eux aussi, qu'apparents. Ils sont strictement déterminés par la sténothermie des espèces. La recherche des conditions de température et de salinité optima coïncide du reste, pour les poissons, avec celle de leur nourriture préférée, car plus encore que le necton, le plankton est sténotherme ; une simple variation de quelques degrés dans la température entraîne irrémédiablement la destruction d'innombrables organismes planktoniques, et cette destruction peut avoir pour conséquence de véritables disettes provoquant, dans les bancs de poissons, une importante mortalité.

*
**

La distribution géographique et bathymétrique des espèces

marines est nettement liée au principe de la sténothermie. Nous avons précédemment montré que la température décroît avec la profondeur, et décroît aussi de l'Équateur vers les pôles et que, par suite, il y a isothermie entre certaines couches profondes des régions équatoriales et certaines couches superficielles des hautes latitudes. Il en résulte que, sans changer d'habitat hydrologique, une même espèce peut se rencontrer comme animal de surface dans la zone polaire et appartenir à la faune abyssale sous les tropiques. Un des exemples les plus typiques et les plus connus est celui de la famille des Lycodidés, qui fréquente les rivages et le plateau continental de l'Atlantique boréal et qui, dans la zone tempérée et sous l'équateur, se pêche à des profondeurs supérieures à 1.000 mètres.

De même, on retrouve fréquemment les représentants d'un même genre ou d'une même espèce sur le plateau continental de l'Europe et de l'Afrique du Sud, alors que ce genre ou cette espèce semble faire défaut sur les côtes de l'Afrique Équatoriale ; en réalité, on peut retrouver en profondeur, dans cette dernière région, les animaux qui mènent une vie côtière au nord et au sud de la Ligne. Ainsi, de même qu'il n'y a pas non plus d'habitat strictement géographique, il n'y a pas non plus d'habitat bathymétrique. Seul l'habitat hydrologique reste la règle fondamentale du peuplement marin.

Migrations des poissons.

Tout en considérant que la sténothermie est la base essentielle de détermination de l'habitat, il faut avoir soin de remarquer que cette sténothermie subit des variations d'après les conditions physiologiques des poissons : aux différents âges de sa vie, suivant le développement de ses forces musculaires, suivant sa maturité sexuelle, le même poisson change de

milieu ; mais, dans les mêmes circonstances physiologiques, il demeure cependant sténotherme. Les immatures, à la sortie de la vie planktonique, disposent encore de peu de force, et cherchent à se déplacer dans un milieu de faible densité ; c'est pourquoi on les voit, dans la plupart des espèces, gagner les eaux côtières ou littorales où la salure est faible et où la température est élevée. Ainsi les bancs de jeunes sardines se rapprochent des côtes ; ainsi les jeunes pleuronectes fréquentent les baies sableuses ; cette migration vers les faibles profondeurs des immatures suggère l'idée de colonies de vacances, et les Anglais ont appelé « *nurseries* » les anses ensoleillées où grandissent les petits poissons plats.

Après ce stade d'adolescence, les poissons regagnent leur habitat normal et y trouvent la nourriture habituelle à leur espèce. Mais plus tard, quand arrive la période de la reproduction, les glandes génitales gonflent leur cavité générale et leurs mouvements deviennent moins faciles, aussi, par suite de la loi du moindre effort, et pour nager plus aisément, vont-ils quitter à nouveau leur habitat normal, à la recherche d'eaux moins denses. Dans certaines espèces cette variation dans la sténothermie, pendant la période de reproduction, va si loin, que les poissons quittent l'eau marine pour venir frayer en eau douce : tel est le cas des poissons anadromes. Donc, dans la majorité des cas, chaque espèce a deux habitats : l'un où il se nourrit, l'autre où il se reproduit, mais chacun d'eux déterminé par de strictes conditions physico-chimiques. Le passage d'un habitat à l'autre est la cause des migrations ; aussi doit-on les diviser en *migration de reproduction* et en *migration de nutrition*.

La migration de reproduction correspond à un passage des poissons vers un milieu moins dense, et à une *concentration* des individus de l'espèce. Ce groupement est nécessaire pour la fécondation des œufs.

La migration de nutrition est un retour des poissons vers

les eaux plus denses, considérées en général comme l'habitat normal de l'espèce. Cette migration est accompagnée d'un mouvement de *dispersion* ; afin de rencontrer une nourriture plus abondante il est, en effet, nécessaire que les individus s'égaillent sur toute l'étendue de l'habitat de l'espèce, afin de ne pas se faire mutuellement concurrence dans le stock de nourriture.

Ces migrations, dans la majorité des espèces, ne représentent que des déplacements de faible amplitude, contrairement à ce que l'on croyait autrefois. On avait, en effet, cru que les bancs de poissons parcouraient de vastes étendues de l'Océan ; on basait cette conception sur les apparitions des bancs d'une même espèce sur différents points du littoral à des dates successives. La technique a montré que l'on n'avait pas affaire à un banc unique, accomplissant un énorme voyage, mais à des bancs multiples atterrissant à diverses époques de l'année suivant les régions.

Presque tous les poissons appelés poissons de passage ou poissons saisonniers ont ainsi des migrations fort limitées n'excédant guère la largeur du plateau continental. Seuls paraissent faire exception à cette règle les thons et les anguilles qui accomplissent dans l'Océan de véritables voyages.

Ichthyométrie.

L'étude des déplacements des différentes espèces de poissons comestibles a nécessité une technique spéciale qui a été créée par les techniciens des grands Conseils Internationaux chargés des recherches sur les pêcheries. Il ne s'agit pas, en effet, de faire seulement acte de zoologiste et de déterminer l'espèce du poisson étudié, mais à l'intérieur de cette espèce, il faut reconnaître à quelle race, à quelle tribu, à quelle population, presque à quel banc, appartient le poisson capturé.

Cette différenciation dépasse de beaucoup les limites de la systématique générale ; elle a nécessité la mise au point d'une technique nouvelle, l'*ichthyométrie*. Seules, en effet, de multiples mensurations permettent de classer les diverses populations d'une même espèce comestible. Les principaux savants qui ont créé l'*ichthyométrie* sont les Allemands Heincke, Ehrenbaum, Bückmann, le Norvégien Hjort et les Danois C.-G.-J. Petersen et J. Schmidt.

La méthode de mensuration consiste à mesurer, sur le plus grand nombre possible d'individus, certaines dimensions considérées comme susceptibles de variations, suivant les races locales, en ramenant ces mesures en un pourcentage de la longueur totale de l'animal étudié.

Comme exemples de ces mesures typiques, on peut citer la longueur de la tête, le diamètre de l'œil, la distance séparant l'origine des différentes nageoires impaires (dorsales et anales) de l'extrémité du museau, l'épaisseur du tronçon caudal, etc... Aux mensurations s'ajoutent, de plus, des numérations ; on doit compter le nombre d'écailles en série longitudinale et en série transversale, le nombre de rayons dans les nageoires paires et impaires, le nombre des rayons des arcs branchiaux ou branchiospines, etc... enfin le caractère le plus important et le plus stable est le nombre des vertèbres.

En effet, les proportions du corps d'un même poisson peuvent varier dans le courant de son existence : la tête, par exemple, est plus développée, relativement, chez le jeune que chez l'adulte ; le gonflement du ventre, au moment de la période sexuelle, fait varier la distance de l'anale au museau mais, par contre, le nombre de vertèbres semble rester constant chez un même individu pendant toute sa vie. Les moyennes vertébrales sont donc, à l'heure actuelle, la meilleure base de différenciation des races locales.

La comparaison de ces moyennes vertébrales dans une même espèce a même permis de formuler une loi générale qui ne

semble pas présenter d'exception, à savoir : dans une même espèce, *le nombre de vertèbres croît avec la latitude* ; en conséquence, un poisson pêché dans les mers du Nord a plus de vertèbres qu'un poisson de la même espèce pêché plus au Sud.

La distinction entre les différentes populations ichthyologiques, s'obtient par la méthode graphique, en portant les variations d'un même caractère en abscisses et le nombre d'individus mesurés en ordonnées. Dans le cas d'une seule race, le polygone formé par le graphique a une base unique et des sommets peu différenciés ; dans le cas de deux races les sommets se séparent ainsi que les bases. Un autre caractère, extrêmement utile pour la détermination des races locales, est la comparaison des *courbes de croissance* des poissons d'une même espèce. Deux facteurs doivent être connus pour permettre la construction d'une courbe de croissance : l'âge et la longueur du poisson. La longueur est facile à obtenir par simple mensuration, mais la détermination de l'âge est plus complexe. On utilise, à cet effet, la méthode appelée « lecture des écailles ». Il se trouve en effet que, de même que l'on peut lire l'âge d'un arbre sur les cercles concentriques que présente une section du tronc, il est possible de connaître l'âge d'un poisson d'après les anneaux parallèles aux bords de ses écailles. La croissance du poisson, comme celle de l'arbre, n'est pas régulière ; elle est moins rapide, en général, en hiver. Ce ralentissement se manifeste sur l'écaille par une zone sombre, alors que le rapide développement du printemps et de l'été s'inscrit comme une zone claire. La lecture du nombre d'anneaux d'hiver et d'anneaux d'été permet, avec quelque habitude, de connaître l'âge du poisson. Dans certaines espèces, cette lecture est cependant pratiquement impossible, par suite de la contexture même de l'écaille. Dans ce cas, on s'adresse à de petits osselets qui font partie de l'oreille du poisson, appelés otolithes ; on réduit ces osselets en lames

minces et on peut alors y découvrir des anneaux concentriques comparables à ceux des écailles (Pl. XVI).

Quand on a ainsi pu reconnaître la longueur et l'âge du poisson, il est facile d'inscrire sur un graphique la courbe de croissance en portant les âges en abscisses et les longueurs en ordonnées. Toutes les courbes de croissance ont sensiblement la forme d'une parabole. Le développement, très rapide pendant les premières années, va en s'atténuant graduellement, surtout après l'année qui marque la première maturation sexuelle ; mais, suivant les races locales, la courbe est cependant variable ; les populations les plus septentrionales de l'espèce, grandissent moins vite que les populations méridionales, toutefois, si elles sont moins précoces dans leur croissance, celle-ci dure plus longtemps, et les échantillons du Nord finissent par acquérir des tailles supérieures à celles des individus du Sud.

Ainsi, les mensurations biométriques, la numération des vertèbres, les variations des courbes de croissance, permettent de préciser les races locales d'une même espèce.

En outre, afin d'arriver à connaître la composition exacte d'une race locale, on a recours à la méthode des statistiques biologiques créée par Hjort. Cette méthode consiste à établir le pourcentage des poissons de même âge appartenant à une même race. Cette donnée est particulièrement importante pour prévoir la valeur des campagnes de pêche. Il arrive, en effet, que par suite de conditions plus ou moins favorables du milieu physico-chimique de la mer, les larves d'une même ponte se développent plus ou moins bien, et le nombre d'adultes varie de ce fait dans des proportions considérables. Ces poissons de même âge constituent de véritables « classes annuelles ». Certaines d'entre elles prédominent dans le stock de la race pendant toute la durée de leur existence ; quand les individus de ces classes spécialement abondantes arrivent à la taille marchande, il en résulte de fructueuses campagnes

de pêche. Par contre, la capture est maigre quand les poissons de taille marchande correspondent à des classes annuelles mal développées ou appauvries.

Il est extrêmement important de suivre, à travers les années, l'existence d'une classe annuelle abondante ; en général quand les individus de cette classe se mettent à pondre, ils engendrent à leur tour une nouvelle classe annuelle qui sera aussi très prospère, et sera de même une nouvelle source de richesse pour la pêche. Grâce à la technique précisée par Hjort, tous ces phénomènes peuvent être mis en évidence à l'aide de graphiques de lecture facile.

La technique internationale suit avec grand soin la vie sexuelle des poissons ; l'état de développement des glandes génitales fait l'objet d'examen, et les différents stades de leur évolution ont été catalogués suivant le développement progressif des œufs. Quand les femelles arrivent au dernier stade et sont prêtes à pondre, on recherche concurremment dans le plankton les œufs récemment pondus ; la présence simultanée en un même endroit de ces œufs et de femelles mûres permet la détermination exacte d'un lieu de ponte et, par suite, le siège d'une migration de concentration.

Marquage.

Toutes les nations intéressées aux recherches sur les pêcheries procèdent à des expériences de marquage. Les marquages employés varient suivant les espèces marquées ; le type le plus courant consiste en deux rondelles d'ébonite réunies par un fil d'argent en leur centre ; ces deux rondelles sont habituellement fixées sur l'opercule du poisson ; l'une d'elles, extérieure, comporte des initiales désignant le pays qui a procédé au marquage : E. pour l'Angleterre, D. pour le Danemark, RF. pour la France, etc... et un numéro d'ordre. On emploie aussi des sortes de broches ou d'agrafes, portant des

indications conventionnelles et qui sont fixées à la base des nageoires et surtout de la queue du poisson. D'autres marques rappellent certains boutons de col, avec une surface plane recevant les indications et un cône métallique au bout d'une petite tige. Cette dernière forme est surtout utilisée pour des espèces de grande taille.

On choisit, pour les marquer, parmi les poissons capturés, ceux qui représentent la meilleure apparence et semblent n'avoir pas souffert de leur capture, et on prend note de leur longueur et du point géographique où ils sont rejetés à la mer. S'il arrive qu'on les repêche ensuite, ils sont à nouveau mesurés, et la place où on les a recueillis est également notée. La comparaison entre ces différents renseignements, fournit des données sur leur croissance et sur leurs déplacements.

Cette technique, si aléatoire qu'elle paraisse, est des plus utiles. Il n'est pas rare de reprendre 25 % des poissons marqués, et même parfois 35 % pour les espèces côtières (plies, rougets, etc.). La proportion est moins forte pour les poissons à déplacements plus amples ; pourtant on arrive encore à 10 % pour les morues et les églefins. Les re-captures sont fort rares pour le merlu ; un seul échantillon fut repris par G. Belloc à la suite des marquages du *George Bligh*. Les expériences tentées sur le germon et sur le thon rouge n'ont jusqu'ici donné aucun résultat, malgré les efforts de H. Heldt.

