

Edition trimestrielle n° 51 • 3 NF

SCIENCE VIE

et

NUMÉRO HORS SÉRIE



la mer

ALBY

LA SEULE ÉCOLE D'ÉLECTRONIQUE qui vous
offre toutes ces garanties pour votre avenir



CHAQUE ANNÉE

2.000 É L È V E S
suivent nos **COURS du JOUR**

800 É L È V E S
suivent nos **COURS du SOIR**

4.000 É L È V E S
suivent régulièrement nos

COURS PAR CORRESPONDANCE
*Comportant un stage final de 1 à 3
mois dans nos Laboratoires.*

EMPLOIS ASSURÉS EN FIN D'ÉTUDES
par notre "**Bureau de Placement**"
sous le contrôle du Ministère du Travail
(5 fois plus d'offres d'emplois que d'élèves
disponibles).

L'école occupe la première place aux
examens officiels (*Session de Paris*)

- du brevet d'électronicien
- d'officiers radio Marine Marchande

Commissariat à l'Énergie Atomique
Minist. de l'Intérieur (Télécommunications)
Compagnie AIR FRANCE
Compagnie FSE THOMSON-HOUSTON
Compagnie Générale de Géophysique
Les Expéditions Polaires Françaises
Ministère des F. A. (MARINE)
PHILIPS, etc.

*...nous confient des élèves et
recherchent nos techniciens.*

DEMANDEZ LE GUIDE DES
CARRIÈRES N° 06 M
(envoi gratuit)

ÉCOLE CENTRALE DE TSF ET D'ÉLECTRONIQUE

12, RUE DE LA LUNE, PARIS-2° - CEN 78-87

**CHANTIERS
NAVALS ROCCA**

30 rue C. Coquelin VITRY ⁹/SEINE ITA 71-60

Société Anonyme au Capital de 1 million de NF



Dinghy 4,60 m

**FABRICATIONS MATIÈRES PLASTIQUES
DINGHIES A MOTEUR**

RUNABOUTS

VELETTE CRUISER 5 m à roof et décapotable

VOILIERS - YOYOUS - PRAMES

CANOËS - CANOTS pêche et chasse

CANOT BRETON

TOUS MOTEURS HORS-BORD

REMOREQUES

Nouveau catalogue en couleurs 1960 franco

DÉCOUVERTES

ALIDA MALKUS

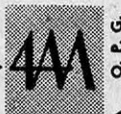
PASSEPORT POUR L'OCÉAN

*ses rivières, ses glaces, ses jardins
ses monstres étranges
ses hôtes minuscules*

*l'océan, berceau de l'homme, à qui
l'homme devra peut-être sa survie*

*un volume relié
nombreuses photos H. T.*

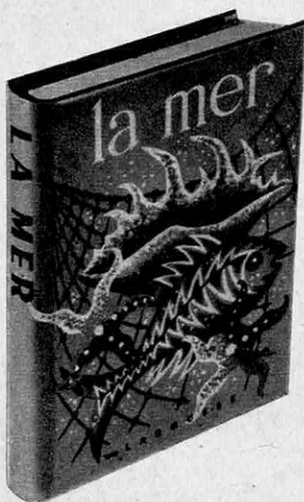
9,60 NF



MAME

une passionnante encyclopédie

LA MER



Rivages, ports, flore et faune, exploration sous-marine, pêche, navigation, vents et marées, courants, etc...
Un ouvrage exceptionnel sur tous les aspects d'un univers fascinant.

*1 volume relié (21 x 30 cm) sous jaquette
en couleurs, 508 pages, 870 illustrations,
16 hors-texte en couleurs.
Facilités de paiement.*

COLLECTION IN-QUARTO

LAROUSSE

CHEZ TOUS LES LIBRAIRES



Dès 1945, M. le docteur FONTAINE écrivait dans le bulletin de la Société scientifique d'hygiène alimentaire : « ... or, dans ce milieu marin qui est le berceau de la vie, dans ce milieu marin où s'édifient les formes les plus simples du monde vivant, où bouillonne une étonnante vie tant animale que végétale (et vous savez que les végétaux sont des sources incomparables de vitamines), il est bien évident que la synthèse de toutes les vitamines ne peut pas ne pas se réaliser. C'est pourquoi l'on peut dire que, dans les océans et les mers, nous trouverons à coup sûr toutes les vitamines ; celles qui nous sont aujourd'hui connues aussi bien que celles qui nous seront demain révélées. »

Cette véritable prémonition des travaux considérables qui devaient être réalisés de 1948 à nos jours et qui se continuent d'ailleurs, ne montre-t-elle pas au surplus que des motifs profonds devaient permettre pour des esprits féconds la prescience des découvertes nouvelles.

En fait, lorsque les laboratoires Heudebert voici 12 ans commençaient leurs travaux sur les autolysats de poisson, ils cherchaient seulement à réaliser un aliment sain de très haute teneur en acides aminés vitaux, en vitamines et en oligo-éléments.

Il fallut une série de hasards favorables pour qu'il devienne évident que cet autolysat de poisson était non seulement un aliment riche, mais bien, pour employer un mot très exact, imaginé en d'autres circonstances, par le Professeur LÆPPER, un aliment médicamenteux de très grande puissance.

C'est ainsi que pendant la période expérimentale, un professeur d'une école vétérinaire traita à l'autolysat par piqûre intra-muscu-

laire un mouton paralysé par une maladie pour laquelle jusque-là on était pratiquement désarmé. Or, quelques heures après, le mouton courait dans la cour de l'Ecole, démontrant l'efficacité surprenante de cet autolysat de poisson.

Chez l'homme, des effets non moins spectaculaires sont parfois obtenus mais en raison du cadre limité de cet article, nous nous bornerons à indiquer les résultats des essais cliniques et les domaines dans lesquels on obtient un pourcentage particulièrement élevé de résultats satisfaisants, souvent même inespérés du fait de l'échec des traitements classiques.

Certains autolysats de poisson ont tout d'abord une action massive sur l'équilibre du cœur et effacent même des phénomènes d'angoisse (pesanteur du bras gauche, étai pectoral, douleur précordiale) ou des troubles du rythme cardiaque tels que extra-systoles là où tous les traitements classiques avaient échoué.

Cette action est d'autant plus précieuse que les morts subites par troubles cardiaques augmentent considérablement du fait de notre époque de vie trépidante. Il n'est pour s'en convaincre que de repenser aux disparitions récentes d'hommes connus de 50 à 60 ans dont parlent tous les quotidiens. En fait de nos jours, un homme sur trois disparaît par suite de troubles du système circulatoire et le docteur Robert LE BIHAN qui a été un grand spécialiste des aliments-médicaments déclarait que si tout homme, à partir de la cinquantaine, consommait des autolysats de poisson, de nombreux décès prématurés par défaillance cardiaque pourraient être évités.

Il est au surplus curieux de noter que l'autolysat de poisson possède une action non moins puissante sur les glandes génitales et comme facteur de rajeunissement général; or tout le monde a encore en mémoire les rajeunissements spectaculaires par greffe de glandes obtenues par Voronoff et ses élèves.

Il s'avère aujourd'hui que les rajeunissements par l'absorption quotidienne d'autolysats de poisson permettent d'obtenir sans opération chirurgicale, ni danger, des résultats, les plus spectaculaires qui peuvent être entretenus en permanence par un apport nutritionnel journalier.

Ces trois effets — sur le cœur, sur les glandes génitales et sur le rajeunissement sont, médicalement parlant, assez liés les uns aux autres, les suivants ne s'en écartant sans doute qu'en apparence :

C'est ainsi que ces mêmes autolysats sont un très puissant rééquilibrant des enfants délicats dont ils facilitent la croissance, l'appétit, la prise de poids et, par voie de conséquence, l'entrain au travail et au jeu, et cela même chez des enfants primo-infectés tributaires de cures en préventorium. Dans ce cas, en particulier, ce traitement simple et naturel (puisqu'il est constitué uniquement d'un complément nutritionnel) donne des résultats extraordinaires là où tout avait échoué.

Il est plus surprenant encore de constater les résultats souvent remarquables obtenus en ajoutant la diététique par autolysat au traitement pharmaceutique de certaines tuberculoses. La diététique n'a, il va de soi, aucune action propre sur la tuberculose et, à elle seule, ne permettrait en aucun cas d'espérer une guérison — mais son action générale sur l'organisme a pourtant une action synergique énorme qui permet parfois au médicament d'obtenir une guérison totale qui eût été difficile et parfois impossible sans cela.

C'est sans doute le même processus d'action qui permet à l'autolysat de remédier dans des délais très courts aux diverses anorexies, y compris les anorexies mentales.

Mais dira-t-on les mêmes résultats ne pourraient-ils être obtenus simplement en mangeant du poisson ? Hélas non ! Songez qu'il a fallu essayer 37 poissons différents avant de trouver les deux qui donnent des résultats. Encore ne sont-ils efficaces que sous les conditions formelles suivantes :

- 1° être pêchés dans les 15 jours qui précèdent la ponte ;
- 2° être autolysés dans les quelques heures qui suivent la pêche ;
- 3° ne pas contenir plus de 100 g d'histamine par gramme.


C'est assez dire que pour être sûr de l'efficacité, il faut s'adresser à un laboratoire de haute réputation en matière de diététique.

L'Océan, il est vrai, n'a pas le monopole des aliments-médicaments de très grande puissance. Le Pollen, la Gelée Royale ont des propriétés non moins puissantes dans des domaines parfois totalement différents. Mais ceci nous entraînerait trop loin dans cet article pour exposer en détail ces sujets passionnants (1).

M. GARREAU

(1) Ceux que ces questions intéressent pourront toujours se procurer aux EDITIONS MEDICALES FRANÇAISES, 82, avenue Mozart à Paris, leurs divers fascicules sur ces sujets. Sont déjà parus sous la signature du docteur LE BIHAN: « Les Autolysats de poisson » — « La Gelée Royale » — « Méthodes nouvelles pour la beauté du Visage », et sous la signature du docteur E. LENORMAND: « Le Pollen ». Chaque fascicule : 1 NF.

NERGINE
Vente toutes maisons de régime



Centre de Diététique Naturelle
17, rue Jean - Mermoz, Paris

autolysats de poisson
ALINERGEX
HEUDEBERT
Vente exclusive en pharmacies



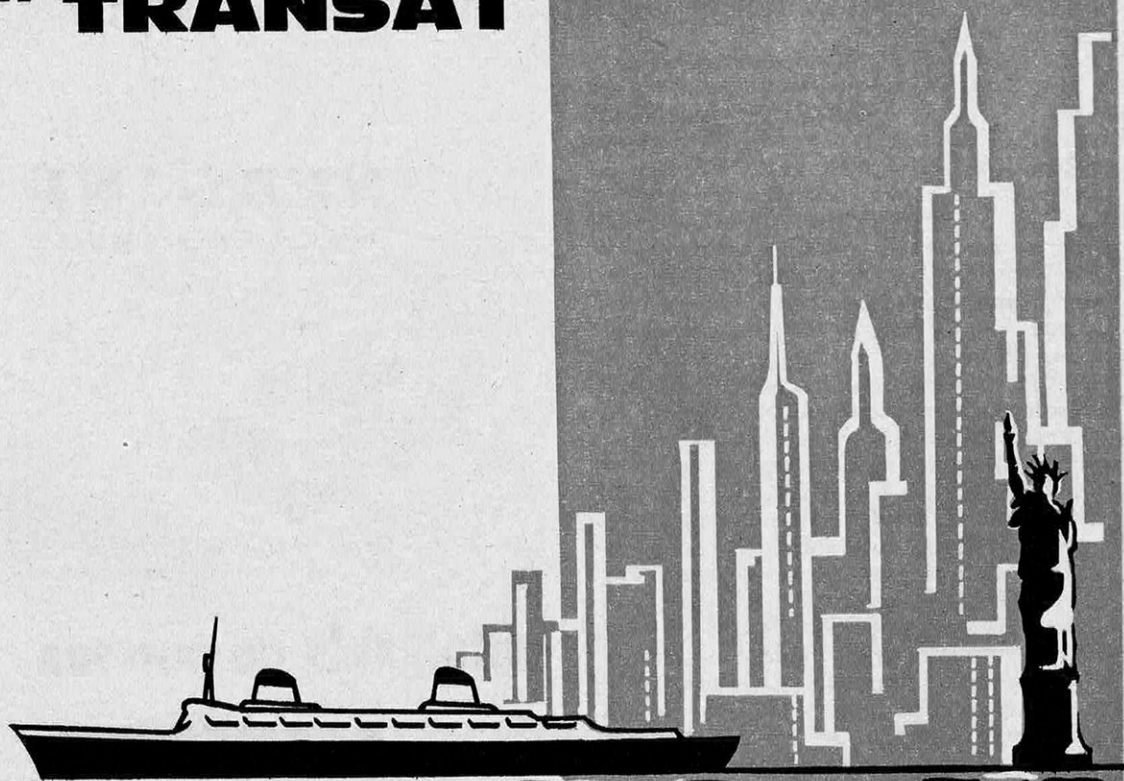
Laboratoires Heuprophax
4, r. Lamartine, Nanterre (Seine)

détente totale...

French Line

NEW YORK

**PAR LA
"TRANSAT"**



**COMPAGNIE GÉNÉRALE
TRANSATLANTIQUE**

**PARIS : 6, RUE AUBER - TEL. RIC. 97-59
LONDRES : 20 COCKSPUR STREET
NEW YORK : 610 FIFTH AVENUE
ET TOUTES AGENCES DE VOYAGES AGRÉÉES**

La mer

SOMMAIRE

• LES OCÉANS ET LA VIE DU GLOBE	6
• LES MOUVEMENTS DE LA MER	10
• LES CARACTÉRISTIQUES DE L'EAU DE MER	24
• PLAINES, VALLÉES ET MONTS SOUS-MARINS	30
• L'EXPLORATION SOUS-MARINE	41
• FLORE ET FAUNE DES FONDS MARINS	58
• PLANCTON ET VIE MARINE	72
• POISSONS ET CLIMATS MARINS	92
• LES MIGRATIONS DES GRANDS CÉTACÉS	126
• LES NAVIRES OCÉANOGRAPHIQUES	138
• L'ÉNERGIE DES MERS	151

Directeur général :
Jacques Dupuy

Directeur :
Jean de Montulé

Rédacteur en chef :
Jean Bodet

Direction, Administration,
Rédaction : 5, rue de
La Baume, Paris-8^e. Tél. :
Balzac 57-61. Chèque postal
91-07 PARIS. Adresse télé-
gr. : SIENVIE PARIS.