Il convient d'ajouter que le marquage occasionnel remplace parfois le marquage scientifique ; c'est ainsi que H. Heldt a pu déterminer le trajet de certains thons en se basant sur la présence d'hameçons restés suspendus à leur mâchoire après rupture d'une ligne. Les Conseils Internationaux ont souvent envisagé l'inscription obligatoire d'un numéro d'ordre sur les hameçons employés en grande pêche, mais se sont heurtés à des difficultés techniques. La *Discovery II*, dans les mers du Sud, a procédé, à l'aide de harpons spéciaux, à des marquages de grands cétacés.

Outillage biologique.

Les appareils qui servent à la récolte de la faune marine sont des plus variés ; ils comprennent d'abord, pour la capture des poissons, tous les engins utilisés par les pêcheurs des différentes nations : lignes de surface, lignes de fond, sennes, filets dérivants, chaluts, etc... Mais, de plus, il existe un outillage scientifique spécial. Pour le benthos, l'outil principal est la drague, sac quadrangulaire robuste, dont l'ouverture comporte un ou deux fers tranchants s'enfonçant dans le sol sous-marin. La croix des corailleurs, lestée en son centre et garnie de fauberts à ses extrémités, est employée pour la récolte des Coralliaires et des Échinodermes. Pour la détermination de la nature du fond et pour apprécier la densité de la faune benthique, on se sert d'engins présentant la forme d'une benne à charbon ; un petit modèle, inventé par Léger, fut employé par le prince de Monaco ; il a été amélioré par C.-G.-J. Petersen : la benne, quand elle est ouverte, recouvre exactement un mètre carré du fond ; en se refermant, elle ramène tous les animaux compris sur cette surface et permet, en conséquence, une analyse quantitative de la richesse de la faune.

Les appareils destinés à la récolte du plankton sont constitués par des sacs à mailles très fines ; pour le macroplankton, le tissu usuel est un « cellular », sorte d'étamine renforcée. Le plankton est recueilli de deux manières, soit verticalement, soit horizontalement. Dans le premier cas, on descend à une profondeur déterminée, en général très grande, un filet quadrangulaire à très large ouverture (filet de Monaco), que l'on remonte très lentement ; dans son ascension, le filet filtre la colonne liquide correspondant à son ouverture, et les organismes contenus dans cette colonne se groupent au fond du filet, dans un récipient métallique. Cet appareil, qui fut

utilisé par le prince Albert I^{er}, nécessite pour sa manœuvre une mer absolument calme et, de plus, présente l'inconvénient de réunir des organismes provenant de niveaux différents; il a, par contre, un remarquable pouvoir de capture, et il n'est pas rare, quand on l'a descendu vers 2.000 mètres, de recueillir plusieurs livres de matière vivante, sans compter les grosses méduses (Pl. XIV).

La pêche horizontale du plankton se fait pendant la marche du navire, à vitesse ralentie. Le long d'un câble métallique, convenablement lesté, sont accrochés de multiples filets coniques, à ouverture circulaire; chacun d'eux travaille à une profondeur différente. Au moment de la remontée un message, lancé le long du câble provoque, par des décrochements successifs, la fermeture de tous les filets, qui sont halés à bord; chacun d'eux contient un échantillonnage du plankton, au niveau de son immersion. Hensen, Nansen, Apstein, Schmidt ont, pour les besoins de leurs recherches personnelles, mis au point différents types de filets à plankton, avec ou sans fermetures automatiques (Pl. XV).

Le prince de Monaco puis, plus tard, C.-G.-J. Petersen, ont inventé de petits chaluts en étamine pour la récolte du macro-plankton. Celui de C.-G.-J. Petersen a la forme d'un petit ottertrawl et est spécialement destiné à la capture des larves de poissons; son pouvoir pêchant est considérable.

Enfin, pour obtenir des animaux de grande taille de la faune abyssale, différents modèles de nasses lumineuses ont été employés avec fruit par les grandes expéditions océanographiques. On peut rattacher à l'outillage biologique les lignes à émerillons, qui servent à la capture des requins, et les différentes sortes de harpons, employés dans la chasse des cétacés.

CHAPITRE II

L'INFLUENCE DES TRANSGRESSIONS SUR LA BIOLOGIE ET LA PÊCHE

Les conséquences biologiques des transgressions océaniques ont une extrême importance en ce qui concerne la pêche : les phénomènes transgressifs déterminent, en effet, les variations de l'habitat hydrologique des espèces marines et, de ce fait, ont une répercussion directe sur le rendement des fonds de pêche et la valeur des prises des poissons saisonniers. Les avances et les retraits des eaux atlantiques entraînent automatiquement des progressions ou des reculs des populations ichthyologiques, à tel point que certains poissons sont de véritables *détecteurs biologiques* des mouvements transgressifs. C'est du reste l'étude des déplacements du thon blanc ou germon qui, en 1921, me permit de saisir dans toute l'amplitude de cette année exceptionnelle, l'importance des transgressions et de les définir.

Issue d'observations empiriques, la théorie des transgressions a, depuis dix-huit années, été sans cesse vérifiée et confirmée par des faits biologiques ; ce sont les poissons eux-mêmes qui se chargent de démontrer la valeur de cette théorie et de ses fécondes applications.

C'est pourquoi nous allons choisir quelques-uns de ces détecteurs vivants et montrer la liaison intime qui existe entre leur biologie et les phénomènes transgressifs.

Les êtres marins, suivant leurs espèces, se groupent en deux catégories, ceux qui ont pour habitat les eaux transgressives et ceux qui, au contraire, résident dans les eaux continentales et polaires et, de ce fait, évitent la transgression. C'est surtout au moment de la migration de dispersion et de nutrition que se révèlent ces tendances opposées des deux groupes ; la catégorie transgressive et la catégorie continentale se trouvent, en effet, placés à cette période de leur biologie, de chaque côté de la limite des eaux atlantiques, l'une à l'intérieur de ces eaux, l'autre à l'extérieur et aussi bien dans les eaux profondes que dans les eaux superficielles.

A. — Poissons migrants et saisonniers.

Le thon blanc ou germon. — Parmi les Téléostéens, la famille des Thonnidés, bien que voisine de l'énorme groupe des Scombres, garde une réelle individualité, reposant à la fois sur des caractères anatomiques et biologiques, à tel point que le Japonais Kishinouyé a songé à créer pour les thons un ordre distinct, celui des « Plecostéens ».

Sans partager l'opinion de Kishinouyé, nous devons cependant faire remarquer que les thons semblent les seuls Téléostéens à posséder une chaleur spécifique propre, variable du reste, mais toujours supérieure, de plusieurs degrés, au milieu ambiant. Du point de vue biologique, seuls ils méritent le nom de « migrants », si l'on restreint ce terme aux poissons accomplissant de véritables voyages au sein des eaux océaniques, sans aucune période d'existence en eau douce (anadromes et catadromes).

Les thons sont, par excellence, des poissons de la transgression atlantique et leurs migrations, bien que de large amplitude, ne dépassent jamais les limites des eaux transgressives. La majorité des espèces de la famille reste cantonnée dans la zone

tropicale, mais deux d'entre elles, les plus importantes du point de vue économique, font vers le Nord de notables incursions : le thon blanc ou germon (*Thynnus alalunga*), et le thon rouge (*Thynnus thynnus*).

Le thon blanc ou germon, caractérisé par la longueur de ses nageoires pectorales, nous servit, nous l'avons dit, de détecteur biologique, en 1921, pour fixer l'amplitude de la transgression et, dès cette année, nous avons pu formuler cette règle :

*Le thon blanc ou germon habite, au large des côtes d'Europe, les eaux dont la température, à 50 mètres, est supérieure à + 14°. Cette loi régit entièrement la biologie du germon. Il accomplit sa migration de dispersion en suivant les eaux transgressives, se déplaçant toujours à l'intérieur de leur limite, épousant leurs contours dans leurs moindres détails. Vers le printemps le germon, ayant récemment pondu, se trouve au large du Maroc et de Gibraltar ; en mai, il s'avance dans le lobe transgressif qui remonte, en cette saison, au large de la côte portugaise et il pénètre, vers la fin du mois, dans le Golfe de Gascogne en contournant le cap Finistère. C'est à ce moment que commence, pratiquement, sa pêche. Il s'éveille dans le fond du golfe, au fur et à mesure que s'élargit la poche d'eaux atlantiques, placée à l'est du seuil froid. Il se nourrit en abondance dans cette région, pendant tout le mois de juillet, des innombrables êtres qui accompagnent la transgression dans son déplacement et, en particulier, d'un petit crustacé amphipode, l'*Euthemistho bispinosa*, dont l'accumulation, en certains points, forme de larges taches rougeâtres, et d'un petit poisson le *Scombrox Saurus*, ou balaou.*

Suivant les années, il arrive fréquemment que la pêche du germon subit en août une interruption. Cette coupure est due à la plus ou moins grande permanence des eaux continentales se déversant près du banc Parson et contribuant à former la borne nord du seuil froid. Arrêté par le mur des eaux conti-

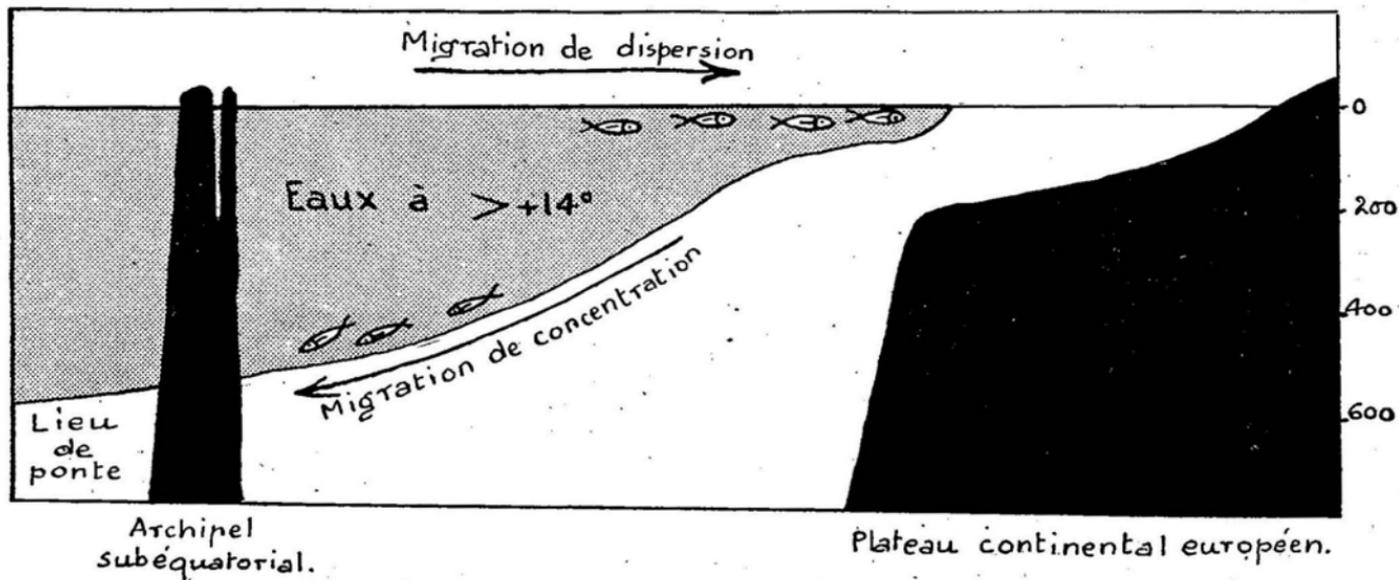


Fig. 49. — Schéma des migrations du germon.

mentales, le germon contourne ces eaux, en longeant le bord du seuil froid ; puis il remonte au Nord, dans les eaux atlantiques du large, et réapparaît du côté de la Petite Sole. Dans les années de forte transgression la coupure est fort courte, car les eaux atlantiques ont rapidement raison des eaux continentales. Marchant toujours vers le Nord, les hordes de germons envahissent, vers la fin d'août et au début de septembre, la région de la Grande Sole et atteignent, vers Hurd Bank, le sud-ouest de l'Irlande ; à ce moment le germon disparaît, la pêche est finie. La migration de dispersion est terminée ; les germons sont abondamment nourris. Legendre a pu reconstituer, par l'examen de leurs estomacs, l'ensemble de la faune pélagique du Golfe de Gascogne. A côté des anchois et des balaous, le thon, pour sa nourriture nocturne, fait appel à de nombreuses espèces pélagiques vivant en profondeur mais remontant la nuit près de sa surface (*Myctophum*, *Maurolicus*, *Paralepis*, etc...).

La recherche de cette nourriture explique pourquoi le germon ne mord pas la nuit ; il est, en effet, descendu en profondeur, à la limite des eaux à $+14^{\circ}$, pour saisir ces formes semi-abyssales.

Alors les thons bien gavés songent à retourner vers leur habitat tropical. C'est le début de la migration de concentration et de ponte. Pour ce retour, au lieu de suivre en surface la limite des eaux à $+14^{\circ}$ de la transgression atlantique, les germons descendent en profondeur, en longeant exactement cette même limite et toujours à l'intérieur des eaux transgressives. Ce voyage, par suite de la disposition des eaux atlantiques, les entraîne à s'enfoncer graduellement. Vers l'hiver, ils atteignent les parages des archipels équatoriaux : Madère, les Canaries. C'est autour de ces îles que se produit la concentration pour la ponte, à des profondeurs dépassant plusieurs centaines de mètres. Les Madériens et les Canariotes, avec de très longues lignes, arrivent à capturer ce germon des

profondeurs. Le détail de cette migration dont j'avais posé le principe en 1927, a été récemment précisé par G. Belloc qui, à l'occasion d'une des croisières du navire *Président Théodore Tissier*, a pu fixer, au sud-ouest de Madère, un lieu de ponte du germon.