Publicité : 2, rue de La
Baume, Paris-8^e. Tél. : Ely-
sées 87-46.

New York : Arsène Okun,
64-33, 99th Street Forest
Hills, 74 N. Y. Tél. : Twining
7.3381.

Londres : Louis Bloncourt,
17 Clifford Street, London
W. 1. Tél. : Regent 52-52.

Washington : Science Ser-
vice, 1719 N Street N.W.
Washington 6, D.C. (U.S.A.)

TARIF DES ABONNEMENTS

POUR UN AN :	France et Union Fr ^{nc}	Étranger
12 parutions	15, — NF	20, — NF
12 parutions (envoi recommandé)	22,50 NF	28, — NF
12 parutions plus 4 numéros hors série	24, — NF	32, — NF
12 parutions plus 4 numéros hors série (envoi recd ^é)	34, — NF	42, — NF

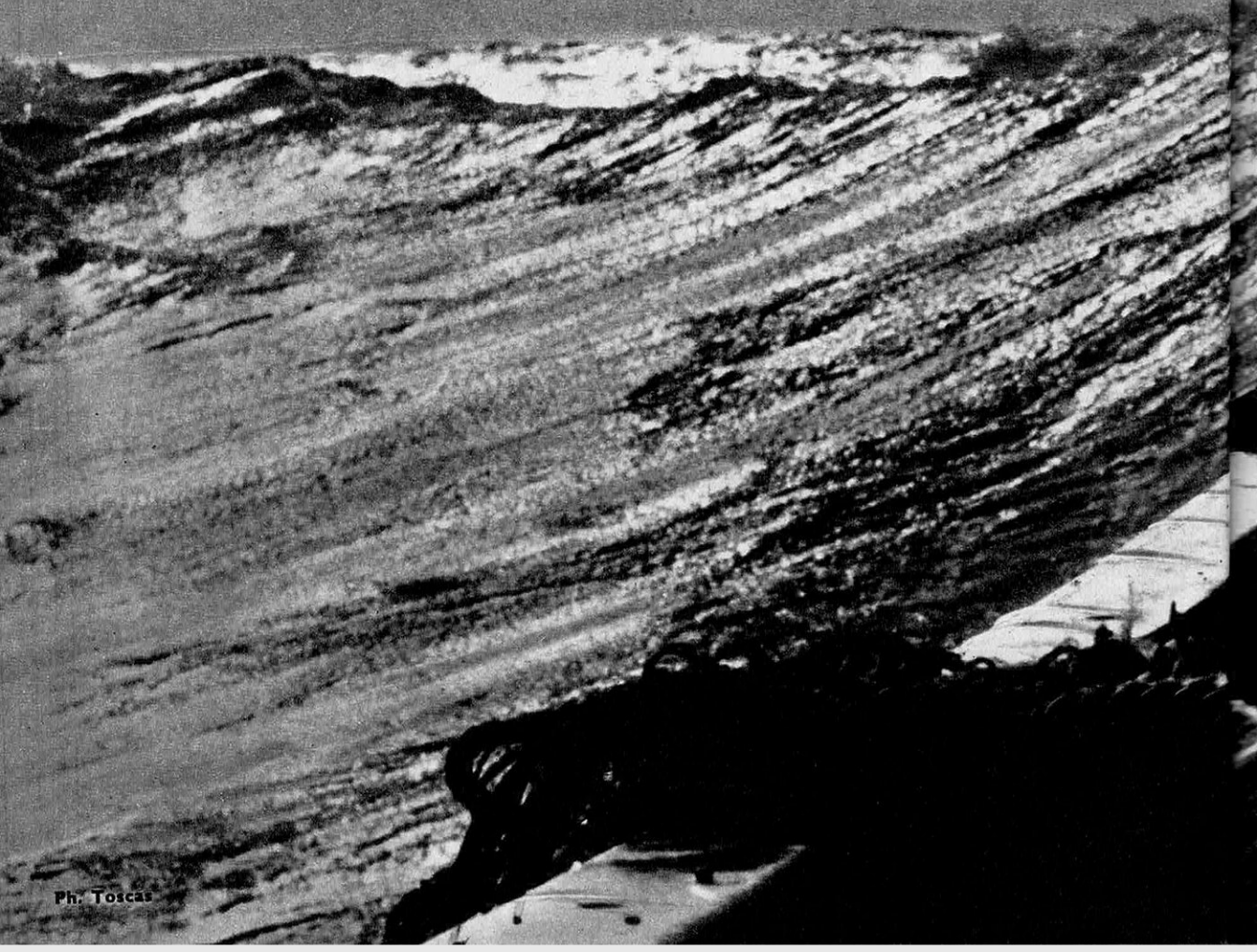
Règlement des abonnements: SCIENCE ET VIE, 5, rue de La Baume-Paris. C.C.P. PARIS
91-07 ou chèque bancaire. Pour l'Étranger par mandat international ou chèque payable
à Paris. Changement d'adresse: poster la dernière bande et 0,30 NF en timbres-poste.

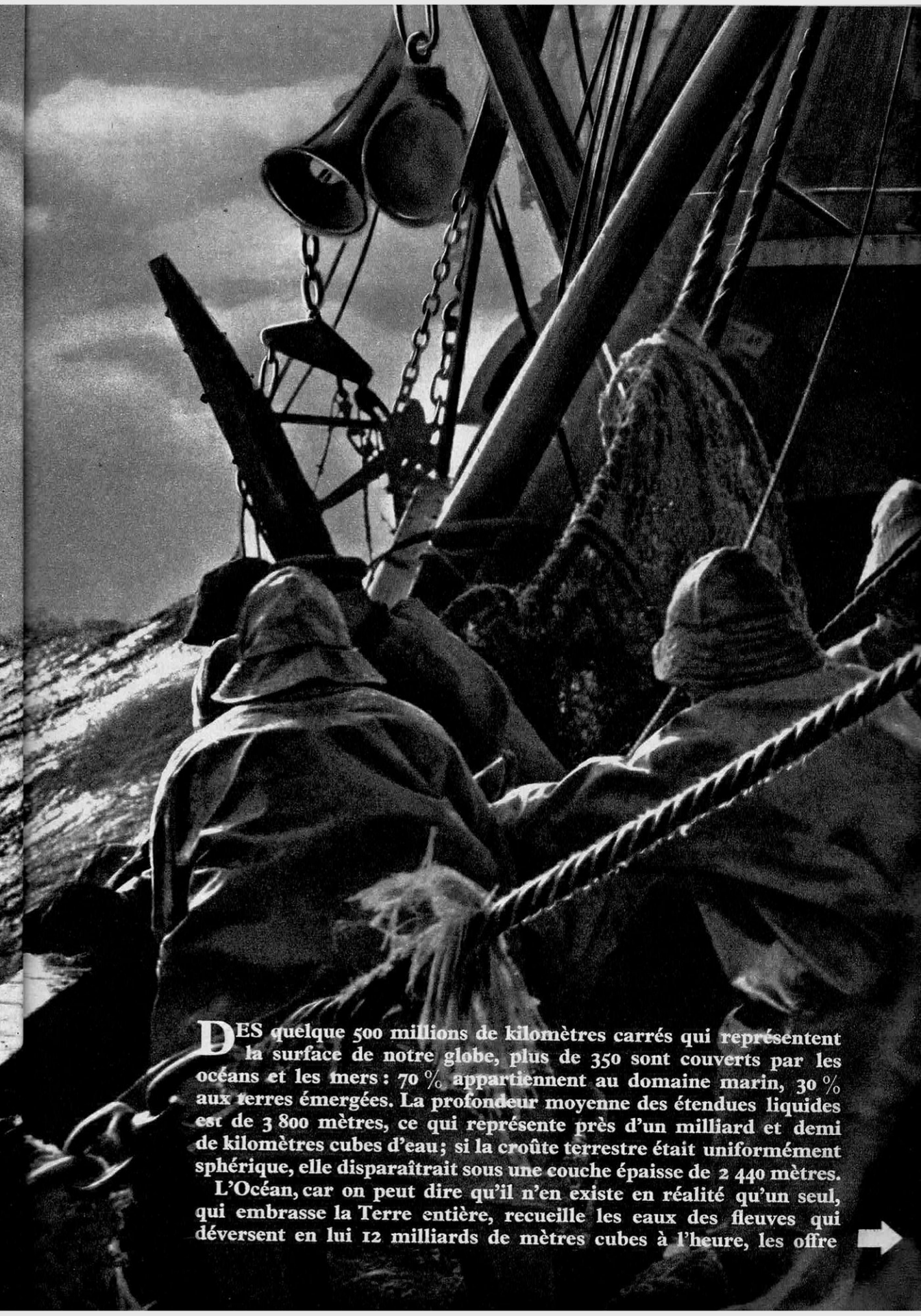
Belgique et Grand-Duché (1 an) Service ordinaire FB 180
Service combiné FB 330

Congo Belge et Hollande (1 an) Service ordinaire FB 200
Service combiné FB 375

Règlement à Édimonde, 10, boulevard Sauvenière, CCP. 283.76, P.I.M. service Liège.

Les océans et la vie du globe

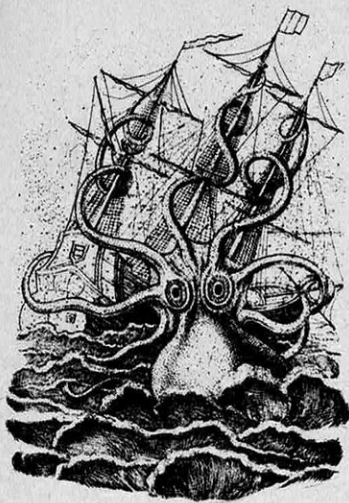




DES quelque 500 millions de kilomètres carrés qui représentent la surface de notre globe, plus de 350 sont couverts par les océans et les mers : 70 % appartiennent au domaine marin, 30 % aux terres émergées. La profondeur moyenne des étendues liquides est de 3 800 mètres, ce qui représente près d'un milliard et demi de kilomètres cubes d'eau ; si la croûte terrestre était uniformément sphérique, elle disparaîtrait sous une couche épaisse de 2 440 mètres.

L'Océan, car on peut dire qu'il n'en existe en réalité qu'un seul, qui embrasse la Terre entière, recueille les eaux des fleuves qui déversent en lui 12 milliards de mètres cubes à l'heure, les offre





au Soleil qui les évapore, aux vents qui les repoussent vers les continents où elles retombent en pluies et en rosées en un cycle perpétuellement renouvelé. Il est le grand réservoir d'eau du globe. Son immense capacité calorifique fait de lui un volant thermique remarquablement efficace. Par ses échanges avec l'atmosphère, l'Océan est un prodigieux appareil de conditionnement d'air.

C'est dans l'Océan que la Vie a pris naissance il y a des millions d'années. Il recèle le plus grand nombre de ces fossiles vivants qui, comme le Cœlacanthe, marquent certaines étapes de l'évolution des formes animales. La faune qu'il fait prospérer dans sa masse et sur ses rives est d'une diversité extrême. Il a, aux froides latitudes, les ours blancs de sa banquise, ses colonies de phoques, morses et otaries, dans les mers chaudes ses énormes tortues marines, et partout, sur les 250 000 km de ses bords, les nuées d'oiseaux qui vivent de lui et nichent dans les alvéoles de ses rochers. Les abondantes ressources des rivages marins, aisément exploitables sans moyens techniques, ont attiré très tôt le peuplement humain : coquillages, crustacés, poissons de roche et de sable trouvent près des côtes une riche nourriture organique, servie par les eaux fluviales et répartie par les courants littoraux.

Encore les ressources du rivage ne sont-elles qu'un modeste échantillon de la richesse de la mer. Le métier de pêcheur est, avec celui de chasseur, le plus vieux des métiers. Dès le Moyen Age, la pêche au large et les pêches lointaines ont amené un substantiel complément à l'alimentation de l'Europe; les caques de harengs de la mer du Nord, hissées sur de lourds chariots, approvisionnaient la moitié de l'Europe pour le Carême. Depuis, les domaines des pêches ont été en extension constante : la mer de Barents et le Spitzberg deviennent des annexes de la mer du Nord; les Bretons étendent leur champ d'action jusqu'à Port-Étienne, en Mauritanie. La pêche artisanale se maintient traditionnellement dans de nombreuses régions, mais les chalutiers modernes, équipés de puissantes machines, munis de frigorifiques et d'instruments de détection des bancs de poissons, ramènent parfois plusieurs tonnes d'un coup de filet. Les navires-usines et leur escorte de chasseurs de baleines et de cachalots dépècent et traitent sur place leur gibier jusque dans l'Antarctique.

La mer a joué un rôle capital dans le développement des civilisations humaines. Autour du lac méditerranéen, les grandes villes de l'Antiquité étaient presque toutes des ports, fluviaux ou marins, pour être aisément accessibles. Déjà s'ouvrait l'ère des grandes découvertes maritimes avec les voyages des Égyptiens, des Phéniciens et des Carthaginois qui, les premiers, contournèrent l'Afrique. Plus tard, grâce aux inventions capitales transmises par les Arabes que furent le gouvernail à étambot, la boussole et l'astrolabe, Vasco de Gama atteignait l'Inde, Christophe Colomb s'élançait à travers l'Atlantique et Magellan faisait le tour du Monde.



Les océans s'offraient aux relations à grande distance, mais les voiliers d'autrefois étaient lents et devaient allonger leur route pour trouver les vents favorables. L'avènement de la navigation à vapeur, permettant les liaisons rapides et régulières, a ouvert de véritables routes océaniques aux hommes et aux marchandises. Depuis une trentaine d'années, l'avion les concurrence toujours

plus vivement, mais le transport des produits pondéreux demeure l'apanage d'un trafic maritime toujours plus ample et plus spécialisé avec les navires pétroliers, bananiers, minéraliers et tout récemment méthaniers. Les chemins de la mer sont toujours aujourd'hui les plus économiques.

L'homme a conquis l'Océan, mais en surface seulement, et nous commençons seulement à comprendre que nous ignorons l'essentiel de ces masses marines et des ressources immenses qu'elles constituent pour l'humanité. Les premiers sondages au grand large avaient laissé croire que le fond de la mer était une vaste étendue monotone, alors qu'il est au moins aussi tourmenté que la surface des terres émergées, creusé de fosses profondes et portant des chaînes de montagnes comparables à l'Himalaya. Il y a une centaine d'années, on considérait qu'aucun être ne pouvait vivre au-delà de quelque 500 m de profondeur, ce que les captures et les observations directes, trop rares, ont catégoriquement démenti.

La dernière étape de la conquête complète du globe reste l'exploration de ce monde si mal connu et pourtant d'une extrême richesse. Quelles difficultés cependant à vaincre pour pénétrer ce milieu par nature hostile à l'homme, opaque sous une épaisseur même faible, où jusqu'à une date toute récente on plongeait seulement à l'aveugle des engins imparfaits ! Les hydrographes vivent dans la terreur de laisser inconnue une roche dangereuse dans le réseau pourtant serré de leurs profils de sondages ultrasonores.

Les derniers outils dont disposent les océanographes améliorent la situation. Scaphandres autonomes, « troïka » équipée de télévision sous-marine, bathyscaphes et soucoupes plongeantes sont les plus spectaculaires. Aujourd'hui, la recherche océanographique fait siennes les techniques les plus modernes où l'électronique joue de plus en plus le rôle principal, tant pour les mesures à la mer que pour l'enregistrement et l'analyse des observations et le traitement des problèmes théoriques par des calculatrices numériques. Ainsi sont abordées avec des armes nouvelles et plus efficaces des questions jusqu'ici à peine défrichées, telles que circulation des eaux profondes, prévision de la houle, des glaces dérivantes, du rendement des campagnes de pêche, défense des côtes et des plages contre l'érosion, utilisation de l'énergie des mers, exploitation des ressources minérales des eaux et des fonds marins, pollution par les résidus des combustibles et par les déchets radioactifs, peuplement des eaux et migrations des poissons, développement du plancton, base de la productivité des mers.

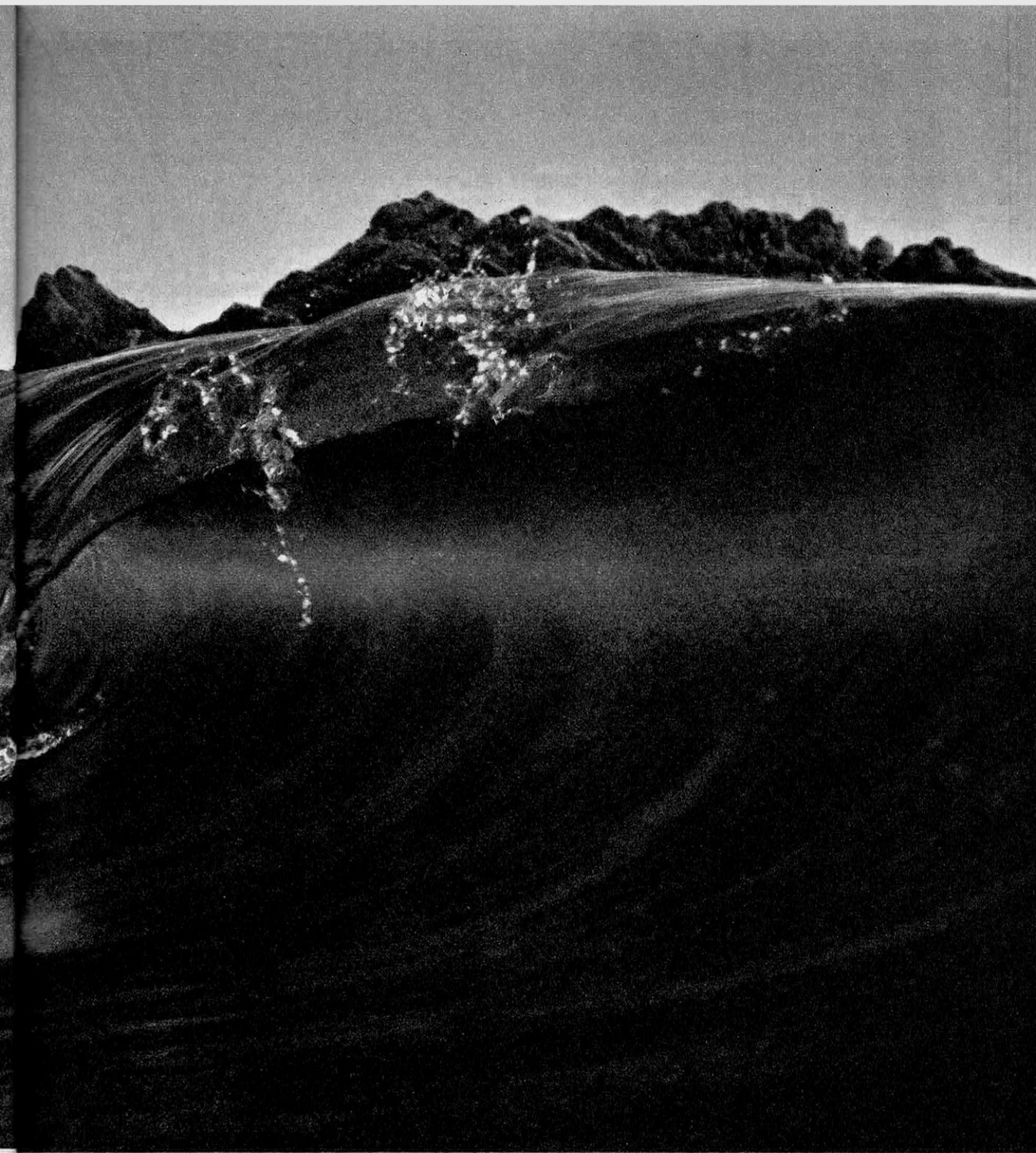
Observations physiques et biologiques sont étroitement liées. L'Océanographie est un carrefour de sciences et les nations ont pris conscience de son importance. Le stade des campagnes de recherches espacées par des navires isolés semble près de son terme; nous abordons celui des entreprises de grande envergure à l'échelon international, comme celle de l'Année Géophysique Internationale et celle prévue dans l'Océan Indien en 1962-1963, à laquelle, grâce à ses efforts d'équipement actuels, la France apportera une contribution efficace. Les océans participent étroitement à l'ensemble des phénomènes naturels de la Terre. Ils peuvent, dans un avenir plus proche qu'on ne le croit, être vraiment la plus grande réserve de nourriture offerte aux populations humaines sans cesse croissantes, à qui les ressources terrestres traditionnelles ne suffiront plus.





Ph. Steiner

Les mouvements



ents de la mer

VOIR PAGES SUIVANTES

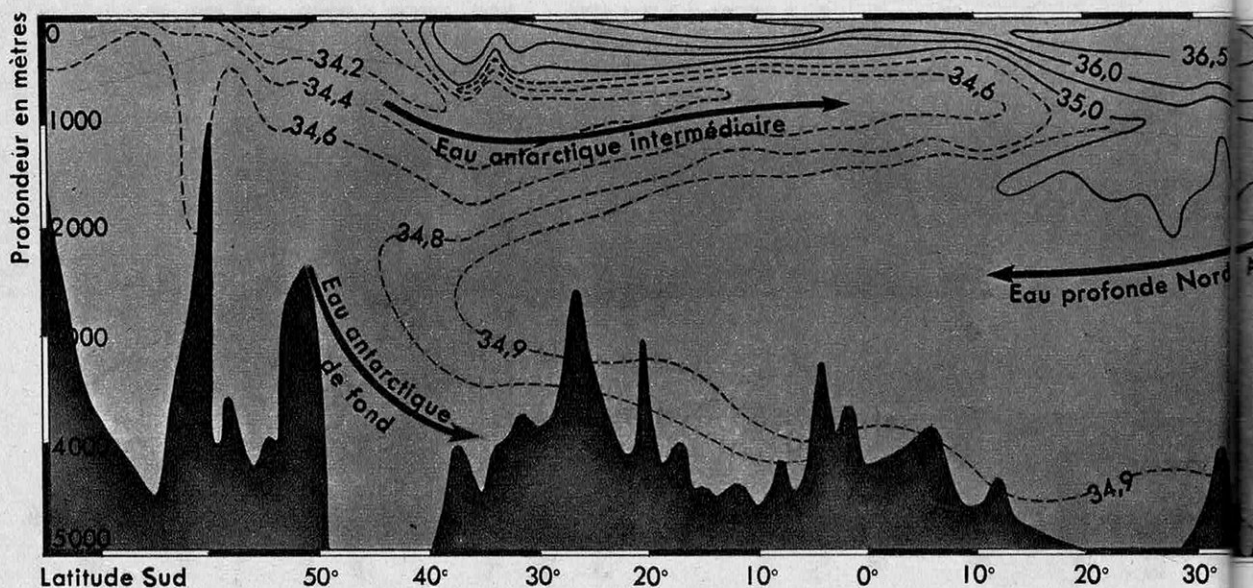
La mer est le siège de mouvements extrêmement variés dans leurs causes comme dans leurs manifestations : courants généraux, agitation superficielle formée par les vagues et la houle, mouvements des marées et autres se superposent en un ensemble très complexe. Seuls sont directement perceptibles à nos sens les mouvements à courte période, vagues et houle; les autres nous échappent dans une grande mesure car l'observateur à la mer ne dispose pas, en général, à proximité immédiate, d'un point de référence fixe par rapport auquel il puisse apprécier le mouvement du fluide qui le porte. Un navire, au large, machine arrêtée, peut être entraîné par un violent courant sans qu'à bord nos sens puissent nous en informer. Tant que le navire sera en vue de terre, des mesures précises d'angles faites à partir du navire permettent de déceler ce mouvement. Au large, à défaut d'« aides » radioélectriques à la navigation, encore peu répandues, le mouvement ne pourra être révélé que grâce à l'observation des astres, dont le déplacement angulaire est connu, mais lent. Les observations ne peuvent être effectuées que par temps clair et bon horizon, et la précision qu'elles donnent est de l'ordre du mille marin (1 852 m). Comme on ne peut faire pratiquement qu'une ou deux observations du point par 24 heures, le mouvement instantané du navire nous échappe.

Gardant à l'esprit que la réalité marine comporte la superposition de diverses catégories de mouvements, il faut tenter d'établir parmi eux une classification. On peut d'abord examiner ceux ayant une incidence sur la

navigation : ce sont les courants généraux et les marées que l'on connaît assez, bien souvent, pour qu'ils soient prévisibles. D'autres, et surtout la houle et les vagues, peuvent gêner les navires, mais ce sont des éléments accidentels que, pratiquement, on ne prédit guère, au moins actuellement.

Les courants généraux

Depuis que les navigateurs sillonnent les mers et sont en mesure de comparer les trajectoires réelles de leurs navires, déduites notamment de la navigation astronomique, et les trajectoires « estimées », fondées sur le cap suivi et l'allure des machines, on sait que la surface des mers est le siège de courants relativement réguliers, portant dans une direction à peu près fixe tout au cours du temps ou pendant des périodes de plusieurs mois : c'est ce qu'on appelle la « circulation générale » des océans. On en connaît grossièrement les caractères statistiques mensuels grâce au dépouillement des journaux de navigation des navires. Mais la navigation telle qu'elle se pratique en général, avec un ou deux « points observés » par jour, ne permet pas de reconnaître la « structure fine » du courant. Elle ne donne en outre d'informations que sur les seuls courants superficiels et ignore le courant subsuperficiel ou profond. Si de belles mesures directes de courant par grands fonds ont été conduites, notamment aux environs de 1890, par Pillsbury dans la région du courant de Floride et du Gulf Stream, nous ne disposons de telles observations que pour des régions et des



périodes très limitées. C'est qu'en effet ces mesures sont difficiles, exigent l'ancrage, ou « mouillage », du navire afin que celui-ci constitue un point à peu près fixe par rapport auquel on puisse apprécier le courant; or ce mouillage, par grands fonds, exige un appareillage spécial et constitue une manœuvre difficile. Aussi, en dehors de la plate-forme continentale dont la profondeur est faible, inférieure à 150-200 mètres en général, les mesures directes de courant sont-elles très rares. Ce ne sont pas elles qui nous fournissent l'essentiel de ce que nous croyons savoir de la circulation subsurface ou profonde.

Comment, à défaut d'observations, connaître cette circulation? On est obligé de s'adresser à la théorie pour tenter de l'expliquer. C'est le problème difficile de la détermination indirecte des courants, problème d'hydrodynamique, très ardu en raison de la variété de la nature et des caractères des forces qui interviennent et de la géométrie complexe du fond marin.