On ne peut trouver un meilleur exemple de sténothermie ; l'habitat hydrologique du germon reste, pendant toute l'existence de ce poisson, fixé aux eaux à $+14^{\circ}$, qu'il les suive en surface pendant sa migration, ou qu'il s'y concentre en profondeur, au moment de sa migration de reproduction.

Les mœurs du germon sont sensiblement les mêmes en Atlantique occidental. Au cours de sa migration de dispersion, il atteint les parages du Banc de Terre-Neuve ; son lieu de ponte doit se trouver en profondeur du côté des Bermudes ou des îles Bahamas. Dans l'Atlantique Sud les germons n'apparaissent, au large de l'Angola, que pendant les mois d'hiver, par suite du renversement des saisons dans l'hémisphère austral. Dans l'Océan Pacifique, j'ai pu constater à la fin du printemps, au large de l'État de Californie, des migrations de germons, absolument comparables à celles du Golfe de Gascogne vers la même saison.

Les variations de l'amplitude transgressive ont, sur la pêche du germon, des conséquences directes et les pêcheurs ont, depuis de longues années, remarqué que tous les quatre ou cinq ans il y a une campagne de pêche meilleure que les autres ; cette périodicité correspond aux sommets semi-vennaux (quatre ans et demi) du rythme transgressif.

Le thon rouge. — La biologie du thon rouge avait attiré l'attention des anciens ; Aristote décrit leur voyage en Méditerranée et jusqu'en Mer Noire, et est frappé de la régularité avec laquelle ils apparaissent aux mêmes points, exactement aux mêmes dates. Malgré les siècles écoulés, de grandes incertitudes règnent encore sur les migrations du thon. De nom-

breux savants, L. Roule, M. Sella, H. Heldt, discutent des faits essentiels de sa biologie. L'ichthyométrie elle-même rend peu de services quand il s'agit des Thonnidés. Les individus mesurés en Méditerranée, dans le Golfe de Gascogne, en Mer du Nord, sur la côte américaine, ne présentent pas de variations sensibles dans leurs dimensions, et la formule vertébrale est toujours identique. Malgré les divergences de vue des auteurs on peut cependant déduire que, du côté européen, la zone de reproduction du thon rouge est assez restreinte ; elle est limitée à la Méditerranée occidentale et à la baie d'Espagne. Sa période de reproduction se place en mai et juin ; à ce moment le thon est strictement sténotherme et sténohalin et se fixe dans les eaux de très haute salure et de forte température de la Méditerranée. La migration de dispersion entraîne le thon dans le bassin oriental de la Méditerranée et jusqu'en Mer Noire. D'autre part, il s'étend dans l'Atlantique ; on le trouve au large de la côte du Maroc, mais il ne semble pas s'avancer très loin dans les eaux tropicales ; par contre, vers le Nord, son extension géographique est énorme, puisqu'en certaines années il apparaît au large de l'Islande et jusque sur la côte Mourmane. C'est pendant cette période de sa vie que le thon suit les déplacements des eaux transgressives. Sa migration paraît manifester plus d'ampleur que celle du germon, sans doute du fait qu'il observe moins bien une stricte sténothermie. Du reste, cette eurythermie relative dépend de l'âge des individus. Dans la zone boréale en Mer du Nord, on ne rencontre que des thons de très grande taille, dont le poids excède toujours cent kilos ; ce sont des animaux robustes, susceptibles d'un très grand rayon d'action. Dans la zone plus proche, comme dans le fond du Golfe de Gascogne, les thons ont une taille moindre ; ils restent cantonnés dans le fond du golfe, région dont nous avons signalé la haute température estivale et la salinité constante.

La période d'apparition des grands thons, en Mer du Nord

et sur les côtes de Norvège, correspond exactement aux déplacements des eaux de la transgression et s'étend de juillet à octobre. Il faut noter à ce sujet qu'on trouve, en Mer du Nord, des thons, moins d'un mois après leur départ de la zone de reproduction de la Méditerranée Orientale. Ce fait prouve la rapidité de déplacement de ces grands poissons qui, après avoir gagné le large ont, dans un fort court délai, doublé l'Irlande à l'Ouest et contourné l'Écosse par le Nord. A l'inverse du germon, c'est en surface que le thon rouge regagne son habitat normal méditerranéen ; il régresse en même temps que les eaux atlantiques, fuyant devant l'hiver. On le voit en décembre s'ébattre au large de la Grande Sole, sur le chemin du retour. L'amplitude des migrations des grands thons rouges montre que la loi prédominante, au moment de sa dispersion, n'est pas la sténothermie, mais la sténohalinité. Il ne sort pas, en effet, des eaux à 35 0/00. Les fluctuations des apparitions du thon rouge sur les côtes de Norvège sont périodiques et liées aux variations d'amplitude des transgressions vers le Nord.

En conséquence, on peut distinguer trois phases principales dans la biologie du thon rouge : la période d'élaboration sexuelle, pendant laquelle il est strictement sténotherme (eaux au-dessus de $+14^{\circ}$), et sténohalin (eaux à 37 0/00) ; la période de la migration de dispersion chez les jeunes individus, pendant laquelle ceux-ci restent encore sténothermes et sténohalins (eaux à $+14^{\circ}$ et à 35,5 0/00) ; enfin la période de la migration de dispersion chez les thons âgés, de grande taille, qui englobe toute l'étendue de l'aire géographique de distribution de leur espèce et au cours de laquelle ils cessent d'être sténothermes mais demeurent sténohalins (eaux à 35 0/00).

Sella considère que les thons de l'Atlantique occidentale appartiennent à la même race que ceux de l'Atlantique orientale et n'hésite pas à leur faire franchir, au cours de leur

voyage, toute l'étendue de l'Atlantique, de Terre-Neuve à Gibraltar. Cette opinion semble difficile à admettre du fait qu'on a signalé la présence de jeunes thons au large de la côte américaine. On peut donc supposer qu'il existe, dans l'Atlantique occidental, une autre zone de concentration.

Le maquereau. — D'une façon générale, les poissons de la famille des Scombridés ont pour habitat les eaux transgressives. Les déplacements du maquereau concordent exactement avec les mouvements des eaux atlantiques; tout au moins pendant la phase sexuelle de son existence.

La différenciation des populations locales de maquereaux est rendue fort difficile par l'unité de l'espèce. La formule vertébrale (31 vertèbres), est absolument fixe, et les indices ichthyométriques sont suffisants pour permettre la détermination morphologique des différentes races. J. Le Gall suppose, sur le plateau continental franco-britannique, la présence de trois populations, en se basant sur l'emplacement géographique des frayères. Celles-ci sont situées à l'entrée occidentale de la Manche, au Sud de la mer d'Irlande, à l'entrée du Skager-rak; en conséquence on peut distinguer trois populations: maquereau d'Irlande, maquereau de la Manche, maquereau de la Mer du Nord. Il est possible que les deux premiers groupes puissent être confondus en une même population atlantique.

En hiver, vers le mois de février, les bancs de maquereaux se trouvent à la limite de la transgression profonde, aux accores du plateau continental; la population atlantique se concentre au nord de la Grande Sole, la population de la Mer du Nord, près du banc Viking. Le déplacement des maquereaux vers leurs frayères est particulièrement caractéristique, car ils obéissent absolument à la direction des axes transgressifs (Fig. 24).

Nous avons, à propos du mécanisme des transgressions,

indiqué les variations de position et d'orientation de ces axes transgressifs en mer Celtique. On peut résumer leurs dispositions successives comme suit :

Février, orientation : Ouest-Est. Origine 51°10 N.

Avril, orientation : Nord 60° E. Origine 50°20 N.

Mai, orientation : Nord 50° E. Origine 49°20 N.

Juin, orientation : Nord 40° E. Origine 48°10 N.

Août, orientation : Nord 30° E. Origine 47°20 N.

Ainsi, de février à août, les axes transgressifs se déplacent à partir du bord du plateau continental depuis Hurd Bank jusqu'à l'Est du banc de la Chapelle, en passant successivement par les bancs de la Grande et de la Petite Sole.

Les maquereaux, en suivant ces diverses directions, se tiennent presque constamment à l'intérieur de la limite de l'avance des eaux transgressives ; en même temps ils se déplacent verticalement, de bas en haut pendant la nuit, et de haut en bas au petit jour (J. Le Gall).

Après la ponte, les maquereaux se dispersent à la recherche de la nourriture, et pendant cette période de leur vie pénètrent dans les eaux côtières et deviennent eurythermes. Ils peuplent à ce moment la zone peu profonde des bancs de la Mer du Nord et des côtes de la Manche ; mais au moment où commence à s'accuser la régression atlantique, ils se concentrent à nouveau et regagnent leur habitat d'hiver, vers décembre et janvier, au bord du plateau continental.

Les maquereaux de l'Atlantique occidental ont des mœurs essentiellement comparables à celles des maquereaux d'Europe. La population américaine est remarquable par ses grandes dimensions. A la fin de la première année, les maquereaux de Nouvelle-Écosse atteignent 25 centimètres ; à deux ans ils mesurent 35 centimètres ; leur croissance se ralentit ensuite, mais leur permet cependant d'atteindre, vers la dixième année, une moyenne de 45 centimètres de long avec un poids moyen supérieur à un kilogramme.

Les déplacements des maquereaux des États-Unis ont été étudiés, de 1926 à 1936, par Sette. Il distingue deux groupes ou populations : 1° la population méridionale qui, en avril, quitte le bord du plateau continental et vient atterrir entre les baies de Chesapeake et de Delaware. Les maquereaux montent ensuite vers le Nord-Est en direction du Golfe du Maine et opèrent leur migration de retour vers la fin d'octobre. 2° La population septentrionale commence ses déplacements vers la côte de Nouvelle Angleterre à la fin de mai et, longeant la côte de Nouvelle-Écosse, va passer l'été à l'entrée du Saint-Laurent. La migration de retour s'opère en novembre.

Ces deux populations, dans leurs atterrissages, suivent la direction de deux axes transgressifs bien caractérisés. Nous avons vu que le maquereau d'Europe, au moment de sa concentration, se trouve sur le fond, où il est, du reste, capturé par les chalutiers. Il n'en est pas de même du maquereau américain, car, même en été, les eaux du courant du Labrador occupent la zone profonde du plateau continental, et, dans ses déplacements en profondeur, le maquereau est limité par une ligne de contrastes thermiques ; les couches froides du fond représentent une barrière effective pour tout mouvement vers le bas. Sette a constaté que les variations de position et d'intensité de cette ligne de contrastes thermiques (thermocline), déterminent la valeur des campagnes de pêche du maquereau. On voit, qu'aussi bien dans l'Atlantique Oriental que dans l'Atlantique Occidental, le maquereau garde nettement le caractère d'un poisson des eaux transgressives, sous réserve d'une certaine eurythermie au moment de la migration de dispersion. Aussi les documents que nous avons pu recueillir sur les variations transgressives en Mer du Nord et en Mer Celtique, permettent-ils de guider, de façon sûre, les pêcheurs dans la zone du plateau franco-britannique.

Le hareng. — A l'inverse du maquereau, le hareng est, par

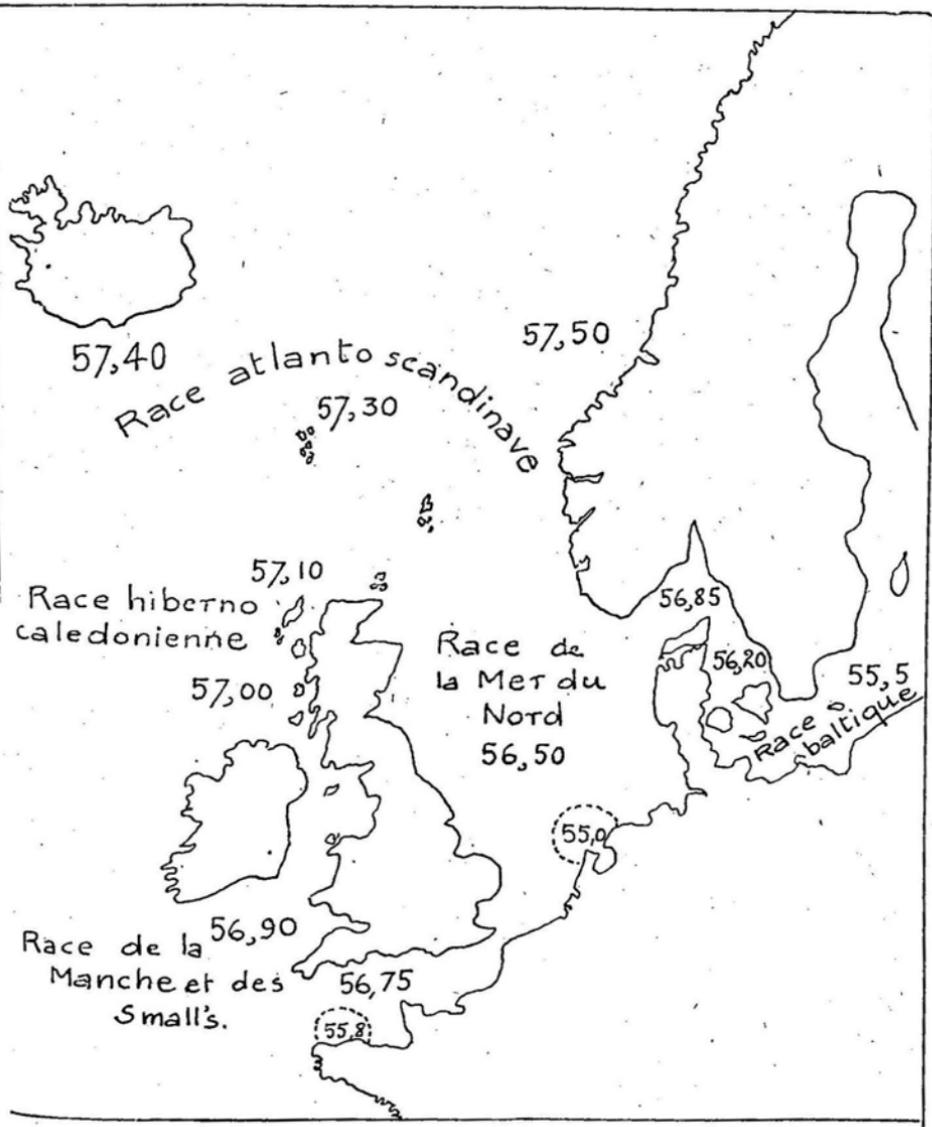


Fig. 50. — Races de harengs.

excellence, un poisson des eaux continentales. Sa grande importance économique a conduit les savants des diverses nations intéressées à sa pêche, à l'étudier avec grand soin. C'est l'étude du hareng qui permit au savant allemand Heincke de jeter les bases de l'ichthyométrie moderne.