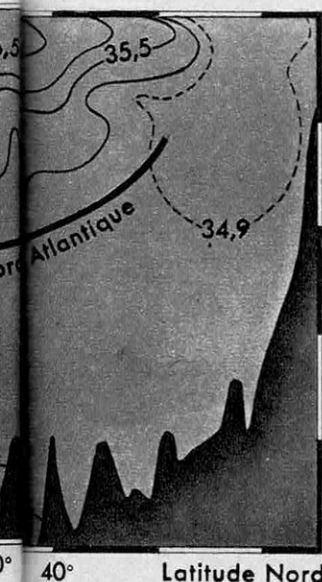
Les sources d'énergie

Si nous laissons de côté les forces génératrices de la marée dont nous parlerons plus loin, les influences que subit le milieu marin et qui réagissent sur ses mouvements proviennent à peu près exclusivement de l'énergie thermique ou mécanique franchissant la surface des mers. L'état thermique global de la mer étant constant, l'énergie calorifique reçue du rayonnement solaire doit être dissipée, et ce sont essentiellement des processus de surface qui interviennent dans cette dissipa-

tion : la chaleur reçue du rayonnement incident est essentiellement perdue du fait de l'évaporation de la couche marine superficielle. Le rôle de ce facteur, dont la mesure est extrêmement difficile à la mer, est considérable, et son effet est double : l'évaporation entraîne un refroidissement, mais aussi une augmentation de salinité de l'eau superficielle, deux actions qui agissent l'une et l'autre sur la *densité* dans le sens de son augmentation. Dès lors, dans les régions chaudes où l'atmosphère est humide, l'eau superficielle échauffée et subissant peu d'évaporation acquiert de ce fait une densité faible et ne peut que rester en surface; au contraire, dans des régions froides assez bien délimitées, le refroidissement hivernal et l'intensité d'évaporation en présence de vents continentaux froids et secs peuvent être suffisants, au moins à certaines époques de l'année, pour provoquer en surface l'apparition d'eaux relativement très denses qui plongent alors à de grandes profondeurs (plusieurs milliers de mètres), constituant des « sources d'eaux profondes » dans les océans. L'Océan mondial ne comporte que quelques-unes de ces régions, en particulier en mer du Labrador et autour du continent antarctique. Ces plongées ont nécessairement pour contrepartie des remontées d'eau dont l'importance biologique est considérable.

La méthode de « l'analyse des masses d'eau »

La description de ce mécanisme, dont le détail est, dans la réalité, mal connu, suffit à faire comprendre que les caractéristiques de température, de salinité et de densité des eaux sont essentiellement déterminées par les conditions climatiques qu'ont subies ces eaux quand elles se trouvaient en surface. Quand elles plongent, les échanges avec l'atmosphère sont suspendus et leurs caractéristiques ne s'altèrent plus que par mélange avec les couches d'eau rencontrées. On conçoit alors fort bien que l'évolution dans l'espace des caractéristiques de l'eau à partir de celles qu'elle avait dans la région où elle a été formée en surface, permette de déterminer les axes principaux de son influence donc aussi les cycles géographiques qu'elle décrit sous l'effet de tous les courants qu'elle subit : c'est la méthode de l'*analyse des masses d'eau*. Cette idée était contenue dans le texte suivant de l'ingénieur hydrographe Urbain de Tesson qui, en 1844, au retour de l'expédition de la « Coquille » à laquelle il avait participé, écrivait : « les anomalies que présentent les températures de la mer (nous ajouterions



Répartition des eaux atlantiques

Sur une coupe verticale de la partie occidentale de l'océan Atlantique, on a indiqué la répartition de la salinité qui met en évidence le mouvement général des eaux en provenance de l'Arctique et de l'Antarctique. On voit qu'aux latitudes élevées, Nord et Sud, des eaux de plus forte densité s'enfoncent et emplissent le fond des bassins. Au-delà de l'équateur, l'eau profonde Nord-atlantique se trouve entre une eau antarctique de fond et une eau antarctique intermédiaire de faible salinité.

Une « fumée de mer » →

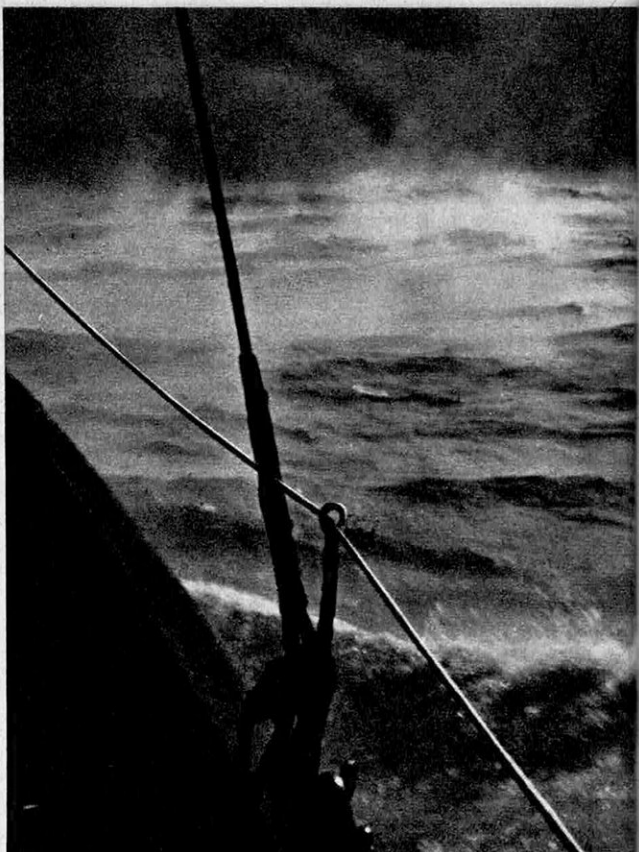
Cette photographie a été prise à partir de l'Atlantis alors qu'existait une très forte différence de température (plus de 20° C) entre les couches superficielles de la mer et l'atmosphère. La « fumée » montre avec quelle intensité s'effectuait l'évaporation.

aujourd'hui : les salinités) ne pouvant provenir que des courants d'eau chaude ou froide qui sillonnent la surface des mers, on a dans leur détermination un des moyens les plus précis pour découvrir ces courants. En effet, la grande capacité de l'eau pour la chaleur et sa faible conductibilité font que, prise en grande masse, elle ne peut varier que très lentement de température et qu'elle transporte au loin un indice certain de son origine.» Le principe de l'analyse des masses d'eau était découvert. Mais, même actuellement, si l'on peut en déduire les cycles géographiques décrits par les eaux, il est encore très aléatoire de déterminer la vitesse à laquelle ces cycles sont décrits. L'emploi de traceurs radioactifs artificiels constitue un progrès dans ce domaine, mais peut-être pas encore décisif. L'analyse des masses d'eau est actuellement l'outil le plus puissant dont on dispose pour l'étude de la circulation profonde des océans.

Le rôle des vents et de la rotation de la Terre

Mais si cette analyse nous permet de décrire les cycles de l'eau, elle ne nous permet pas de trouver la cause des mouvements. C'est là un problème difficile, car il est évident que les caractéristiques locales de l'eau sont un élément de synthèse qui traduit l'effet sur elle de toutes les actions qu'elle a subies depuis qu'elle se trouvait en surface et qu'elle y acquerrait des caractères d'« origine » jusqu'au point géographique où on l'étudie. Elle a été entraînée dans son cycle par d'autres forces.

L'une des plus importantes est la force de frottement et d'entraînement que subit l'eau superficielle en présence du vent, qui échange donc avec la mer de l'énergie mécanique. Cette force, mal connue, est pour des vents assez forts de l'ordre de la dyne par cm^2 de surface de la mer. Elle est très importante, mais n'est pas la seule à agir ; car, en raison de la viscosité de l'eau marine et surtout de la turbulence foncière de tous ses mouvements, l'effet superficiel d'entraînement retentit sur une épaisseur d'eau de l'ordre de la centaine de mètres. D'autre part,

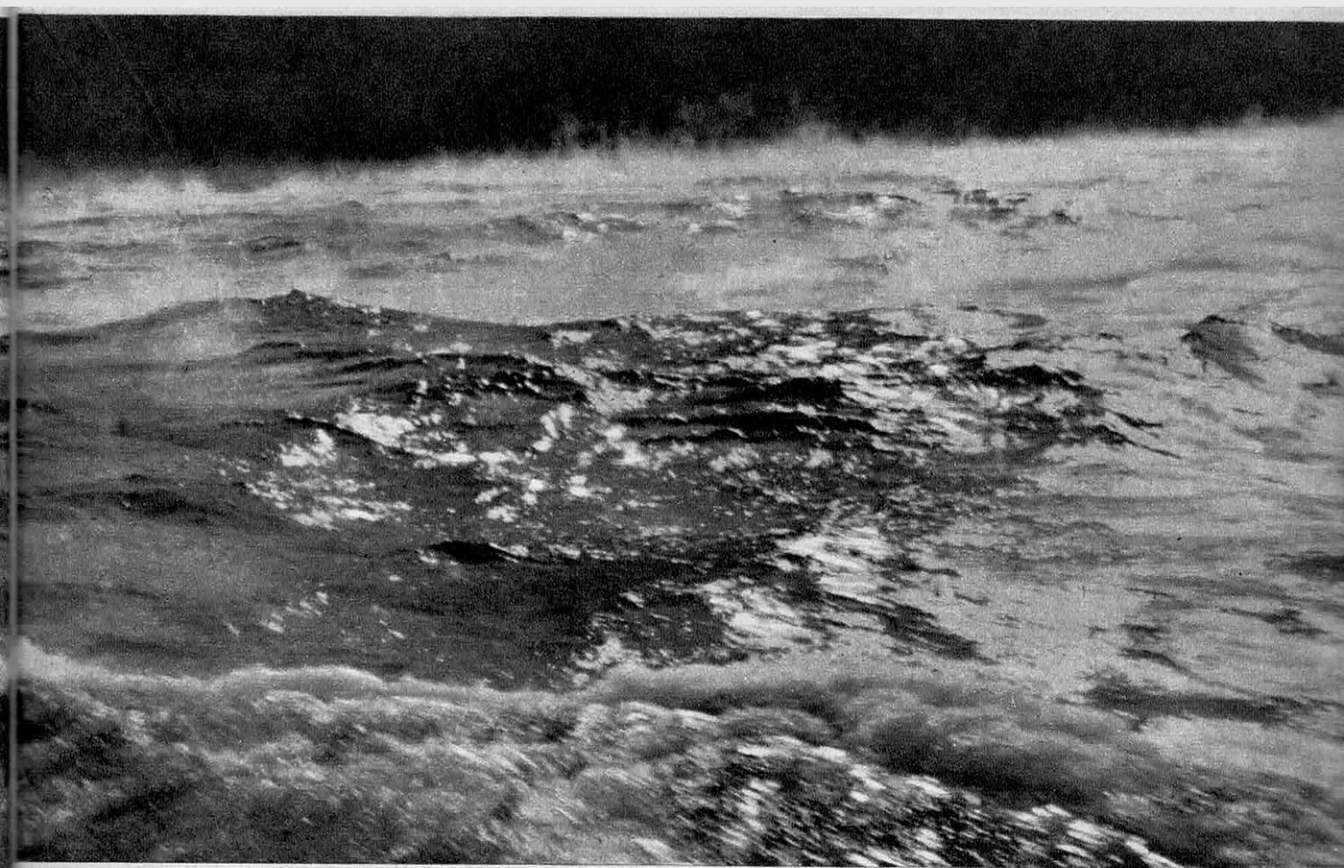


Ph. C. Neumann, Woods Hole

la rotation de notre globe suscite une autre force, dite de Coriolis, qui agit sur tout mobile terrestre par une force proportionnelle et perpendiculaire à la vitesse du mobile, à droite dans l'hémisphère nord, à gauche dans l'hémisphère sud, proportionnelle aussi à la vitesse angulaire de rotation de notre globe et fonction de la latitude (proportionnelle à son sinus). Force très faible, négligeable dans la plupart des mouvements existant sur notre planète, elle revêt une importance exceptionnelle pour les mouvements réguliers de grande amplitude tels que la circulation générale de l'océan et de l'atmosphère. Seuls les océanographes et les météorologistes la rencontrent quotidiennement.

C'est à partir du début du siècle, sous l'influence d'océanographes et de météorologistes scandinaves que, pour la première fois, on aborda de façon théorique le problème des mouvements généraux de l'océan, dans des cas d'ailleurs idéalement simples, mais dont la solution relativement élémentaire mettait cependant bien en évidence le mécanisme de ces mouvements.

C'est ainsi qu'Ekman donna l'expression mathématique du courant permanent provoqué par un vent régulier soufflant sur un océan plan tournant illimité. L'effet de la



force de Coriolis s'y manifeste par l'angle entre la direction vers laquelle souffle le vent et celle dans laquelle porte le courant. En surface, dans l'hémisphère nord, le courant porte à 45° à droite (à gauche dans l'hémisphère sud) de la direction vers laquelle souffle le vent, et le mouvement d'ensemble de l'eau est perpendiculaire à la direction du vent. Les « courants de dérive » ainsi suscités ont une importance très grande, en particulier au voisinage des rivages où, selon les cas, les vents provoquent des plongées d'eau superficielles ou, au contraire, des remontées d'eaux profondes d'importance biologique considérable.

Ce dernier phénomène est responsable des températures relativement basses de l'eau le long des rivages occidentaux des continents dans toutes les régions comprises entre 35° Nord et 35° Sud environ.

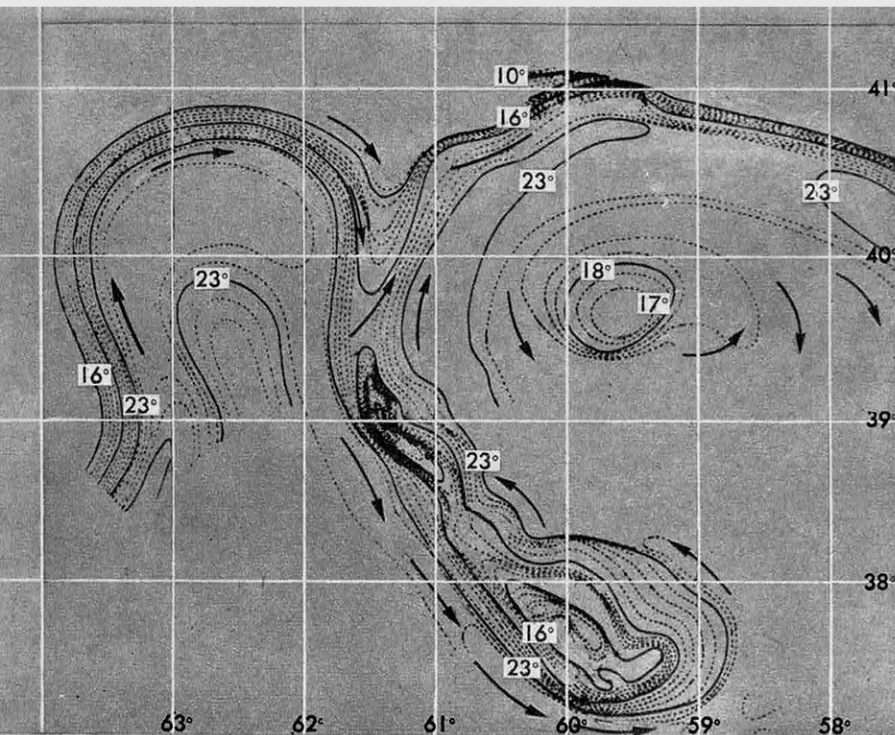
Le résultat des recherches théoriques récentes ont conduit à la conclusion, qualitative mais aussi quantitative, que *l'essentiel de la circulation océanique superficielle ou subsuperficielle était due aux vents plus ou moins permanents soufflant sur la mer*. On en a déduit aussi que l'intensification des courants dans les parties ouest des océans était due à la variation avec la latitude de la force de Coriolis.