Au siècle dernier on supposait que les harengs accomplissaient de grands voyages dans l'Atlantique Nord. La succession dans l'année des dates d'apparition des bancs de harengs sur divers points des côtes européennes, avait induit Dodd et Andersen à décrire une énorme migration des harengs qui, partis d'Islande et de Norvège, descendaient le long des côtes britanniques, gagnaient la Manche, puis l'Irlande, et remontaient vers le Nord pour reprendre leur grand voyage. Des études de Heincke montrèrent que les apparitions successives de harengs étaient le fait de déplacements de faible importance, accomplis par des races différentes. Les mensurations, les moyennes vertébrales, les variations du nombre des écailles de la carène ventrale, ont permis la différenciation des populations harenguières.

En prenant comme base la récente étude de J. Le Gall, on peut reconnaître les groupes suivants :

1° *Les harengs atlantiques.* — Dans ce groupe, on peut distinguer les harengs atlanto-scandinaves qui habitent les régions de l'Islande, des Feroë et du plateau continental norvégien et les harengs hiberno-calédoniens qui s'étendent de l'Écosse et de l'Irlande au plateau continental celtique. Les harengs atlantiques sont caractérisés par leur formule vertébrale, supérieure à 57,00 ou voisine de ce chiffre.

2° *Les harengs de la Manche et des Small's.* — Cette population se trouve dans toute la Manche et jusque dans la partie méridionale de la Mer du Nord, ainsi qu'à l'entrée Sud de la Mer d'Irlande. La moyenne vertébrale est toujours inférieure à 57,00 mais supérieure à 56,50.

3° *Les harengs de la Mer du Nord,* qui se rencontrent dans

cette mer, et aussi en Manche orientale. La formule vertébrale varie de 56,30 à 56,50. Ces harengs sont du type côtier avec une croissance moins forte que celle des groupes précédents.

4° *Les harengs des détroits danois.* — On trouve dans les détroits un mélange de plusieurs populations. Certaines se rapprochent des harengs atlantiques, d'autres des harengs côtiers de la Mer du Nord, et d'autres des harengs de la Baltique. On peut cependant distinguer les diverses races, à la fois par leur moyenne vertébrale, et aussi par leur biologie, car elles pondent à des époques différentes de l'année.

5° *Les harengs des eaux saumâtres.* — On peut grouper sous ce nom diverses populations sans rapport entre elles, qui habitent la Baltique, le Zuyderzée et l'embouchure de certains fleuves ou rivières, comme la race spéciale de la rade de Morlaix, que j'ai signalée en 1913. Ces harengs des eaux saumâtres ont une moyenne vertébrale extrêmement faible, variant de 55.00 à 56.00. De plus, la croissance est extrêmement ralentie dans ces populations.

L'examen des caractères des divers harengs européens montre que la formule vertébrale varie selon la latitude avec un accroissement du nombre de vertèbres dans les régions septentrionales, suivant la loi commune, mais aussi suivant la salinité, avec une réduction du nombre de vertèbres dans les races d'eau saumâtre.

A la suite d'une étude des harengs de la mer Celtique que j'avais publiée avec H. Heldt, en 1924, il me fut possible de formuler la loi suivante : « Les harengs obéissent aux transgressions des eaux salées par ce fait qu'ils se tiennent à leur limite extérieure. Au fur et à mesure qu'une masse d'eaux atlantiques avance ou recule, le hareng la précède ou la suit, sans jamais y pénétrer. »

Aussi en hiver, au moment de la régression atlantique, les harengs habitent-ils jusqu'au bord du plateau continental. La

période de ponte, suivant les populations harenguières, se place à deux moments de l'année. En automne et en hiver a lieu la ponte des harengs de type côtier, en particulier de ceux de la Mer du Nord ; au printemps ou en été, la ponte des harengs de caractère atlantique.

Les mouvements des eaux transgressives provoquent des déplacements du hareng, que nous avons pu suivre spécialement, en mer Celtique. Vers le mois d'août, un lobe transgressif, dirigé vers le Nord-Est, remonte la vallée de la Grande Sole, en direction de la fosse des Small's et envahit cette fosse. Les harengs se trouvent alors cantonnés sur la pente, de chaque côté de la fosse, dans les eaux continentales. Quand, vers novembre, se produit le début de la régression, les eaux continentales envahissent la fosse et les harengs y descendent. La connaissance de ces divers déplacements est utilisée pour le bon rendement de la pêche.

Ce groupement des harengs autour de la fosse des Small's ne correspond pas à une concentration de ponte, et J. Le Gall lui a donné le nom de « concentration de pré-maturation ». Les harengs, en effet, ne sont pas mûrs et ne pondront que plus tard, et dans une autre région.

De semblables concentrations de pré-maturation ont été observées également au nord de l'Irlande, près d'Inishtrahull, en Mer du Nord, sur le fond des Fladen.

Je pense qu'il faut rechercher l'explication des concentrations de pré-maturation dans une survivance de l'anadromie. La famille des Clupéidés, qui compte parmi les plus anciennes des familles de poissons osseux, a gardé le caractère anadromique des premiers poissons Téléostéens. Certaines espèces, comme l'aloise, le gaspereau canadien, sont encore anadromes. Or, il faut remarquer que les points de concentration de pré-maturation correspondent aux embouchures et aux thalwegs sous-marins des grands fleuves. La fosse des Small's et la vallée de la Grande Sole marquent la place de la Severn géologique ;

la région d'Inishtrahull correspond à l'antique thalweg de la Clyde ; quant au fond des Fladen, en Mer du Nord, c'est l'ancien estuaire du Rhin. Les harengs se réunissent donc, avant leur maturation, aux estuaires des grands fleuves disparus, avant de remonter leurs cours profonds qui les conduit à leurs frayères, et cette remontée leur donne le temps nécessaire à leur maturation.

Au lieu de continuer, comme l'alose et le gaspereau, leur migration anadromique dans les eaux douces, il s'arrêtent avant l'embouchure des fleuves émergés. Aussi, pouvons-nous constater que toutes les frayères de harengs sont situées dans les eaux de faible salure, toujours inférieure à 35 0/00. Cette salinité, dans le cas du groupe des harengs d'eaux saumâtres, en Baltique ou dans le Zuyderzée, peut même être extrêmement faible. On peut donc résumer les facteurs principaux qui régissent la vie du hareng de la façon suivante : le recul devant les transgressions, et la survivance anadromique.

Particulièrement pendant sa période sexuelle, le hareng se nourrit uniquement du plankton des eaux continentales. Celui-ci, extrêmement abondant, est surtout constitué par des diatomées. Tous les pêcheurs connaissent, en Mer du Nord, les grandes traînées jaunâtres, ou « tacons », caractéristiques des eaux à harengs. Ces tacons sont formés par des agglomérations de diatomées du genre *Biddulphia*. L'océanographe anglais Hardy a mis à la portée des pêcheurs un appareil, le « plankton indicator », qui leur permet de reconnaître les eaux continentales des eaux atlantiques. Le principe en est des plus simples : le contenu d'un petit filet à plankton, traîné quelque temps par le navire en marche, est étalé entre des lames de verre et examiné par transparence ; si le plankton a une teinte générale verdâtre, on se trouve dans les eaux à diatomées, favorables au hareng ; si, au contraire, la coloration tire sur le rouge, le plankton est riche en petits crustacés, et de caractère atlantique.

*
**

La nécessité biologique dans laquelle se trouve le hareng, d'éviter les eaux atlantiques, a pour conséquence que les variations d'amplitude des transgressions ont une directe répercussion sur ses déplacements.

Au moment des maxima séculaires, — qui se produisent en réalité tous les cent onze ans — les eaux atlantiques, pendant plusieurs années consécutives débordent largement sur les eaux continentales et les harengs se trouvent, de ce fait, obligés de se cantonner près des côtes, où les marées séculaires ne produisent pas leur effet sur une seule année, mais sur tout un groupe d'années ; c'est ainsi, par exemple, que le dernier sommet de cent onze ans se manifesta hydrologiquement de 1875 à 1896, par un influx exceptionnel d'eaux transgressives. C'est ce phénomène qui détermina la célèbre « pêche miraculeuse » du hareng en Norvège, et fit l'étonnement des biologistes. L'abondance de harengs à cette époque provoqua la création d'une nouvelle industrie, celle de l'utilisation des sous-produits qui prit alors naissance en Scandinavie.

Les savants suédois Pettersson et Ljungmann recherchèrent les documents qui pouvaient attester que de semblables « pêches miraculeuses » avaient déjà été constatées dans le passé. Ils trouvèrent une source abondante de renseignements dans les annales des anciens couvents qui percevaient une dîme sur la pêche, et ils purent noter que tous les cent onze ans, les perceptions monastiques augmentaient considérablement. Nous avons fourni, à propos de la périodicité de la transgression, les données recueillies par les savants suédois.

Les maxima de moindre amplitude, octo-décimaux et novennaux, ont aussi leur influence sur la pêche du hareng. En 1921, les deux lobes transgressifs qui pénètrent en Mer du Nord, l'un par le Nord, l'autre par le Pas-de-Calais, opé-

rèrent leur jonction ; les bancs de harengs se trouvèrent cernés le long de la côte anglaise, et l'arrivée intense de l'influx atlantique amena une grande destruction du plankton continental. Les harengs, privés de nourriture, s'égaillèrent au hasard, et un grand nombre d'entre eux périrent. Des analyses montrèrent une disparition presque totale de leurs réserves en matière grasse ; ce fut une campagne de pêche désastreuse. Bowmann, en Écosse, et E.-S. Russell en Angleterre, eurent leur attention attirée par le plankton inusité de la Mer du Nord, et notamment par l'abondance de Salpes, de caractère atlantique.

En 1922, une croisière dans le Golfe de Gascogne me permit de constater, au mois d'août, une grande différence dans la position géographique de l'isotherme $+14^{\circ}$ dont j'avais déterminé la limite à la même époque en 1921. Cet isotherme montrait une extension beaucoup moindre des eaux atlantiques par comparaison avec l'année précédente. Il semblait donc que l'amplitude transgressive étant moins forte, l'influx atlantique de la Mer du Nord devait être moindre l'hiver suivant. On pouvait donc espérer une meilleure campagne de pêche du hareng d'hiver, par un retour à des conditions hydrologiques plus normales ; aussi, dès novembre 1922, je pus faire présenter à l'Académie des Sciences une note indiquant la possibilité de prévoir la valeur des campagnes de pêche du hareng en Mer du Nord, en se basant sur l'amplitude de la transgression au mois d'août, dans le Golfe de Gascogne. Des constatations effectuées pendant les années suivantes justifiaient pleinement ces notions de prévisibilité.

Le sommet novennal 1930-1931 détermina un début de campagne d'hiver extrêmement médiocre, dont les armateurs, prévenus par nos soins, ne s'étonnèrent pas. Par suite de son ordre de grandeur, les conséquences de ce sommet transgressif furent heureusement moindres que celles du maximum octodécimal de 1921-1922.

Les variations hydrologiques ont naturellement une influence considérable sur la ponte des harengs, aussi trouve-t-on de grandes différences dans l'abondance relative de certaines classes annuelles. Nous avons mis en évidence l'importance de la méthode des statistiques biologiques pour déterminer la composition du stock de poisson suivant les principes établis par Hjort.

La sardine. — La biologie de la sardine est loin d'être encore bien connue, malgré les nombreuses études dont elle a été l'objet. On doit mentionner parmi celles-ci les travaux de L. Fage qui, le premier, a appliqué à la sardine les méthodes techniques modernes.

On peut distinguer plusieurs races, caractérisées par leurs moyennes vertébrales et leurs modes de croissance.

1° *La race atlantique méridionale*, qui habite la baie d'Espagne et la côte portugaise ; elle est caractérisée par une moyenne vertébrale voisine de 51,31. Sa croissance est rapide au début, puis se ralentit ; les individus de six ans arrivent à mesurer plus de 19 centimètres. La ponte se produit à la fin de l'hiver.

2° *La race du Golfe de Gascogne, ou race cantabrique.* — On la rencontre sur la côte Nord d'Espagne et dans le Golfe de Gascogne. Sa moyenne vertébrale est de 51,76. Vers six ans, les sardines de cette population atteignent 21 centimètres. La ponte a lieu au printemps, particulièrement vers mai et juin.

3° *La race de la Manche, ou population celtique.* — Elle occupe la mer Celtique, la Manche et le Sud de la Mer du Nord. Sa moyenne vertébrale est de 52,25. Les sardines de cette population ont une croissance lente au début, mais très régulière. Vers six ans, les poissons atteignent 22 et 23 centimètres. La période de ponte est fort longue avec un maximum vers juin.