Ce sont là des résultats très prometteurs, mais d'ordre théorique.

Une méthode de détermination indirecte des courants

Cependant, vers 1900 également, on a proposé une méthode dite « dynamique » de détermination indirecte des courants océaniques, supposés permanents et sans frottement, à partir des *densités marines* mesurées au cours des expéditions océanographiques en divers points et à diverses profondeurs. On exprime seulement l'équilibre entre la force de Coriolis et la force de pression liée à la répartition réelle des densités marines.

Comme la répartition des densités marines est un élément de synthèse dans lequel interviennent tous les effets subis par la mer (car tout courant, tout échauffement, tout refroidissement, quelle qu'en soit la cause, retentit sur la densité), on est assuré que le courant « géostrophique » ainsi calculé par cette méthode dynamique rend compte, au moins en partie, de tous les courants permanents existant dans la mer; c'est le pendant exact du vent « géostrophique » des météorologistes. Son emploi se heurte à diverses difficultés à peu près impossibles à surmonter : mais la



Les méandres du Gulf-Stream

Les courants ne sont pas des fleuves réguliers coulant dans la mer, mais d'étroites langues constamment fluctuantes, formant des méandres ondulants qui évoluent sans cesse. Cicontre, cette coupe d'un méandre du Gulf Stream a été établie par toute une série de minutieuses mesures de températures.

circulation moyenne qu'elle fournit, en surface, se raccorde assez bien dans l'ensemble à la circulation superficielle telle que l'ont fait connaître les navigateurs.

La structure fine des courants

La principale difficulté résulte de l'hypothèse de la « permanence » des courants, c'est-à-dire de la constance, dans le temps, en chaque point, de la vitesse du courant en grandeur et direction. Or, nous disposons, surtout depuis la guerre, d'appareils fournissant, non plus une moyenne des caractéristiques marines sur une période plus ou moins longue, mais leur valeur locale instantanée. L'emploi de ces appareils modernes (bathythermographe, chaîne de radionavigation, courantmètre électromagnétique de von Arx) a permis de s'apercevoir que les courants (en particulier le Gulf Stream) sont formés d'étroites langues constamment fluctuantes, de méandres ondulants modifiant leur contour de façon plus ou moins régulière vers l'aval, et dont les branches successives peuvent se rejoindre, isolant des masses d'eau froide au milieu d'eaux plus chaudes dans des tourbillons dépassant parfois 100 km. Ces possibilités d'étude de la structure fine des courants révèlent une complexité qui n'était pas soupçonnée il y a 25 ans; et cette complexité même semble exister non seulement pour les courants superficiels, mais même pour les courants profonds qui présentent eux aussi des changements de direction et de vi-

tesse à un rythme rapide et encore inexpliqué.

Devant de telles fluctuations, la tendance logique est de procéder à des mesures directes aussi nombreuses et serrées que possible dont la multiplication pourrait conduire à la détermination de caractères statistiques. Mais nous ne sommes pas armés encore pour le faire : les navires de recherches sont rares, leur acquisition et leur entretien fort coûteux; leur utilité pratique *immédiate* ne les justifie pas comme les besoins immédiats de la navigation aérienne justifient le réseau météorologique. La mise au point de plates-formes de mesures en des points déterminés de l'océan, en particulier au moyen de bouées convenablement équipées, est en cours. On peut penser que dans les années qui viennent de telles stations flottantes seront mises en place.

On peut espérer aussi que des études menées sur modèles réduits permettront d'améliorer dans une grande mesure notre compréhension des facteurs qui sont à l'origine des fluctuations des courants réels.

Le problème de la circulation océanique exigera encore beaucoup d'efforts, mais l'intérêt théorique et pratique de la solution les justifie pleinement.

La force génératrice des marées

Si les courants généraux que nous avons rapidement examinés dérivent presque intégralement des échanges d'énergie thermique et mécanique entre océan et atmosphère,

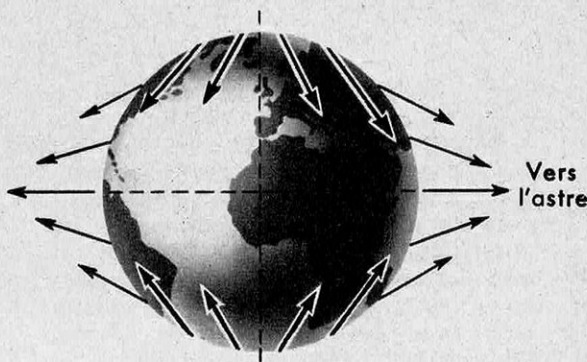
énergie dont le Soleil est en définitive la source première, la marée et les courants de marée trouvent leur origine dans une tout autre catégorie de forces : des forces gravitationnelles, de même nature que notre vulgaire pesanteur, et qui, en raison de la faible profondeur relative des océans par rapport au rayon terrestre, sont sensiblement les mêmes à un instant donné en tous les points d'une verticale marine. Depuis Newton on connaît l'expression de la force « génératrice de la marée » due à un astre. La résultante des forces de gravitation exercées par des astres tels que la Lune et le Soleil sur les différentes parties de notre globe est la même que si toute sa masse était concentrée en son centre; cette résultante détermine le mouvement du centre de gravité de notre Terre. Mais l'action exercée sur une masse unité est légèrement différente selon que cette masse est au centre ou au contraire à la surface; un mouvement relatif tend donc à s'établir entre cette masse et le centre. C'est un mouvement de marée.

La force génératrice due à un astre est la différence entre la force d'attraction que subit la masse unité (liquide) superficielle et celle qui agit sur la masse unité au centre de la Terre.

Du fait de la rotation de la Terre et des mouvements des astres, cette force manifeste des variations périodiques complexes mais assez facilement analysables. On y trouve des composantes « semi-diurnes » c'est-à-dire dont la période est la moitié du temps qui sépare deux passages successifs de l'astre considéré au méridien local. Il en existe aussi à « longue période », mensuelle ou semi-mensuelle pour la Lune, annuelle ou semi-annuelle pour le Soleil et même jusqu'à 18 ans $\frac{2}{3}$, liée au déplacement du nœud ascendant lunaire (point où son orbite coupe l'écliptique). D'autres sont « diurnes » et se manifestent lorsque l'astre n'est pas dans le plan de l'équateur terrestre.

La figure ci-dessus donne un aspect de la répartition de la force génératrice due à un astre. On voit qu'elle est curieusement opposée à l'astre au point pour lequel l'astre est de l'autre côté de la Terre : une masse située en ce point est moins attirée par l'astre que le centre de la Terre, d'où la direction de la force, opposée à l'astre.

Ces forces sont faibles. Le maximum de la force génératrice due à la Lune est de 1/9 000 000 environ de la pesanteur; celle due au Soleil est de 1/19 000 000 de g, soit, 2,2 fois plus petite que celle due à la Lune, de masse plus petite mais notablement plus proche que le Soleil. La mise au point de



LA FORCE GÉNÉRATRICE de la marée est ici représentée en direction et en valeur relative dans le cas d'un astre situé vers la droite de la figure.

gravimètres très sensibles a permis la mesure de ces forces : leur écart par rapport à la valeur théorique fournit d'intéressantes indications sur les propriétés élastiques de notre globe (« marées terrestres »).

La « marée statique »

Les forces étant connues, quel est le *mouvement* qui va prendre naissance dans l'eau ? Quelle est la « réponse » de l'océan aux sollicitations de ces forces ?

Si on pouvait admettre que, sur un globe entièrement recouvert d'eau, cet élément ait assez peu d'inertie pour que la surface des mers se mette instantanément en équilibre en tout point sous l'effet des forces génératrices dues aux astres perturbateurs, cette surface s'orienterait partout selon la normale à la résultante de la pesanteur et des forces génératrices locales.

On constaterait la « marée statique ». La surface marine prendrait une forme ellipsoïdale qui suivrait sans aucun retard le mouvement de l'astre par rapport à la Terre. Il y aurait superposition des effets solaire et lunaire et on calcule que, pour un globe entièrement recouvert d'eau et formé de couches homogènes concentriques, la demi-amplitude de la marée lunaire serait de 34 centimètres (marée totale : 1,08 m) et celle de la marée solaire de 25 centimètres (0,5 m au total). Mais, même amendée par des considérations liées à l'existence et à la forme des continents, cette théorie statique n'est guère satisfaisante, au moins pour les périodes « courtes », semi-diurnes et diurnes, car on conçoit que des marées de périodicités très longues puissent s'en rapprocher. Elle conduit, pour les périodes « courtes », à des désaccords avec la réalité : il est fort peu justifié, pour elles, de négliger l'inertie des masses liquides.

La prédiction des marées

Laplace a proposé une théorie « dynamique » reposant sur les principes suivants, applicables aux « petits mouvements » autour d'un état d'équilibre : — à chacun des termes périodiques de la force génératrice de chaque astre perturbateur correspond un mouvement ou « onde de même période : c'est une oscillation « forcée » ; en raison de l'inertie de l'eau, de sa viscosité, de la forme des bassins océaniques, il y a un certain déphasage entre le mouvement vertical de l'eau et la composante correspondante de la force ; — le mouvement global dû à toutes les composantes est égal à la somme des mouvements suscités par chaque terme présent : c'est le principe de la superposition des « petits mouvements ».

Dans une troisième proposition, Laplace admettait que l'amplitude de chaque onde était proportionnelle à l'amplitude de la composante de la force. Si cette proposition est exacte, en un point donné, on est obligé

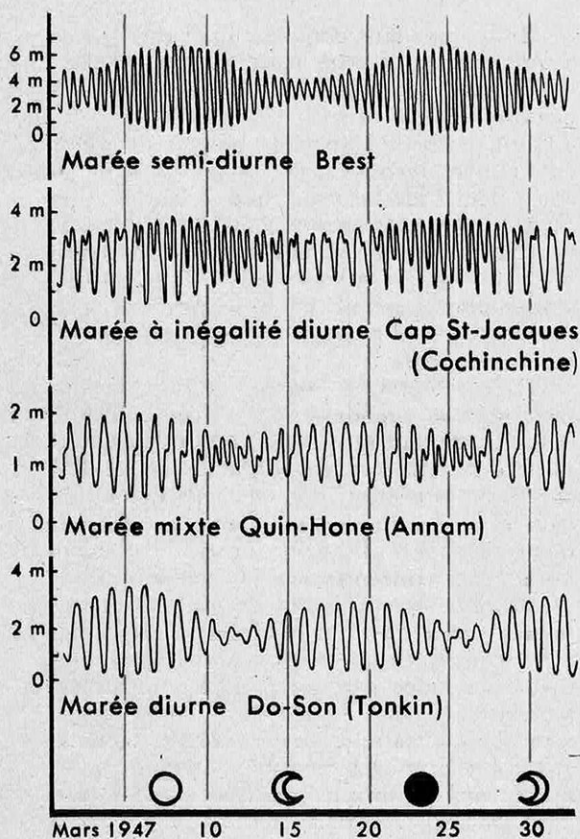
d'admettre que, d'un point à l'autre et d'une onde à l'autre, le coefficient de proportionnalité varie considérablement en raison de l'écart plus ou moins grand entre les périodes de résonance des bassins océaniques et les périodes des forces.

En fait, ce coefficient et le déphasage signalé ci-dessus, entre le mouvement vertical et la force, ne peuvent actuellement être déterminés qu'au moyen d'observations de marée assez longues, et c'est en cela que le problème des marées n'est pas encore résolu : il ne le sera que lorsqu'on pourra déterminer les caractères de la marée en un point sans qu'il soit nécessaire de recourir à l'observation préalable.

Analysant sa première proposition, Laplace fut amené à rechercher la périodicité des forces génératrices par la considération d'« astres fictifs » se déplaçant dans l'équateur céleste et provoquant chacun un terme périodique des forces génératrices. Cette idée n'aboutit pas, mais elle fut reprise sous une autre forme par Lord Kelvin et Sir George Darwin qui décomposèrent les forces en termes rigoureusement périodiques, mais dont l'amplitude comporte encore des variations à très longue période (18 ans $2/3$). Connaissant alors avec exactitude les périodes des forces, d'après les données astronomiques, il est en principe facile, si on dispose d'observations suffisamment prolongées en un point, d'extraire l'amplitude et la phase (la « situation ») du mouvement de l'eau correspondant à telle composante de la force : cette opération s'appelle l'« analyse harmonique » des observations de marée qui conduit à la connaissance des « constantes harmoniques » de la marée du point. On peut ensuite, grâce à un appareil appelé « tide predictor » dû à Lord Kelvin, faire la somme des effets des ondes composantes pour un instant ultérieur et ainsi effectuer la « prédiction des marées ». Cette prédiction s'étend à de nombreux ports du globe et constitue la matière des « Annales de marées » publiés par un grand nombre de pays maritimes.

Aspects divers des marées

Le fait que le coefficient local de proportionnalité de l'amplitude du mouvement à celle de la force varie d'un point à un autre, selon l'accord plus ou moins bon entre la période d'une composante de la force et la période propre du bassin océanique, fait comprendre que, suivant les mers, telle catégorie d'ondes, semi-diurnes ou diurnes, sera prépondérante : c'est la raison pour laquelle la marée, contrairement à une opinion ré-



COURBES DE MARÉES de types divers suivant l'importance relative des ondes composantes, diurnes et semi-diurnes, qui se superposent (d'après les documents du Service Hydrographique de la Marine).

pandue, peut avoir des aspects très variés.

La superposition des diverses ondes entraîne, selon leur importance relative locale, des variations considérables du caractère des marées, qui peuvent avoir des aspects très différents de ceux auxquels nous sommes habitués sur nos côtes.

Quand les ondes semi-diurnes sont prépondérantes, l'oscillation de niveau présente deux pleines mers et deux basses mers par jour. Comme l'onde lunaire est en général la plus importante du groupe semi-diurne, c'est elle qui, en gros, impose sa période, soit en moyenne 12 h 25 mn. Cependant l'importance relative de l'onde lunaire et de l'onde solaire (période 12 heures) varie notablement; l'onde solaire est relativement forte en particulier le long du continent antarctique; de même à Tahiti, par exemple, où ces deux ondes sont comparables. Quand leurs actions sont en phase, on constate une période de grandes marées : c'est la vive-eau qui se produit peu après les pleines et nouvelles lunes. Quand elles sont en opposition de phase, c'est la morte-eau. Les autres ondes semi-diurnes modifient aussi les amplitudes; en particulier l'onde due aux variations de la déclinaison (inclinaison de la direction de l'astre sur l'équateur) luni-solaire introduit des maximum de marée au voisinage des équinoxes.

Quand seules les ondes diurnes sont importantes (golfe du Tonkin), on ne constate qu'une pleine mer et une basse mer par jour : on a des *marées diurnes* dont le maximum d'amplitude se produit peu après les maximum de déclinaison lunaire.

Quand se superposent des composantes diurnes et semi-diurnes, on peut avoir des marées semi-diurnes à *inégalité diurne* qui se caractérisent par des pleines mers au nombre de deux par jour mais de hauteur nettement différente; c'est le cas lorsque les ondes semi-diurnes surpassent les autres. Dans le cas contraire, on obtient des *marées mixtes* qui ont le caractère de marées diurnes au voisinage des maximum de déclinaison lunaire, et le caractère de marées semi-diurnes au voisinage du moment où la Lune est dans le plan de l'équateur céleste. Les marées diurnes sont surtout notables dans l'océan Pacifique occidental.

Mais en dehors de ces ondes « astronomiques », la théorie montre que lorsque ces ondes se propagent sur des profondeurs qui ne sont plus très grandes par rapport à l'amplitude de la marée, il apparaît des ondes hydrauliques, dites « supérieures », ou des ondes « composées » dont les périodes sont respectivement des sous-multiples de l'onde

initiale, ou des combinaisons de deux ondes initiales. La forme des courbes de marée est alors modifiée considérablement et perd son allure de sinusoïde régulière : la montée de la mer est en général plus courte que la baissée; à la limite, dans certains fleuves, la montée se fait même de façon discontinue : c'est le mascaret, bien connu dans l'estuaire de la Seine et qui se produit quand la marée à l'embouchure est assez importante.

Les courants de marée

Le milieu liquide étant continu, toute variation verticale de niveau (enregistrée sur un marégraphe) s'accompagne de mouvements horizontaux, les *courants de marée* caractérisés non seulement par leur amplitude et leur phase, mais aussi par leur direction instantanée. De même que dans un circuit électrique toute différence de potentiel électrique implique le passage d'un courant, de même toute différence de niveau entre deux points implique l'écoulement d'un « courant » d'eau. Oscillations verticales et courants de marée sont donc indissolublement liés et, de même que l'analyse harmonique des observations de marée permet la prédiction des marées, de même l'analyse d'observations de courants suffisamment prolongées permet la prédiction de ceux-ci. Toute onde de marée a pour contrepartie une onde de courant de même période. Notons qu'en raison des valeurs des périodes des ondes et de la profondeur des mers, la « longueur d'onde » des ondes-marée est très grande vis-à-vis de la profondeur : la marée est une « onde longue ». Il en résulte qu'à un instant donné, sur une verticale, les courants de marée sont théoriquement les mêmes à toute immersion et ils sont d'autant plus faibles, toutes choses égales d'ailleurs, que la profondeur d'eau est plus grande. Les vitesses et les déplacements verticaux des particules sont très faibles par rapport aux vitesses et déplacements horizontaux, et la pression en un point a une valeur uniquement due à la hauteur d'eau locale au-dessus du point.

On peut donc ramener sans intermédiaire la mesure du niveau à une mesure de pression. Il n'en est pas de même pour les mouvements liés aux vagues.

La marée au large

Nous connaissons par des enregistrements les caractères principaux des marées sur nos côtes, et c'est d'ailleurs un besoin immédiat pour la navigation. Mais que savons-nous

de la *marée au large* ? La solution complète du problème des marées n'a pas encore été pratiquement obtenue, malgré les travaux de H. Poincaré, c'est-à-dire que nous ne connaissons la marée que là où des observations ont été faites. Or, il n'existe pas encore actuellement d'appareil susceptible de mesurer celle-ci au-dessus des grandes profondeurs, car nous ne disposons pas d'enregistreurs de pression mettant en évidence des fluctuations de pression de l'ordre de un mètre d'eau sous des pressions statiques correspondant à 4 000 m d'eau, profondeur moyenne des océans. Les marées océaniques nous sont donc inconnues, au moins pratiquement, quoique divers schémas de la propagation de la marée dans les océans aient été élaborés à partir, d'une part des caractères des marées sur les côtes et dans les îles, d'autre part de considérations d'hydrodynamique théorique.

Sans doute, dans les mers secondaires, ou « littorales », peu profondes, comme la Manche, peut-on assez aisément mesurer, à partir d'un bâtiment mouillé, c'est-à-dire ancré sur le fond, le courant de marée en divers points et, à partir des valeurs mesurées du courant et des valeurs côtières de la marée, en déduire de proche en proche la marée dans toute la région marine où ces mesures de courant ont été faites : il suffit d'appliquer les équations du mouvement fluide reliant la vitesse du courant à la pente superficielle de l'eau ; c'est là une opération simple, notamment dans le cas pratique fréquent où on peut considérer que la marée dans la mer est une onde « libre », dérivée de la marée océanique, en négligeant l'effet des forces génératrices de la marée sur les molécules d'eau de cette mer. C'est ainsi que l'on a obtenu les caractères des marées de la Manche et de la Mer du Nord, ou plus exactement ceux de l'onde semi-diurne lunaire qui en est la composante principale. La propagation de cette onde est repérée par la forme des « lignes cotidales » qui sont les lignes où la pleine mer se produit au même instant, compté en heures lunaires de 1 heure 2 minutes, à partir du passage de la Lune au méridien de Greenwich. L'amplitude est fournie par les lignes d'égale amplitude.

La figure page 22 met en évidence des traits particuliers de la propagation de la marée : en Mer du Nord, les lignes cotidales forment des faisceaux autour de points dits « amphidromiques », où la marée est nulle. Et dans la Manche, au voisinage du méridien de Cherbourg, on constate un resserrement des lignes cotidales et une diminution des amplitudes sur la côte britannique. Dans ces mers, ce fait est dû à l'action de la force de

Coriolis suscitée par les mouvements mêmes des particules sous l'effet de la marée et plus précisément par les courants de marée. La force de Coriolis a, entre autres effets, celui d'augmenter l'amplitude de la marée sur le rivage qui se trouve, dans l'hémisphère nord, à droite de la direction de propagation de la marée. A Cherbourg, la marée est trois fois plus importante qu'à Christchurch, son vis-à-vis sur la côte anglaise. Dans la mer du Nord, le phénomène est plus complexe, mais est aussi rattaché à la force de Coriolis.

Autres ondes mal connues

A mesure que se développe la technique de mesure des variations de niveau, que se multiplient les postes d'observations, la mer paraît être le siège de mouvements dont le spectre de périodes s'étend du dixième de seconde à la journée et au-delà. L'origine de certaines catégories d'ondes de période comprise entre quelques minutes et plusieurs heures n'a pas toujours été clairement établie. Mais des progrès considérables ont été faits, notamment par l'étude de ces surélévations de niveau dues aux dépressions météorologiques qui sont capables d'entraîner des désastres comme ceux de février 1953. Ces ondes ont une amplitude particulièrement importante lorsque la perturbation météorologique se propage sur la mer à la même vitesse que le gonflement liquide : il y a alors résonance. Il est probable d'ailleurs que des phénomènes de résonance analogues sont responsables, au moins au départ, de la naissance des vagues.

Ajoutons que toute perturbation locale marine, due par exemple à un mouvement du sol sous-marin, engendre des ondes qui se propagent dans les mers en subissant une atténuation faible au cours de leur propagation. On cite la réaction du marégraphe de Rochefort en liaison avec la fameuse éruption du Krakatoa. La mer peut transmettre à longue distance des perturbations initialement localisées.

Enfin, au sein même de la mer, on note souvent en un lieu déterminé des fluctuations d'immersion des courbes d'égale température ou d'égale salinité ; l'origine de ces « ondes internes » est mal connue, mais elles semblent très générales.

La mer agitée par les vents

Vagues et houle sont des mouvements à période relativement courte (1 à 30 secondes) auxquels notre organisme est sensible. Ils sont engendrés par le vent, mais le mécanisme

exact de leur formation est mal connu. L'observateur marin le moins exercé décèle dans le mouvement de la surface de la mer sous l'effet du vent une complexité déroutante : des crêtes de vagues plus ou moins longues défilent sous ses yeux à un rythme très irrégulier ; la hauteur des lames est très inégale, leur direction de propagation différente ; sur le « dos » des grosses lames, des petites se lèvent constamment et grandissent. Mais les grosses lames, qui sont aussi en moyenne les plus « longues », c'est-à-dire celles pour lesquelles la distance entre crêtes successives est la plus grande, avancent plus vite que les plus courtes et les dépassent donc constamment ; comme, de surcroît, les unes et les autres ont des directions de cheminement qui peuvent être bien différentes, les fluctuations très irrégulières de la surface de la mer semblent défier toute analyse.

Une telle agitation de la mer, en présence du vent qui la lève, est ce qu'on appelle la *mer du vent*.

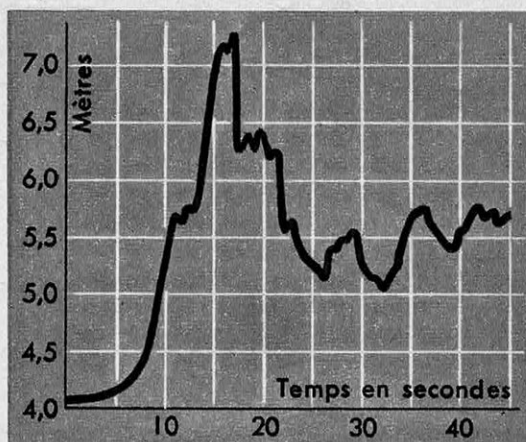
Que devient cette agitation lorsqu'elle se propage dans des régions marines éloignées où ne se fait pas sentir le vent qui l'a engendrée, c'est-à-dire lorsqu'elle s'avance hors de la zone de la dépression météorologique qui est à l'origine du vent ?

Les lames de la mer du vent ayant des directions de propagation différentes divergent en gros de la zone intéressée par la dépression barométrique génératrice de l'agitation. La dimension de ces dépressions est généralement faible vis-à-vis de celle des océans, mais pas nécessairement de celle des mers. A mesure que l'on s'éloigne de la zone de vent, les lames se propagent dans des directions de plus en plus parallèles, donc les crêtes sont de plus en plus longues. D'autre part, l'expérience et la théorie montrent que les lames les plus longues — à longue période — se propagent plus vite que les courtes. Il s'opère ainsi un étalement de la zone d'agitation au cours du temps. Cette dépendance entre la vitesse de propagation des lames et leur longueur constitue la « dispersion ».

Enfin les lames les plus courtes subissent, par frottement et viscosité, des pertes d'énergie bien plus considérables que les lames longues : il y a amortissement sélectif des composantes de courte période.

La houle au large

Ce triple triage — divergence en direction, dispersion, amortissement sélectif des fréquences élevées — fait qu'il arrive en un point éloigné une agitation constituée par



LE MASCARET est bien connu dans l'estuaire de la Seine. Le relevé cinématographique du niveau à Caudebec, inscrit sur ce graphique, montre que la montée de la marée peut se faire de façon discontinue.