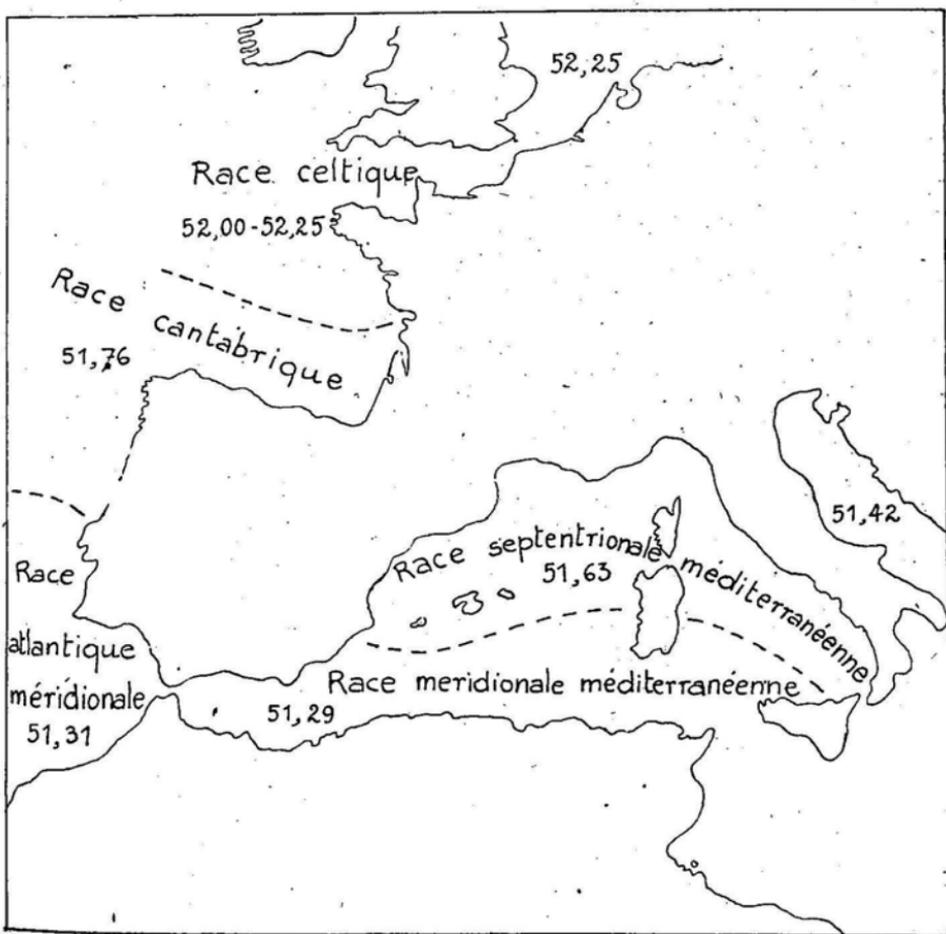


Fig. 51. — Races de sardines.

On voit que dans ces différentes races, la moyenne vertébrale croît, avec la latitude, conformément à la règle générale. La croissance est plus rapide chez les femelles que chez les mâles. La population de sardines qui habite la côte Sud de Bretagne se rattache à la race de la Manche, avec une moyenne vertébrale variant de 52,00 à 52,25. Suivant les années, la délimitation entre les populations celtique et cantabrique est susceptible de très grandes variations. C'est ainsi qu'en 1934, la race cantabrique remonta largement au nord de la Loire.

On peut signaler, dans l'Atlantique Nord, une population spéciale, vivant près des Açores, avec une formule vertébrale de 51,95, qui semble la rapprocher de la population de la Manche.

Dans la Méditerranée occidentale, Fage a pu distinguer deux races très nettes, l'une septentrionale, l'autre méridionale. La première habite les côtes de France et d'Italie, et sa formule vertébrale est de 51,63. L'autre race habite les côtes d'Algérie et du Sud de la Péninsule ibérique, avec une formule vertébrale de 51,29.

Ainsi la population méditerranéenne septentrionale semble voisine de la population cantabrique, tandis que la population méridionale a les caractères de celle de l'Atlantique. Les sardines méditerranéennes pondent en hiver.

Les lieux de ponte des sardines sont mal connus ; on peut cependant signaler des frayères au voisinage de Plymouth, en Manche occidentale, et dans le Golfe de Gascogne, au large de la côte du Finistère et près du plateau de Rochebonne.

Les grandes sardines adultes, connues sous le nom de sardines de dérive (Célans de Boulogne, et Pilchards des Anglais), se concentrent dans des eaux de caractère atlantique, ayant une salinité supérieure à 35 0/00, et il semble probable que la période de ponte est déterminée par l'époque à laquelle les eaux transgressives pénètrent sur la frayère. C'est ainsi que dans ces dernières années, et notamment en 1936, des

sardines, dans un état sexuel très avancé, ont été pêchées à proximité de la côte Sud de Bretagne, au mois de février, et cette maturité précoce correspondait à une avance d'eaux atlantiques.

D'une façon générale, on peut croire que les sardines se rapprochent de la côte pour pondre, et peut-être faut-il voir dans ce phénomène une survivance anadromique, mais elle est beaucoup moins marquée que chez la majorité des Clupéidés.

Les immatures, qui sont des sardines habituellement employées pour la conserve, envahissent les eaux continentales vers la fin du printemps ou au début de l'été ; la date de leur apparition étant le plus souvent plus tardive au fur et à mesure qu'on remonte vers le Nord. On trouve pendant l'hiver les immatures de la race cantabrique, aux environs de Saint-Jean-de-Luz et de Santander. Cette approche des jeunes sardines vers la côte semble assez comparable au déplacement des alevins de Pleuronectes, et il est probable que ces jeunes poissons recherchent la lumière et la chaleur. Les sardines adultes qui viennent de pondre, au cours de leur migration de dispersion, s'avancent aussi fréquemment dans les eaux continentales.

Il est donc assez difficile de définir l'habitat exact de la sardine. Sa distribution géographique et particulièrement sa présence en Méditerranée, semble lui assigner pour domaine des eaux de haute salure : 36 et 37 0/00 pour les races méditerranéennes et de l'Atlantique méridional ; 35,5 0/00 pour la population cantabrique ; 35 0/00 pour la population celtique. Mais pour ces deux populations, cet habitat hydrologique ne semble avoir de valeur qu'au moment de la ponte.

*
**

Les déplacements des poissons migrateurs et saisonniers sont

donc étroitement liés aux conditions hydrologiques et, par conséquent, aux mouvements transgressifs. La famille des Thonnidés comprend essentiellement des poissons des eaux atlantiques. On peut rapprocher du thon rouge, du point de vue biologique, l'espadon, dont l'aire de distribution s'étend de l'Équateur aux mers polaires.

Parmi les poissons saisonniers, les Scombridés sont aussi des poissons transgressifs. Dans la famille de Clupéidés, les conditions biologiques sont plus variables et plus complexes, du fait de caractères anadromiques persistants. De même que le hareng, le sprat est un poisson des eaux continentales.

L'anchois, comme la sardine, est un poisson de la zone côtière. Il comprend une race atlantique, avec deux populations, l'une dans la Mer du Nord, l'autre dans le Golfe de Gascogne, et une race méditerranéenne, avec deux populations, orientale et occidentale. La ponte est régie, aussi bien en Méditerranée qu'en Atlantique, par une température optimale de $+17^{\circ}$. Cette exigence limite la zone de ponte de l'anchois de la Mer du Nord au Golfe de Zuyderzée, et la fermeture récente de ce golfe a amené de graves perturbations dans la biologie de l'anchois septentrional. De plus, les lieux de ponte sont placés dans des zones de faible salure, même en Méditerranée (Fage).

On peut inclure dans les poissons saisonniers ayant pour habitat les eaux transgressives, certains poissons appartenant à d'autres familles, et notamment le Balaou (*Scombresox saurus*), le Tassergal ou Blue Fish (*Temnodon saltator*), la Castagnole (*Brama Raii*) dont la distribution s'étend aux deux côtés de l'Atlantique. Enfin, dans les années de forte amplitude transgressive, on voit se rapprocher des côtes de l'Ancien et du Nouveau Continent les formes étranges de certains Plectognathes, comme les Poissons lunes (*Orthogoriscus Mola*) et les Balistes (*Balistes capriscus*).

B. — *Poissons de fond.*

La morue. — La famille des Gadidés appartient entièrement, par son habitat, au groupe des poissons des eaux d'origine polaire. Certaines formes, comme la lote, de type archaïque, persistent dans les eaux douces de l'hémisphère boréal ; d'autres types, comme l'ogak, la saïda, la navaga, fréquentent les eaux polaires de faible profondeur ; dans la zone tempérée, le merlan, le tacaud, le lieu, ont la même biologie dans des eaux plus chaudes. La morue, l'églefin, le colin ou lieu noir, la lingue ou julienne, habitent normalement le plateau continental nord-atlantique, où ils constituent pour la pêche une richesse inappréciable.

La famille des Gades a fourni des formes profondes, qu'on retrouve dans les eaux abyssales, d'origine arctique, mais toutes les espèces restent strictement cantonnées dans les eaux froides, et il faut aller rechercher la source ethnique vers l'Océan boréal.

La morue, en aucun cas, ne fréquente les eaux transgressives, et partout où ces eaux empiètent sur le plateau continental, elle disparaît. Les caractéristiques de sa pêche sont donc étroitement liées aux variations d'amplitude de la transgression. L'ichthyométrie des races locales de morues obéit, dans ses variations à la latitude et à la température. En 1930, Johs. Schmidt a précisé les caractères des populations diverses, en se basant sur leur nombre de vertèbres et sur le nombre de rayons de la seconde nageoire dorsale. On peut distinguer quatre races :

a) *La race américaine*, qui vit tout autour de Terre-Neuve, dans les eaux du courant du Labrador et qui fréquente l'entrée du Saint-Laurent, les Bancs de Nouvelle-Écosse et la côte du Labrador. Sa formule vertébrale varie de 54 à 55,46.

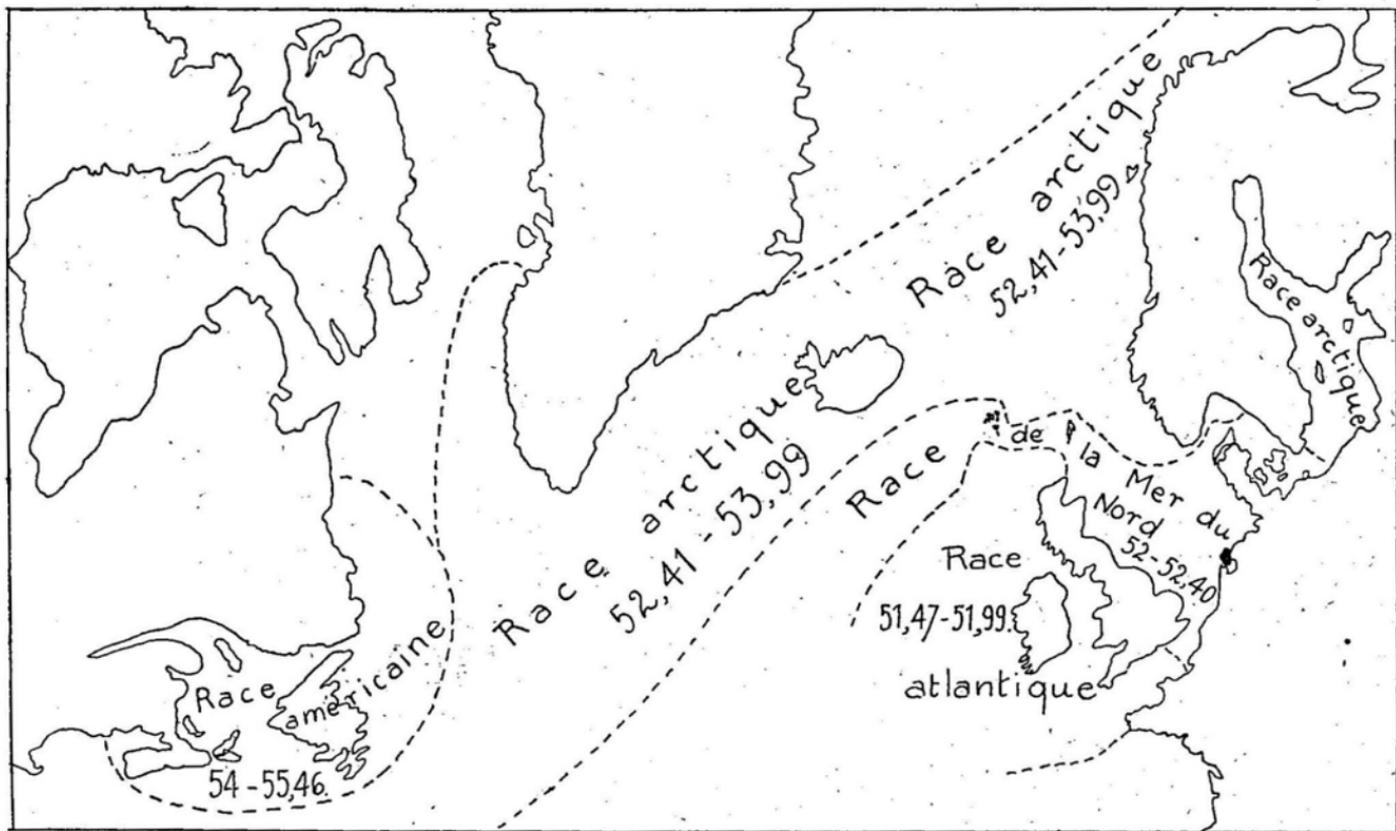


Fig. 52. — Races de morues.

b) *La race arctique*, ayant une distribution géographique extrêmement étendue, puisqu'elle règne du Cap Cod au Nord de la Norvège, et domine sur les Bancs de Terre-Neuve, tout autour du Groënland, de l'Islande, le long des côtes de Norvège et en Baltique. Sa formule vertébrale varie de 52,41 à 53,99.

c) *La race de la Mer du Nord*, qui occupe cette mer mais déborde vers l'Atlantique sur le seuil Wyville-Thomson et à l'ouest des Feroë. Elle se retrouve jusqu'en Manche orientale ; cette race a pour formule vertébrale 52,00 — 52,40.

d) *La race atlantique*. Cette population représente la dernière extension du domaine géographique de la morue vers les eaux chaudes et est constituée par un stock assez restreint, qui peuple le plateau continental atlantique, à l'ouest des Iles Britanniques et jusqu'en Manche occidentale.