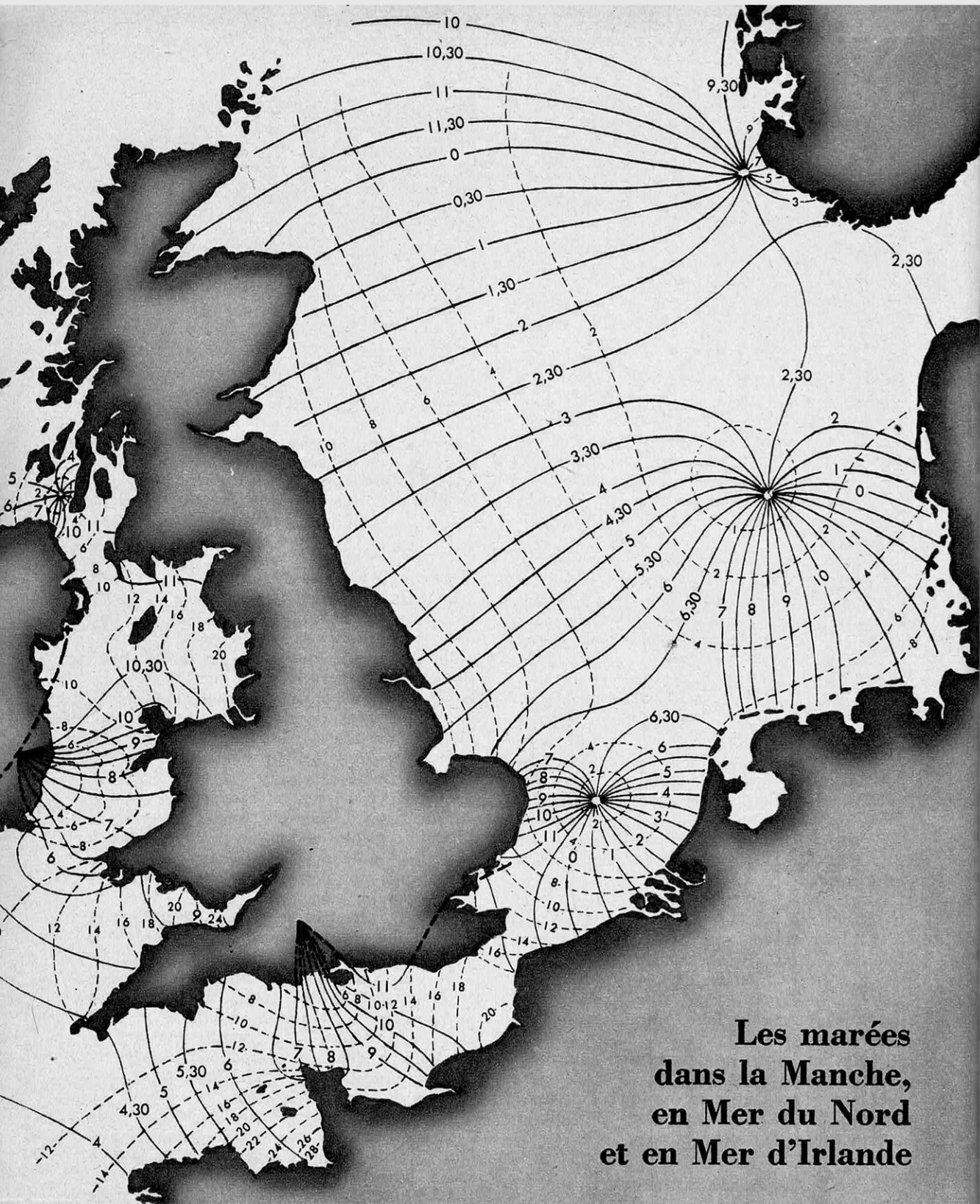
des lames à longues crêtes, dont l'amplitude et la période varient lentement au cours du temps : c'est la houle, qui tend vers une onde cylindrique « monochromatique », c'est-à-dire de période unique, à profil sensiblement sinusoïdal. A mesure que le temps passe, les lames de la houle ont, en un point, des périodes de plus en plus courtes à mesure qu'y parviennent les lames initiales moins longues.

Si donc les lames proviennent d'une dépression météorologique unique, les premières lames liées à cette dépression n'arriveront d'abord que sous forme d'une houle à peine sensible de longue période ; puis la période diminuera constamment tandis que l'amplitude augmentera, qu'elle passera par un maximum, puis décroîtra.

Grâce à cette analyse que fait naturellement l'espace marin, s'il s'offre assez vaste à la propagation de l'agitation de la « mer du vent », nous sommes conduits à admettre que la houle cylindrique serait la composante élémentaire de l'agitation réelle de la mer. La superposition d'un grand nombre de houles cylindriques monochromatiques reconstitue l'agitation complexe constatée dans la zone du vent générateur.

L'analyse des fréquences présentes dans l'agitation marine due à la houle a pu être faite pour la première fois à la fin de la deuxième guerre mondiale en Angleterre.

La houle théorique suit des lois d'ordre hydrodynamique relativement simples. En particulier, la vitesse à laquelle avance le gonflement que constitue une lame dépend en général et de sa période (ou de sa longueur



Les marées dans la Manche, en Mer du Nord et en Mer d'Irlande

LES lignes en trait plein sont les lignes cotidales, c'est-à-dire celles qui relient les divers lieux où la pleine mer se produit au même instant; ces lignes qui sont graduées en heures lunaires convergent en des points dits amphidromiques où la marée est nulle. Les lignes pointillées sont celles où les marées ont une égale amplitude; elles sont chiffrées en pieds d'après les cartes de l'Amirauté Britannique.

d'onde) et de la profondeur locale d'eau. La célérité diminue quand la profondeur diminue, mais le frottement ne joue pas de rôle essentiel dans ce phénomène. Lorsque plusieurs périodes composantes sont présentes, chaque onde correspondante avance à sa vitesse propre en sorte que le profil de la surface marine varie constamment. Cependant on peut distinguer, en présence d'une houle « monochromatique », diverses zones de profondeur.

Au large, la profondeur n'intervient pratiquement pas ; la célérité ne dépend que de la longueur d'onde. Du côté des très petites profondeurs (quelques mètres), longueur et célérité ne dépendent pratiquement plus que de la profondeur d'eau, c'est-à-dire que toutes les houles se propagent alors à la même vitesse.

Les déformations de la houle aux abords des côtes

Dans le cas général, l'amplitude des mouvements des particules d'eau, les fluctuations de pression au passage du mouvement diminuent rapidement quand la profondeur croît. Aussi le mouvement de houle est-il cantonné dans une couche dont l'épaisseur est égale à la demi-longueur d'onde : c'est une onde de surface par opposition aux ondes « longues », dont la marée est le type. Les trajectoires des particules sont, en première approximation, fermées : c'est la déformation de la surface qui se propage et non pas l'eau. Cependant, quand l'amplitude de la houle devient importante, les trajectoires ne sont pas fermées et il y a, en général, un petit transport d'eau dans le sens de la propagation de la houle : ce transport joue un très grand rôle dans la genèse des courants provoqués par la houle au voisinage des côtes, courants qui sont un des éléments essentiels à faire intervenir dans la technique des ouvrages maritimes.

Ajoutons que la houle ne peut pas revêtir n'importe quel profil. La cambrure, rapport de l'amplitude totale à la longueur d'onde, ne peut pas, au large, dépasser $1/7$ environ et des valeurs plus faibles encore par profondeurs moindres. Quand la cambrure limite est atteinte, la houle commence à « déferler », la crête s'écroule vers l'avant. Au début du déferlement, la vitesse des particules d'eau de la crête est égale à la vitesse de propagation : c'est là l'explication du sport dit « surf riding ».

Quand la houle arrive sur de petites profondeurs elle subit, outre des diminutions de célérité et de longueur d'onde, des modifications d'amplitude, de cambrure, de direction de propagation (réfraction) que l'on

peut aisément étudier théoriquement à partir d'une houle donnée au large. Ces possibilités offertes à nos ingénieurs depuis une vingtaine d'années leur fournissent un moyen d'étude du comportement de la houle d'une grande importance pour l'établissement des ouvrages maritimes.

Les études poursuivies depuis 1912 au Maroc, celles qui ont été faites ensuite chez les Anglo-américains au cours de la deuxième guerre mondiale, pour les besoins des opérations militaires, ont conduit à la mise au point de méthodes de prévision de houle. Les possibilités ainsi offertes, jointes à la connaissance des modifications de la houle sur les petits fonds, permettent la prédétermination, au moins approchée, de ce que sera la houle sur une côte à partir de la situation météorologique. C'est là un progrès immense et très récent.

Un autre progrès important est la mise au point, depuis la guerre, d'appareils d'enregistrement de houle à poser sur le fond ou à installer sur les navires. Ainsi est résolu ce problème très difficile de la connaissance de la houle réelle, que l'observation oculaire ne peut fournir de façon satisfaisante. On dispose ainsi de la base sûre qui permet d'aborder avec fruit le problème des propriétés statistiques de la houle, celui des contraintes subies par les navires sur des houles réelles, dont il est superflu de souligner le grand intérêt pratique.

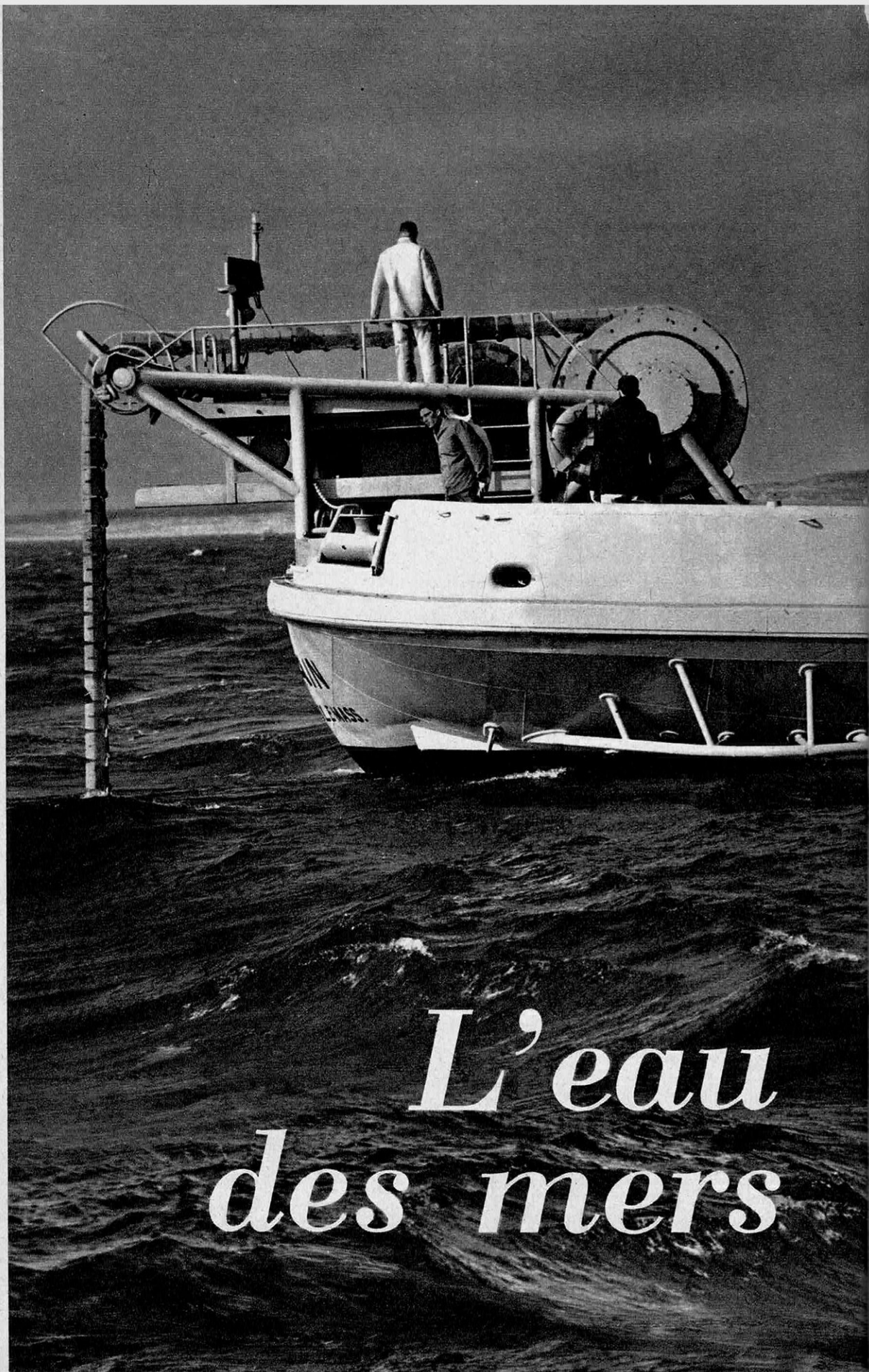
Au terme de cet exposé sur les mouvements de la mer qui relèvent de causes, de méthodes d'observations, de théories bien différentes, il faut nous rappeler que, dans la mer, simultanément et en tout point, toutes ces catégories de mouvements sont présentes. Dès lors, une mesure unique en un point quelconque risque de n'avoir pas de sens : pour séparer les composantes de courant dues à la marée, des mouvements transitoires liés aux vents, etc., il est nécessaire d'effectuer des observations locales prolongées, à partir, par exemple, d'un navire ou d'une bouée ancrés.

Du seul point de vue de la séparation des mouvements dus aux diverses causes, il y a déjà de difficiles problèmes pratiques. Quand on passe aux problèmes théoriques on se heurte à des difficultés d'autre nature.

Le domaine des mouvements marins est peut-être celui où les ressources de l'esprit pratique des marins et de l'esprit d'abstraction des mathématiciens doivent être conjuguées le plus étroitement.

H. LACOMBE

Professeur au Muséum
National d'Histoire Naturelle



*L'eau
des mers*

Une énorme masse liquide contenant 50 000 milliards de tonnes de sels

LA mer est une grande étendue d'eau salée». Cette phrase de notre première géographie de l'école communale résume l'essentiel de l'océanographie: la mer est grande en surface puisqu'elle couvre plus des deux tiers du globe; grande en volume car, avec une profondeur moyenne de 3 800 m, elle atteint presque 1,4 milliard de kilomètres cubes; enfin salée, étant donné qu'un mètre cube d'eau de mer contient en moyenne 35 kg de sels dissous, dont le plus important est le chlorure de sodium.

Que contient l'eau de mer ?

Depuis que Dittmar entreprit en 1873 les premières analyses chimiques précises de l'eau de mer, on sait qu'elle possède, en valeur relative, une composition approximativement constante, mises à part les dilutions locales par les fleuves ou la fonte des glaciers. En valeur absolue, au contraire, il existe des variations importantes et, par exemple, la Méditerranée orientale où l'évaporation est intense contient presque deux fois plus de sels que la Baltique, mer peu salée. Mais dans tous les cas, la proportion des principaux constituants reste sensiblement la même. En réalité, plutôt que de sels, il vaut mieux parler d'ions: ainsi la molécule de chlorure de sodium NaCl n'existe à proprement parler que dans l'état gazeux; en solution aqueuse, les ions sodium Na^+ et les ions chlore Cl^- vivent séparément, les charges électriques qu'ils portent les empêchant de réagir sur l'eau comme ferait le métal sodium ou de se dégager en bulles de gaz comme ferait le chlore. Dans le tableau page 26, figurent les masses des corps que contient un mètre cube d'eau de mer; les plus importants sont à l'état d'ions, et dans ce cas leur nom est accompagné du symbole chimique; les autres sont des molécules non dissociées ou bien figurent à l'état de composés plus ou moins complexes.