Du point de vue thermique, la race américaine recherche les eaux voisines de 0° ; la race arctique préfère les températures voisines de +4°. On peut placer autour de +7° l'optimum thermique de la race de la mer du Nord. La race atlantique se déplace habituellement dans les eaux autour de +9°. La température +14°, caractéristique, sur la côte européenne, de l'avance des eaux transgressives, constitue, pour les morues, une barrière infranchissable. Ce n'est guère, du reste, qu'en hiver et au début du printemps, qu'on rencontre sur le plateau continental de la mer Celtique les morues de la race atlantique. Les premiers symptômes transgressifs la refoulent rapidement dans les eaux continentales britanniques.

Les morues de cette race atlantique n'atteignent jamais ni la longueur ni la longévité des morues des autres races, et en particulier celles des races américaines et arctiques.

C'est du côté du banc de Terre-Neuve, dans la région où sont représentées les deux populations principales de morues qu'on doit essayer de retrouver les phénomènes fondamentaux de la biologie de ce poisson.

Nous avons insisté dans la description hydrologique des bancs de Terre-Neuve sur le contraste horizontal qui s'établit sur ces bancs, vers 35 mètres de profondeur, entre les eaux de surface et les eaux profondes. Le réchauffement superficiel, ainsi que nous l'avons indiqué, n'est pas dû à une invasion des eaux atlantiques sur les bancs, mais à un réchauffement *in situ*, des eaux continentales de faible salure, au contact de l'approche des eaux transgressives. Ce contact est variable suivant les années et entièrement soumis à l'importance relative du « bourrelet froid ». Ce bourrelet est constitué par la troisième branche de la division du courant du Labrador, et suit fidèlement les accores orientaux du Banc de Terre-Neuve. En été, dans une année moyenne, le bourrelet froid ceinture le Banc vers l'Est, en formant un trottoir surélevé et permanent qui empêche toute liaison entre les eaux atlantiques et les eaux propres du Banc, dans la profondeur ; en surface, il y a réchauffement intense et le contraste thermique s'établit, amenant vers 35 mètres des variations parfois supérieure à dix ou douze degrés.

Cette disposition est particulièrement favorable à la pêche. Sur les fonds s'opèrent, en effet, les migrations de concentration de la morue, à des températures voisines de $+2^{\circ}$ à $+4^{\circ}$. Quand la ponte est finie, presque sans se déplacer, la morue trouve sa proie préférée, l'encornet, qui vit dans les eaux chaudes : il suffit que d'un bond elle franchisse momentanément la thermocline de 35 mètres, pour attraper un encornet et venir le digérer dans les eaux froides. Ces années moyennes caractérisent les bonnes pêches estivales sur le Banc de Terre-Neuve.

Dans les années très froides, quand l'influx du courant du Labrador est intense, le bourrelet froid remonte presque jusqu'à la surface et l'encornet n'atteint pas les couches superficielles des Bancs. Sur le fond règnent de très basses températures voisines de 0° et la morue reste cantonnée sur les

accores, dans les eaux à $+4^{\circ}$ qui entourent le banc dans la profondeur.

En milieu de saison, du côté du fjord de la Baleine, s'introduit par le fond un diverticule des eaux à $+4^{\circ}$, remontant vers le Nord-Est. La morue s'y localise et, à défaut d'encornets, se nourrit de bulots (*Buccinum undatum*). La position du poisson aux accores permet aux chalutiers une pêche satisfaisante, mais pour les voiliers la saison est presque nulle, sauf dans la zone envahie par les eaux à $+4^{\circ}$.

Dans les années chaudes, qui correspondent à la fois à un faible influx du courant du Labrador et à une forte amplitude des eaux transgressives, la barrière du bourrelet froid s'amenuise rapidement et les eaux du banc se réchauffent dans leur totalité au contact des eaux atlantiques. La morue reste dans les profondeurs au sein des eaux à $+4^{\circ}$ et la campagne de pêche est déficitaire.

Dès 1922 et 1923, lors de mes premières croisières à Terre-Neuve, j'avais signalé ces variations fondamentales de la biologie de la morue. Les missions régulières du commandant Beaugé ont confirmé, année par année, ces principes essentiels ; aussi pour éviter des crises dans l'industrie morutière, avons-nous recherché la possibilité d'orienter vers d'autres fonds de pêche la flottille française pendant les années où la périodicité transgressive par son amplitude rend inhabitables, pour la morue, les hauts fonds des bancs de Terre-Neuve. C'est vers la côte occidentale du Groënland que nous avons dirigé les chalutiers dans les années chaudes improductives, et Beaugé se fit un devoir d'accompagner vers les hautes latitudes les premiers chalutiers qui tentèrent la pêche dans ces régions. Les capitaines de bonne volonté qui suivirent ses conseils firent une pêche fructueuse, alors que ceux demeurés sur les Bancs ne purent charger les cales de leurs navires. Depuis lors, l'alternance prévue de l'exploitation des fonds du Groënland ou des Bancs de Terre-Neuve a fait disparaître

toute possibilité de crises dans la pêche à la morue. L'expérience de nombreuses années démontre, de façon péremptoire que, pour la morue, il n'y a pas d'habitat géographique défini, mais seulement un habitat hydrologique.

Le merlu. — Le merlu, appelé à tort colin sur le marché de Paris, est extrêmement voisin de la famille des Gadidés, et il est probable que la tribu des Merlucciidés provient d'une évolution de certaines formes abyssales des Gades ; mais le merlu a perdu le caractère boréal des poissons de cette famille ; bien au contraire, il appartient à la faune des eaux transgressives ; toutefois, de son origine bathypélagique, il a gardé une prédilection pour les eaux profondes, et ses déplacements ne sont pas régis par les variations thermiques des transgressions superficielles, mais par les mouvements des transgressions salées, qui progressent sur les fonds du plateau continental.

Ces déplacements sont d'assez faible amplitude, ainsi que la détermination de populations nettement localisées a pu le mettre en évidence. On peut distinguer trois races principales dans le merlu européen :

a) *La race méridionale*, habitant au large de la péninsule ibérique, du Maroc et s'étendant jusqu'à la Mauritanie. Sa moyenne vertébrale est de 50,48. Le merlu méditerranéen semble devoir être rattaché à cette population.

b) *La race du Golfe de Gascogne*. La moyenne vertébrale varie de 50,66 à 50,80. Cette race comprend plusieurs populations distinctes ayant leurs domaines respectifs le long du plateau continental.

c) *La race celtique*, qui occupe la mer Celtique et l'ouest de l'Irlande. Sa formule vertébrale oscille entre 51,11 et 51,15. C'est à la population celtique que sont apparentés les merlus de l'Écosse et de la Mer du Nord.

L'habitat normal du merlu adulte peut être localisé au bord

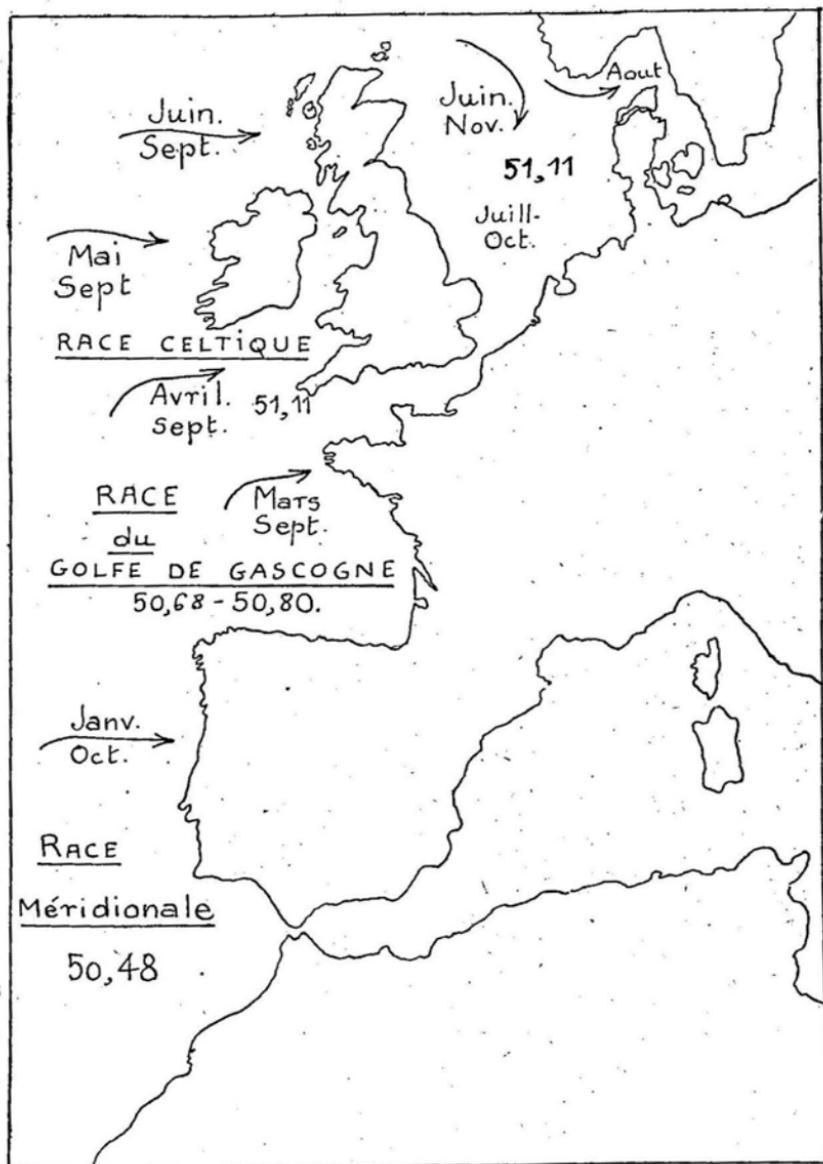


Fig. 53. — Races et migrations du merlu.

du plateau continental, par des fonds variant entre 150 et 200 mètres. Au moment des migrations de ponte et de concentration, les merlus s'avancent sur le plateau et se groupent en des endroits restreints, nettement localisés. Parmi les principaux lieux de ponte on peut citer les régions placées au large d'Arcachon, au sud-ouest de Penmarc'h et le banc de la Grande Sole.

Les atterrissages du merlu sur le plateau continental s'effectuent au cours de l'année, successivement du Sud au Nord, et correspondent exactement aux avances des transgressions salées. Dans la région ibérique, les mouvements sont très peu marqués, par suite de la présence constante des eaux salées transgressives. Il en est de même au large d'Arcachon, par suite de l'existence de la nappe salée permanente. Plus au Nord, c'est surtout vers avril et mai que les merlus atterrissent au large de la côte sud de Bretagne. Les maxima en mer Celtique se placent vers juin. La race septentrionale, à partir de juillet, effectue, sans doute au moment de sa migration de dispersion, un déplacement d'assez large amplitude ; les merlus se montrent en juillet en abondance à l'ouest de l'Irlande, sur le banc du Porcupine. On les trouve, en août et septembre, au large des Hébrides. La population de la Mer du Nord semble gagner les hauts fonds à partir de juin, par le chenal qui sépare les Orcades des Shetlands. Elle suit l'avance transgressive pendant l'été et son maximum d'extension vers le Sud se place en octobre. A partir de ce moment, s'effectue une régression rapide vers les eaux profondes du Nord, au delà du Dogger Bank et des Fladen.

Il existe, d'autre part, une population à peu près sédentaire à l'entrée du Skager-rak et qui occupe les profondeurs du chenal de Norvège.

Dans ces dernières années, le merlu a été spécialement étudié par G. Belloc et Hickling. La croissance des différentes races locales est maintenant assez bien connue ; on a retrouvé,

comme caractéristique de cette croissance, les règles fondamentales : précocité des races méridionales, augmentation de taille régulière et prolongée dans les races septentrionales. La longévité du merlu ne semble pas excéder quinze années et jusqu'à leur dixième année, la croissance annuelle varie autour de dix centimètres. La maturité sexuelle est tardive ; elle se manifeste chez les mâles ayant atteint 40 centimètres et chez les femelles seulement quand elles ont dépassé 52 centimètres.

Après la ponte en profondeur, les œufs pélagiques remontent vers la surface, et les alevins, entraînés par les transgressions superficielles, s'approchent des côtes. Quand ils ont atteint une taille de 12 centimètres, ils s'enfoncent et fréquentent les fonds de 0 à 80 mètres ; un peu plus tard, à 19 centimètres, ils peuplent les profondeurs de 100 à 120 mètres ; vers 21 centimètres on les trouve au delà de 150 mètres de fond. Les gros merlus s'enfoncent de plus en plus profondément, au cours de leur existence ; c'est dans les bancs coralliens, vers 250 mètres de profondeur, qu'on peut encore trouver les grands reproducteurs dépassant 1 m. 10.

Chaque année, quand la transgression salée profonde avance sur le plateau continental, les merlus, petits et grands, remontent à des profondeurs moindres, mais les individus de forte taille ne franchissent guère l'isobathe 150. Les jeunes merlus pénètrent en Manche occidentale, venant de l'Ouest, et en Manche orientale venant du Nord, mais il n'y a pas liaison entre les deux populations et le creusement de la Manche ne joue aucun rôle dans les déplacements du merlu.

Les races de merlus de la Méditerranée et du Skagerrak ont une croissance moindre et des déplacements presque nuls. Il existe une variété naine à l'embouchure du Tage.

La distribution du genre *Merlucius* dans l'Atlantique, comprend trois espèces, dont deux boréales : le *Merlucius merlucius*, sur la côte d'Europe, le *Merlucius bilinearis*, sur la côte américaine, et la troisième australe, le *Merlucius capensis*,

sur la côte africaine. On ne connaissait pas de merlu équatorial jusqu'à 1936 ; cependant le *Talisman* avait pêché un exemplaire du merlu d'Europe, par 600 mètres de profondeur, au large de la Mauritanie. La croisière sur la côte d'Afrique du *Président Théodore Tissier* a permis à G. Belloc de trouver dans les eaux du Sénégal un nouveau merlu, par des fonds supérieurs à 200 mètres. Ce poisson est, en tous points, comparable au merlu d'Europe, mais sa formule vertébrale, voisine de 52, est supérieure à celle de la race méridionale du Maroc ; il est donc probable que c'est une autre espèce qui habite ces parages et établit en profondeur, conformément aux règles de l'habitat hydrologique, la liaison, sous l'Équateur, entre le merlu d'Europe et le merlu du Cap.

*
**

Parmi les poissons de fond, la morue et le merlu peuvent être pris comme types des espèces qui fréquentent, soit les eaux continentales et polaires, soit les eaux transgressives. L'ensemble de la famille des Gadidés a une biologie comparable à celle de la morue ; c'est le cas de l'églefin, — ainsi que l'ont démontré les travaux de Harold Thomson — et du lieu noir ou colin. Dans ces dernières années, les recherches de P. Desbrosses sur le rouget-barbet, la dorade, le Saint-Pierre, ont mis en évidence que la biologie de ces espèces est directement influencée par les transgressions. Toute la famille des Sparidés a son habitat dans les eaux atlantiques et les règles auxquelles obéissent les déplacements des diverses espèces de cette famille se rapprochent de celles qui régissent la biologie du merlu.

C. — Poissons anadromes et catadromes.

Le saumon. — Le saumon, le plus important des poissons anadromes du littoral européen, est directement influencé,

dans sa migration marine, par la salure des eaux et le relief sous-marin. Après la ponte, il quitte les eaux douces et descend vers la mer, mais il n'erre point au hasard et il continue à suivre le lit sous-marin du fleuve sur le plateau continental. La plupart du temps, le thalweg immergé appartient à un bassin fluvial géologique de grande étendue et dont le fleuve d'où est sorti le saumon n'est qu'un tributaire. Le poisson s'enfonçant de plus en plus profondément, descend dans le cours du fleuve principal jusqu'à l'endroit où, en bordure du plateau continental, le vieux cours d'eau avait son embouchure et où son cône de déjection se confond avec la ligne des vases. Toutes les captures de saumons effectuées par les chalutiers dans les eaux profondes, peuvent être localisées aux emplacements des estuaires et des deltas des fleuves disparus ; c'est là que le saumon passe sa vie marine et se nourrit abondamment. Ensuite il doit chercher à nouveau les eaux douces pour pondre. Dans sa remontée, il est guidé par la ligne de plus grande pente de son thalweg, et la plupart du temps il retrouve la vallée submergée du fleuve dont il est originaire. La fidélité du saumon au cours d'eau natal, observée par tant de pêcheurs, s'explique ainsi très facilement. Le saumon, en effet, n'a aucune peine à retrouver la vallée du fleuve puisqu'en fait il n'en est jamais sorti. Il arrive toutefois, et des expériences de marquage l'ont prouvé, que les saumons ne remontent pas toujours dans la même rivière ; mais le nouveau cours d'eau qu'ils ont adopté appartient au même bassin géologique que celui du premier fleuve où ils avaient vécu, et ils se sont bornés à changer d'affluent.

En plus du relief la salure des eaux joue un rôle utile pour guider les poissons dans leur voyage de retour. Nous avons signalé, en effet, que c'est par les thalwegs submergés que descendent, au moment de la régression vers le bord du plateau continental, les eaux froides et de faible salure. Le phénomène devient plus net à l'approche des côtes et le saumon

perçoit, à quelques milles du rivage, cet « appel des eaux douces » décrit par le professeur Roule. Il est plus probable que le début de la remontée a pour cause initiale l'entrée, à l'embouchure du thalweg immergé, de la première nappe salée profonde des eaux transgressives au printemps. L'exemple du saumon montre la liaison directe qui unit les phénomènes d'anadromie aux mouvements de régression et de transgression des eaux atlantiques.

L'anguille. — La reproduction des Anguillidés fut longtemps un mystère qui passionna le public et les biologistes, jusqu'au jour où Delage montra que le petit animal décrit comme une espèce distincte sous le nom de leptocéphale, était la larve du congre. On identifia ensuite rapidement le leptocéphale de l'anguille d'eau douce, grâce aux travaux de l'Italien Grassi. Ce sont les remarquables découvertes du biologiste danois Johs. Schmidt, effectuées au cours des croisières du navire *Dana*, qui ont mis en lumière l'extraordinaire voyage nuptial des anguilles, à partir des côtes d'Europe et d'Amérique, vers la mer des Sargasses. Le même savant put étudier le départ des leptocéphales à partir du lieu de ponte vers les côtes lointaines de l'ancien continent et montrer que le voyage entre la mer des Sargasses et les rivières d'Europe durait environ quatre années. Schmidt constata, en effet, que, suivant leur taille, les leptocéphales occupaient dans l'Atlantique des zones concentriques, de plus en plus éloignées de la mer des Sargasses, à mesure que ces larves devenaient plus grandes.

Au bout de la première année, les leptocéphales de la première zone mesurent environ 15 millimètres ; dans la seconde zone, ils atteignent 25 millimètres, puis 45 millimètres dans la troisième zone ; enfin, dans la dernière, à proximité des côtes européennes et africaines, leur taille est de 75 millimètres ; c'est à ce stade qu'ils changent de forme, se raccour-

cissent et s'arrondissent, et deviennent les civelles ou pibales qui pénètrent en eau douce.

Le déplacement des leptocéphales de l'anguille d'Europe représente donc un transport planktonique d'une durée supé-

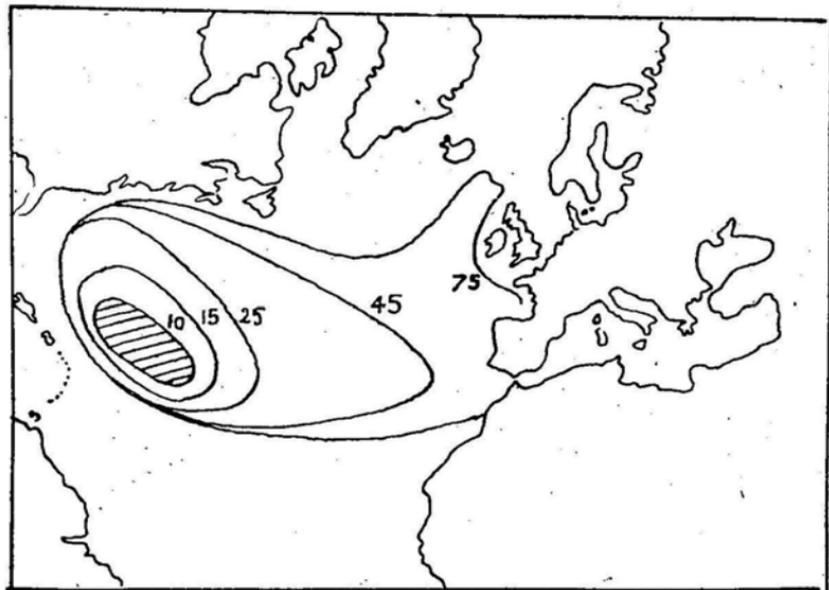


Fig. 54. — Migrations des leptocéphales (Schmidt).

rieure à quatre années, et ce mouvement est absolument inexplicable si l'on ne fait pas appel aux phénomènes transgressifs. La répartition des larves montre, en effet, que les zones concentriques où on les rencontre suivant leur âge et leur taille, ne correspondent nullement aux trajets des courants marins et même, dans certaines régions, elles progressent en sens inverse de ces courants ; il faut donc que ce soit l'ensemble de la masse océanique qui contient les leptocéphales qui subisse un déplacement, pour les transporter dans son

sein, de la mer des Sargasses vers l'Europe et l'Afrique. Les leptocéphales sont charriés par les eaux transgressives. Ils peuvent être considérés comme des détecteurs biologiques qui seraient susceptibles de fournir une indication sur la durée de déplacement des couches d'eaux équatoriales. Celles-ci progresseraient donc vers l'Atlantique oriental, à la manière d'ondes de propagation qui, parties de la mer des Sargasses, mettraient plus de quatre ans à atteindre l'ancien continent. Il est intéressant de noter à ce sujet que la valeur 4 ans $1/2$ fait partie du rythme périodique des phénomènes transgressifs. Le voyage des leptocéphales à travers l'Atlantique serait donc, non seulement dû aux mouvements des eaux transgressives, mais, de plus, influencé par les variations d'amplitude des transgressions elles-mêmes.

*
**

Il est impossible, dans un cadre restreint, d'exposer complètement les conséquences biologiques des transgressions océaniques, et nous avons dû nous borner à citer les exemples les plus typiques mettant en valeur les applications directes et pratiques de ces phénomènes hydrologiques. Ceux-ci ont certainement des conséquences non moins importantes dans d'autres domaines, et notamment en météorologie : il y a là, pour l'avenir, un vaste champ de découvertes, et je suis persuadé que la théorie des transgressions sera utile à d'autres chercheurs dans leurs études et leurs travaux.

FIN

INDEX
ALPHABÉTIQUE DES PERSONNALITÉS,
NAVIRES ET INSTITUTIONS

- A**
Aegy, 34.
Agassiz (Alexandre), 21.
Agassiz (Louis), 21.
Ailette, 39.
Aimé, 135.
Albacora, 34.
Albatross, 21, 22, 33, 216.
Albert I^{er}, Pce de Monaco, 22, 30, 32, 44, 182, 244.
Alberti (L. B.), 16.
Alexandrie (laboratoire), 35.
Alger (laboratoire), 35.
Ameghino, 70.
Ampère, 102.
Amundsen (R.), 26.
Andersen, 258.
Antarctic, 16.
Antipa (G.), 108, 198.
Apstein (C.), 245.
Archer (W.), 28.
Arctic, 19.
Arctic Institute, 34.
Arcy W. Thompson (Sir d'), 27, 163.
Ardent, 39.
Armauer Hansen, 34.
Astrolabe, 25.
Atlantis, 35, 38, 184.
Audouin (J. V.), 18.
Balboa (Nunez de), 53.
Banyuls-sur-mer (laboratoire), 33.
Beaugé (L.), 216, 217, 273.
Beautemps-Beaupré (Am^l), 43.
Behaim (Martin), 16.
Belgica, 26.
Bellingshausen (Am^l), 25.
Belloc (G.), 191, 200, 243, 251, 276, 278.
Bergen (Institut de), 33.
Berget (A.), 132.
Bertrand (Gabriel), 130.
Biarritz (laboratoire), 32.
Bigelow (H. B.), 31.

- Bjærknes, 138.
 Blake, 21, 22.
 Bosphore (laboratoire du), 35.
 Boulogne-sur-mer (laboratoire), 32.
 Bouvet (Lozier de), 25.
 Bowmann (A.), 263.
 Brennecke, 137.
 Brooke (J. W.), 19, 43.
 Bruce (W. S.), 26.
 Buache (Phil.), 44.
 Buccaneer, 22.
 Buchanan (J. Y.), 21, 22, 132, 133.
 Bückmann (A.), 239.
 Buen (R. de), 130, 132, 194.
 Bureau hydrographique international, 31.

 Caó (Diego), 16.
 Carlsberg (Société), 33.
 Carnegie, 132, 137.
 Carpenter (W. B.), 20, 21, 137.
 Cassiopée, 39, 217.
 Castiglione (laboratoire), 35.
 Challenger, 21, 129.
 Charcot (Commandant J.-B.), 26, 37, 84.
 Chun (C.), 23.
 Cleve (P.-T.), 151.
 Colomb (Christophe), 16.
 Comité thalassographique italien, 34.
 Commission internationale pour l'exploration scientifique de la Mer Méditerranée, 30, 130.
 Concarneau (laboratoire), 33.
 Conseil Ibéro-Américain, 32.
 Conseil International des Recherches sur les pêcheries de l'Amérique du Nord, 31.
 Conseil International pour l'exploration de la Mer, 27, 28, 29, 152, 164.
 Cook (Capt James), 15, 18, 25.

 Cosa (Juan de la), 16.
 Cusanus (Nicolaus), 16.
 Cyclops, 20.

Dacia, 22.
 Dana, 33, 37, 137, 280.
 Dana II, 33.
 Dangeard (L.), 84, 86.
 Defant (A.), 140, 141.
 Delage (Y.), 280.
 Derancourt (Commandant), 101.
 Desbrosses (P.), 278.
 Deutsche Seewarte, 33.
 Deutsches Meeresforschung-Kommision, 33.
 Deutschland, 26.
 Discovery, 26.
 Discovery II, 38, 121, 243.
 Dobson. (A. T. A.), 28.
 Dodd, 238.
 Dolphin, 19.
 Donati (V.), 18.
 Drechsel (Commandant), 27.
 Drygalski (E. Von), 26.
 Dumont d'Urville (Am^l), 25.

Edi, 23.
 Ehrenbaum (E.), 239.
 Eider, 34.
 Ekman (G.) 133, 134, 151.
 Entreprise, 22.
 Erebus, 25.
 Erik le Rouge, 14.
 Eriksen (David), 14.
 Explorer, 33.

Fage (L.), 264, 266, 268.
 Fischer, 70.
 Florisson, 44.
 Folger, 181.
 Forbes (Edw.), 19.
 Forster (J.-R.), 18.

- Fram, 24, 143.
 Français, 26.
 Franklin (B.), 181.
 Franklin (Sir John), 24.

Gargstang (W.), 27.
 Gauss, 26.
 Gazelle, 21.
 George Bligh, 33, 243.
 Gerlache (*Commandant de*), 26.
 Germain (L.), 70.
 Gettysburg, 21.
 Gilson (A.), 28.
 Giral (J.), 130.
 Goringe (*Cptn*), 21.
 Grassi (G.-B.), 280.
 Gregory, 70.
 Gunz, 172.

Häiffa (*Laboratoire*), 33.
 Hambourg (*laboratoire*), 33.
 Hamman, 28.
 Hannon, 14.
 Hardy, 261.
 Heincke (F.) 239, 238.
 Heinrich (C.) 28.
 Heldt (H.), 243, 232, 239.
 Helga, 33.
 Helgoland (*Laboratoire*), 33.
 Helland Hansen (B.) 133, 142, 194.
 Hensen (V.) 23, 245.
 Herdmann, 133.
 Herodote, 13, 32.
 Herwig, 27, 28.
 Hickling, 276.
 Hilgard, 132.
 Ilmilcon, 14.
 Hirondelle, 23.
 Hirondelle II, 23.
 Hjort (*Johan*), 27, 28, 36, 143, 154,
 216, 239, 241, 264.
 Hoek (P. P. C.), 27.

Holt (E. W. L.), 84.
 Hooke (*Robert*), 16.
 Huntsman (A.-G.), 31.
 Huxley (T.-H.), 20.

Ibis, 39.
 Ice patrol Service, 35, 216.
 Idrac, 134.
 Ihering (H. von), 70, 72.
 Ingolf, 23.
 Institut cherifien, 33.
 Institut météorologique danois, 173.
 Institut océanographique, 30, 32.
 Irving (*Dr*), 18.
 Iselin (G.), 39, 184.

Jason, 13.
 Jeannette, 24.
 Jenkin (H.-C.), 20.
 Jimenez, 132.
 Joleaud (L.), 70.
 Joubin (L.), 22, 152

Kelvin (*Lord*), 21, 44, 133.
 Kiel (*Laboratoire*), 33.
 Kircher (*athanasius*), 16, 53.
 Kishinouye (K), 247.
 Knight Errant, 22.
 Knipovitch (N.), 27.
 Knudsen (M.), 23, 27, 28, 130, 133.
 Koehler (R.), 22.
 Köppen, 172.
 Krämer (*Gerhardt*), 16.
 Krümmel (O.), 27, 132, 132.

Labbé (A.), 133.
 La Cour, 132.
 Lacroix (A.), 72.
 Lallemand, 163, 166.
 Langevin, 44, 45.
 La Rochelle (*Laboratoire*), 32.
 Latouche Tréville, 39.

- Leblanc*, 21, 44.
Le Gall (J.), 206, 254, 253, 258, 260.
Legendre (R.), 133, 230.
Leger, 244.
Le Helder (laboratoire), 33.
Leif, 14.
Lemoine (P.), 173.
Lénard, 132.
lightning, 20, 137.
Ijungmann, 162, 262.
Lorient (laboratoire), 32.
Lowestoft (laboratoire), 33.
Lucas (F. R.), 44.
Lysekil (laboratoire), 34.
- Magellan*, 16.
Magistrature de l'Eau, 34.
Mahabiss, 35.
Makharoff (Am.), 22.
Malaga (laboratoire), 34.
Marine Biological Association, 33.
Marsigli (de), 18.
Marti (P.), 44.
Martonne (Emm. de), 46, 47.
Maurice (H. G.), 28.
Maury (F.), 19, 43, 181.
Medusa, 22.
Mercator, 16, 53.
Messine (laboratoire), 34.
Meteor, 33, 38, 59, 121, 137, 140, 143.
Michael Sars, 34, 36.
Milankovitch, 172.
Milne Edwards (A.), 18, 22.
Mindel, 172.
Monaco (P^{ce} Albert I^{er} de), 22, 30, 32, 44, 182, 244.
Muirchu, 33.
Mulgrave (Lord), 18.
Murray (sir John), 21, 22, 36, 48.
Musée océanographique de Monaco, 23, 32, 34.
- Nansen (Fridjof)*, 24, 27, 132, 133, 135, 142, 145, 245.
Naples (laboratoire), 34.
National, 23.
Navarro, 132.
Nechao II, 13.
Negretti, 20, 134.
Nielsen, 194.
Nimrod, 26.
Nordenskjöld (O.), 24, 26.
Nordqvist (O.), 27.
Nyborg (laboratoire), 33.
- Office scientifique et technique des Pêches Maritimes*, 32, 37, 152, 183, 200, 217.
Oithona, 33.
Orléans (Duc d'), 26.
Ortelius, 16, 25, 53.
Oscar II (S. M.), 27.
Ostende (Institut maritime), 33.
- Palitzsch*, 133
Palma (laboratoire), 34.
Parry (W. E.), 24.
Perche, 32, 37.
Péron (F.), 18.
Perpillou (A.), 184.
Petersen (C. G. J.), 27, 37, 239, 244, 245.
Pettersson (Otto), 27, 28, 130, 132, 133, 142, 151, 160, 174, 262.
Phipps (Cptn), 18.
Planet, 23.
Phymouth (laboratoire), 33.
Pola, 23.
Ponce de Léon, 181.
Porcupine, 21.
Poseidon, 33.
Pourquoi Pas ?, 26, 37, 84.
Pourtalès (L. F. de), 21.
Prévot (E.), 163, 166.

- Président Théodore Tissier, 32,
 37, 44, 88, 92, 93, 112, 119, 186,
 191, 200, 217, 234, 251, 278.
 Princesse Alice, 23.
 Princesse Alice II, 23.
 Pruvot (G.), 86, 231.
 Ptolémée, 15, 52, 92, 101.
 Puchler (C.), 16.
 Pullen (Cptn), 20.
 Pytheas, 14, 92.
- Quentin Roosevelt, 39.**
- Rallier du Baty (R.), 217*
Ramalho (A.), 195, 196.
Ratray (J.), 22.
Reggiani, 132.
Regulus, 39.
Revel (G^d am^l P. Thaon di), 30.
Ribero (Diégo), 16.
Richard (J.), 22, 23, 30, 133.
Richter (C.), 134.
Ringer, 133.
Riss, 172.
Romanche, 22.
Roscoff laboratoire), 33.
Rose, 28.
Ross (sir James Clarke), 19, 25.
Ross (D^r John), 24.
Roule (L.), 22, 252, 280.
Rovigno (laboratoire), 34.
Russell (E. S.), 263.
- Salammbó (laboratoire), 35.*
Salpa, 33.
Sandström (J. W.), 143, 216.
Sars (G. O.), 19.
Sars (Michaël), 19.
Saussure (H. B. de), 18.
*Schmidt (Johs.), 37, 239, 243, 259,
 280.*
Schmidt (Otto), 34.
- Schöner, 25.*
*Schott (G.), 63, 64, 65, 131, 132,
 142, 143, 157, 177, 196.*
Schulz (B.), 216.
Scoresby (W.), 18.
Scotia, 26
Scott (Captn), 26.
Sella (M.), 252, 253.
Sette, 256.
Shackleton, 26.
Shepard, 118.
Sibiriakov, 34.
Six, 18.
Skagerrak, 34.
Splît (laboratoire), 34.
*St. Andrews (N. B.) (laboratoire),
 35.*
St. Sebastien (laboratoire), 34.
Stephan, 23.
Störensen, 133.
Storrow (D^r), 163.
Stott (V.), 132.
Strabon, 15.
Submarine Signal C^o, 43.
Suess (A.), 62.
- Talisman, 22, 234, 278.**
Tauche, 32, 37, 151, 164, 191, 200.
Tcheliousskine, 34.
Termier (P.), 105, 106.
Terror, 25.
Thomson (Harold), 278.
Thoulet (J.), 22, 132.
Thouty, 45.
Thor, 33, 37, 194.
Tissier (Th.), 28.
Toscanelli, 16.
Travailleur, 22.
Triton, 22.
Trois-Pistoles (laboratoire), 33.
- Ulysse, 13.*

- | | |
|--|---|
| <p><i>Union internationale de Geodesie et de Geophysique</i>, 31.</p> <p>Valdivia, 23, 132.</p> <p><i>Vasco da Gama (Aquario)</i>, 34.</p> <p><i>Vaughan</i>, 70.</p> <p><i>Ville d'Ys</i>, 39, 216.</p> <p><i>Vimereux (laboratoire)</i>, 33.</p> <p><i>Vinci (Leonardo di)</i>, 16.</p> <p><i>Viseu (Henri de)</i>, 13.</p> <p><i>Vitiaz</i>, 22.</p> <p><i>Vittor Pisani</i>, 22.</p> <p><i>Volterra (V.)</i>, 30.</p> <p><i>Vöringen</i>, 22.</p> <p><i>Walvisch Bay (laboratoire)</i>, 35.</p> | <p><i>Washington</i>, 22.</p> <p><i>Weddell (Cptn.)</i>, 23.</p> <p><i>Wegener</i>, 62, 63, 64, 65, 66, 172.</p> <p><i>Wiese</i>, 216.</p> <p><i>Wood's-Hole (laboratoire)</i>, 35.</p> <p><i>Wurm</i>, 172.</p> <p><i>Wüst (G.)</i>, 38, 59, 121, 140, 141, 143, 147.</p> <p><i>Wyville-Thomson (sir)</i>, 20, 21, 22, 137.</p> <p>Xauen, 34.</p> <p><i>Zambra</i>, 20, 134.</p> <p><i>Zélée</i>, 25.</p> |
|--|---|

NOTE DE L'AUTEUR

Nous adressons nos remerciements à M. le Professeur Gerhardt SCHOTT et au Docteur A. BUCKMANN, qui ont bien voulu nous permettre de publier quelques figures extraites de leurs ouvrages « *Geographie des Atlantischen Ozeans* » et « *Die Methodik fischereibiologischer Untersuchungen an Meeresfischen* », ainsi qu'aux maisons d'édition allemandes G. BOYSEN, de Hambourg, et URBAN et SCHWARZENBERG, de Berlin.

De même nous témoignons notre gratitude à M. le Professeur Emmanuel de MARTONNE et au Docteur RAMALHO, pour les dessins que nous avons empruntés à leurs travaux.

E. L. D

TABLE DES ILLUSTRATIONS

(FIGURES DANS LE TEXTE)

FIGURES

1. — Carte d'Athanasius Kircher (1678).	17
2. — Aspect des plaines pélagiques (d'après Em. de Martonne).	47
3. — Coupe du plateau continental	50
4. — Théorie de Wegener. Epoque carbonifère (d'après Schott).	63
5. — Théorie de Wegener. Epoque jurassique (d'après Schott)	64
6. — Théorie de Wegener. Epoque pliocène (d'après Schott)	65
7. — Vallées glaciaires du bouclier scandinave	80
8. — La mer crétacique dans la région franco-britannique	85
9. — La mer éocène dans la région franco-britannique	87
10. — Carte du plateau franco-britannique (thalwegs)	89
11. — Les anciens rivages de la mer Celtique	91
12. — Faille volcanique des Iles Britanniques	93
13. — Carte de la Fosse de Cap-Breton	97
14. — Thalwegs du Golfe de Gascogne.	99
15. — Bancs et archipels de la région ibéro-africaine	103
16. — Le plissement alpin en Méditerranée	111
17. — L'activité volcanique en Méditerranée occidentale	113
18. — Répartition des salinités de surface dans l'Océan Atlan- tique (d'après Schott).	131
19. — Répartition de l'oxygène (d'après Defant et Wüst)	141
20. — Répartition des eaux atlantiques (d'après Wüst)	147
21. — Rétraction des eaux atlantiques (régression).	153
22. — Extension des eaux atlantiques (transgression).	155
23. — Les variations transgressives australes	156
24. — Axes transgressifs en mer Celtique.	159

FIGURES

25. — Schéma général de la périodicité des transgressions . . .	167
26. — Schéma de la périodicité de 1885 à 1939.	169
27. — Rapport des ondes de 93 et 111 années de période . . .	171
28. — Rythme périodique des glaciations pleistocènes	172
29. — Carte générale des grands courants marins	179
30. — Carte du Gulf-Stream, d'après Franklin	183
31. — Section de l'Atlantique, de Terre-Neuve à l'Europe . . .	187
32. — Salinités de l'Atlantique Nord. 50 mètres	189
33. — Mouvement transgressif au large du Maroc	193
34. — La transgression en baie d'Espagne (d'après Ramalho). .	195
35. — Le lobe transgressif au large de la péninsule ibérique . .	199
36. — Nappe salée permanente du Golfe de Gascogne	201
37. — Entrée de la transgression dans le Golfe de Gascogne . .	202
38. — Développement de la transgression dans le Golfe de Gas- cogne	203
39. — La transgression dans le Golfe de Gascogne et en mer Celtique (1921)	204
40. — La transgression dans le Golfe de Gascogne et en mer Celtique (1935)	205
41. — Transgression en mer Celtique (1934)	207
42. — Mouvement transgressif au nord de l'Ecosse.	211
43. — Transgression en mer du Nord. Type normal	212
44. — Transgression en mer du Nord. Forte transgression . . .	213
45. — Divisions du courant du Labrador dans les eaux de Terre- Neuve.	219
46. — Section des Bancs de Terre-Neuve (1934)	221
47. — Bancs de Terre-Neuve Températures, 50 mètres (1934) . .	223
48. — Bancs de Terre-Neuve. Températures, 10 mètres (1934) . .	225
49. — Schéma des migrations du germon	249
50. — Races de harengs	251
51. — Races de sardines	265
52. — Races de morues	270
53. — Races et migrations du merlu	275
54. — Migrations des leptocephales (Schmidt)	281

LISTE DES PLANCHES

PLANCHES

- I. — Le navire « Président Théodore Tissier » de l'office des Pêches Maritimes.
- II. — Le Massif Équatorial.
- III. — Structure de l'Atlantique Nord.
- IV. — Structure générale de l'Atlantique.
- V. — Les ponts continentaux à la fin du Primaire.
- VI. — Les ponts continentaux à la fin du Secondaire.
- VII. — Parallélisme des chaînes medio-atlantique et américaine.
- VIII. — Structure topographique de la mer du Nord.
- IX. — Les Bancs de la Nouvelle-Ecosse.
- X. — Les Bancs de Terre-Neuve.
- XI. — La mer des Antilles.
- XII. — La mer des Antilles du Sud.
- XIII. — Bouteille à renversement Nansen.
- XIV. — Filet vertical pélagique.
- XV. — Filet à plancton en traîne. Petit chalut en traîne.
- XVI. — Ecaïlle de hareng âgé de six ans (d'après Lea). Otolithe de plie âgée de sept ans (d'après Heincke).