Il faut aussi se rappeler que la mer enferme des gaz dissous; l'azote et les gaz rares de l'atmosphère sont inertes, mais l'oxygène et le gaz carbonique sont liés au développement de la vie; en outre, les nitrates et phosphates constituent les éléments nutritifs essentiels dont la teneur règle l'abondance de la vie animale dans les Océans.

Les multiples produits des organismes vivants

Les corps dont nous venons de parler sont ceux qui existeraient dans l'eau de mer en l'absence de toute vie. Le grouillement biologique qui règne depuis la surface jusqu'aux abîmes les plus profonds que vient d'atteindre le bathyscaphe introduit quelques variantes dans ce tableau; ainsi il existe, par mètre cube, entre 2 et 3 grammes de carbone organique dissous, et une quantité notablement plus forte sous forme vivante qui constitue ce qu'on appelle le «leptopel». On trouve aussi comme résidus de la vie des pigments organiques (en particulier des chlorophylles, surtout près de la surface), des hydrates de carbone, et des vitamines, notamment la vitamine B_{12} qui contient du cobalt et semble jouer un rôle biologique important.

Enfin, certains éléments relativement rares du tableau peuvent être concentrés des dizaines de milliers de fois par les organismes marins pour leurs besoins: ainsi le strontium constitue le squelette de certains radiolaires, le silicium celui des diatomées, l'iode s'accumule dans le corps thyroïde des poissons et dans les algues, le cuivre entre dans la composition de l'hémocyanine qui est le pigment respiratoire de beaucoup d'invertébrés, le manganèse semble nécessaire au développement des plantes marines, le vanadium constitue jusqu'à 10 % du sang de certains ascidiens, le zinc enfin se concentre dans la rate, le foie et l'estomac; c'est ainsi qu'un isotope radio-

Ce que contient, en moyenne, un mètre cube d'eau de mer

Chlore Cl^-	19	kg
Sodium Na^+	10,6	kg
Ion sulfate SO_4^{--}	2,6	kg
Magnésium Mg^{++}	1,3	kg
Calcium Ca^{++}	0,4	kg
Potassium K^+	0,4	kg
Ion bicarbonate HCO_3^-	140	g
Brome Br^-	65	g
Acide borique	26	g
Strontium Sr^{++}	13	g
Fluor F^-	1,4	g
Ion nitrate NO_3^-	moins de	0,7 g
Rubidium Rb^{++}	0,1 à	0,4 g
Aluminium	moins de	0,4 g
Silicium	moins de	0,4 g
Lithium Li^+	0,1	g
Baryum Ba^{++}	30 à	90 mg
Iode I^-		50 mg
Phosphate PO_4^{---} ..	moins de	50 mg
Fer	moins de	50 mg
Zinc	1 à	12 mg
Cuivre	4 à	11 mg
Manganèse	1 à	10 mg
Etain	4 à	6 mg
Vanadium	2 à	4 mg
Arsenic	2 à	3 mg
Uranium		2 mg
1 mg ou moins :		
Argent	Molybdène	
Bismuth	Nickel	
Cadmium	Or	
Cérium	Plomb	
Chrome	Sélénium	
Cobalt	Tungstène	

actif du zinc, résultat des explosions nucléaires de Bikini, a été décelé longtemps après dans le corps de poissons du Pacifique par des chercheurs japonais.

La mesure de la salinité

Pour caractériser l'eau de mer en un lieu, une profondeur et un instant donnés, la première notion physique est la salinité, c'est-à-dire la teneur totale en sel dissous; nous avons dit que la valeur moyenne, en masse dissoute, était de l'ordre de 35 millièmes, mais il y a de notables variations dans l'espace et le temps. La méthode la plus employée et la plus précise pour mesurer la salinité consiste à doser le chlore par précipitation au mo-

yen de l'azotate d'argent, mais cette technique offre deux inconvénients : d'abord il faut faire une prise d'eau en envoyant une bouteille qui se ferme à la profondeur choisie; habituellement plusieurs bouteilles sont réparties le long d'un même câble, à diverses profondeurs, et se ferment en même temps. Il faut un temps appréciable pour descendre et remonter à bord ces bouteilles; ensuite il faut procéder à l'analyse chimique, à terre habituellement, ce qui est long et fastidieux.

On a tenté de remplacer cette méthode analytique par des techniques plus rapides; la meilleure consiste à mesurer sur place la conductibilité électrique; le navire océanographique immerge, au bout d'un câble à plusieurs conducteurs, une cellule qui comporte deux électrodes impolarisables, en platine habituellement; l'eau de mer remplit la cellule, et sur le navire on en mesure la résistance à l'autre bout du câble au moyen d'un pont électronique. La résistance électrique de l'eau étant fonction à la fois de sa salinité et de sa température, si cette dernière est mesurée au même point et au même moment (voir plus loin), la salinité s'en déduit. Cette technique est rapide et permet des enregistrements continus.

Une autre grandeur liée à la composition chimique de l'eau de mer est ce qu'on appelle son pH : ce symbole caractérise l'acidité ou la basicité de la solution, selon que le pH est inférieur ou supérieur à 7. En surface, le pH des Océans est habituellement compris entre 8,0 et 8,3, ce qui signifie que la mer est faiblement alcaline à cause des carbonates et de l'acide borique qu'elle contient. La mesure du pH qui se fait par des méthodes électrochimiques, est importante pour les biologistes et les pêcheurs, car les animaux marins sont très sensibles à l'alcalinité; l'abondance ou la rareté du hareng est, entre autres causes, liée à de faibles variations du pH.

Radioactivité des eaux marines

La radioactivité naturelle de la mer est très faible, moindre que celle de la plupart des roches terrestres. C'est l'isotope 40 du potassium qui contribue le plus à cette radioactivité, avec 12 000 désintégrations environ par seconde et par mètre cube d'eau de mer; puis vient l'isotope 87 du rubidium avec 200 désintégrations, ensuite l'uranium et ses descendants avec une centaine environ. Viennent enfin deux corps radioactifs artificiels, je veux dire créés à partir d'autres éléments par le rayonnement cosmique, à savoir le tritium ou isotope 3 de l'hydrogène, et le carbone

14; presque tout le tritium du globe est concentré dans les premiers cent mètres des Océans et y produit 25 désintégrations par seconde et par mètre cube; cette homogénéité de la couche superficielle qu'on appelle « étage supérieur » prouve l'importance des mouvements verticaux qui y règnent et qui y assurent par diffusion un mélange presque parfait, contrairement à « l'étage inférieur » des Océans où la stratification horizontale assure la stabilité et freine les transports verticaux. Quant au carbone 14, il est environ 300 fois plus abondant par unité de volume dans l'Océan superficiel que dans l'atmosphère et produit environ 7 désintégrations par seconde et mètre cube d'eau de mer.

On a beaucoup étudié ce problème de l'équilibre du carbone 14 entre air et eau, ce qui a permis de préciser le cycle du gaz carbonique. Selon Craig, chaque molécule de CO_2 atmosphérique a 3 chances sur 100 d'être fixée dans l'année par un végétal terrestre et 14 de se dissoudre dans la mer; il faut par suite 6 ou 7 années pour que tout le gaz carbonique ait subi l'une ou l'autre de ces transformations, réversibles bien entendu. D'autre part, la teneur en carbone 14 des eaux profondes de l'Atlantique prouverait que ces eaux devaient être en surface il y a une dizaine de siècles, ce qui donne une idée de la lenteur des mouvements à l'étage inférieur.

Isotopes et « eaux lourdes »

Un sujet voisin est celui de la composition de l'eau de mer en isotopes stables; on sait qu'il existe deux isotopes stables de l'hydrogène, l'hydrogène ordinaire H et l'hydrogène 2 ou deutérium D, tandis qu'il existe trois isotopes stables de l'oxygène, le plus abondant étant ^{16}O , puis ^{18}O (0,2 % seulement). La teneur en « eaux lourdes » H_2^{18}O et H^{18}OD de l'Océan a donné lieu à de nombreuses recherches; en particulier, l'équilibre entre les gaz carboniques et les eaux contenant les isotopes 16 et 18 de l'oxygène dépend de la température, aussi a-t-on proposé d'utiliser le rapport de ces isotopes dans les carbonates des coquilles marines comme un thermomètre géologique qui mesurerait la température de l'eau de mer où vivait l'animal quand il a formé sa coquille.

La température

La mesure de la température dans les profondeurs de la mer est importante en elle-même, et aussi parce que sa relative facilité en fait une méthode indirecte, commode pour calculer d'autres grandeurs plus difficiles à

atteindre, telles que les vitesses des courants.

La technique usuelle est celle du thermomètre à renversement, dont la colonne de mercure se brise par un retournement commandé.

Un appareil enregistreur classique et commode est le bathythermographe, inventé vers 1940; un thermomètre à dilatation de liquide agit sur un stylet qui inscrit la température sur un verre fumé, tandis que la pression de l'eau déplace le verre dans une direction perpendiculaire; on obtient ainsi une courbe de température en fonction de la profondeur, la précision étant comprise entre 0,2 et 0,5 degré pour la température et de 1 % de l'échelle totale pour la profondeur, ce qui est assez remarquable pour un appareil léger, robuste et facile à mettre en œuvre au bout d'une simple corde à piano.

Depuis que l'océanographe français Idrac, prématurément disparu, eut tracé la voie vers 1930, la construction de thermomètres électriques enregistreurs a beaucoup progressé. Actuellement on utilise des thermistances, semi-conducteurs dont la résistance électrique diminue beaucoup quand la température augmente; cela permet aisément des mesures à 0,01 degré et même mieux. La thermistance est souvent accouplée à la cellule de résistance électrique, formant un ensemble de faible encombrement que l'on immerge à la profondeur voulue, tandis que sur le pont du navire des enregistreurs électriques inscrivent à la fois les variations des deux grandeurs essentielles qui caractérisent physiquement l'eau de mer, la salinité et la température. Ces techniques d'enregistrement continu sont en vogue, et à juste titre car elles facilitent le travail en mer et en outre évitent les fastidieuses routines ultérieures d'analyses chimiques; mais un dérangement de ces appareils est toujours à craindre, et il faut constamment les vérifier et les étalonner.

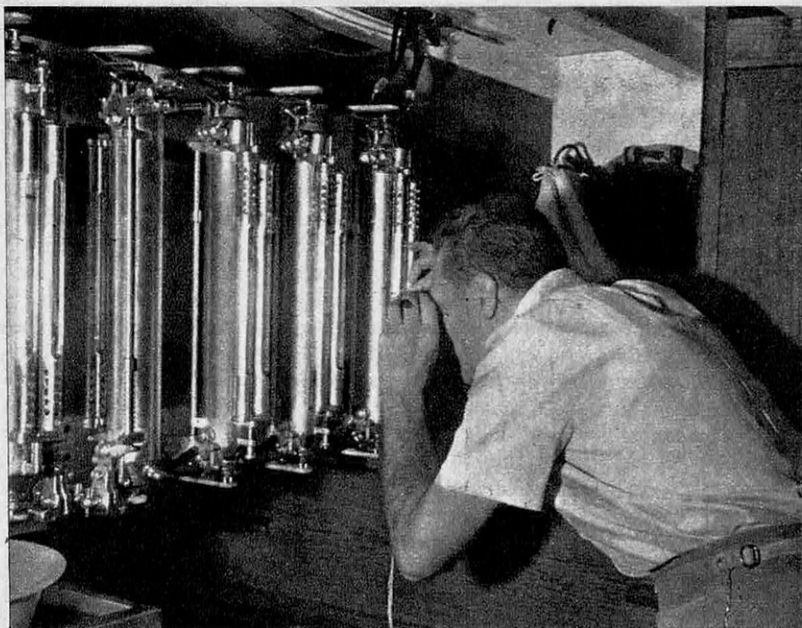
La transparence de l'eau

Le rayonnement solaire est, en mer comme sur la terre ferme, la source initiale de l'énergie végétale, grâce à la photosynthèse, et ultérieurement de l'énergie animale grâce aux espèces herbivores. Aussi le problème de la pénétration de l'eau de mer par les radiations solaires est-il essentiel pour l'économie générale de la vie sur notre planète.

Sous une épaisseur de quelques mètres, l'eau est à peu près opaque à tout rayonnement, pour des raisons diverses: les ondes de la radio ou du radar sont immédiatement absorbées par l'eau salée à cause de sa conductibilité électrique; l'infrarouge est vite ar-

Thermomètres à renversement

Ces thermomètres fixés aux bouteilles de prise d'échantillons d'eau sont couramment employés dans les travaux océanographiques. Lorsque la bouteille se retourne, la colonne de mercure se rompt et la partie restant dans le tube capillaire permet de connaître la température correspondant à la profondeur où s'est effectué le renversement. La précision de la mesure atteint presque le centième de degré.



rété par les molécules d'eau elles-mêmes; les courtes longueurs d'onde (ultraviolet, rayons X et gamma) sont freinées par les électrons des atomes ou par leurs noyaux. En fin de compte, les seules radiations pour lesquelles la mer soit relativement transparente se situent dans le spectre visible et le proche ultraviolet. Remarquons au passage que cette coïncidence du domaine de transparence de la mer avec l'étroit groupe de longueurs d'onde qui affecte la rétine de l'homme et des animaux n'est pas fortuite et provient sans doute du fait que la vie a dû prendre naissance dans les Océans.

Jusqu'à quelle profondeur les radiations solaires pénètrent-elles dans la mer? Cela dépend évidemment de la longueur d'onde parce que, même à l'intérieur du spectre visible, les diverses radiations sont inégalement absorbées: loin des côtes, c'est dans le bleu que l'eau est la plus transparente, tandis que dans les eaux côtières les pigments provenant des algues déplacent souvent ce maximum dans le vert. Dans les eaux océaniques les plus pures, celles de la mer des Sargasses dans l'Atlantique, ou celle de la Méditerranée Orientale, le facteur d'absorption par mètre est minimum pour la longueur d'onde $0,4 \mu$ et voisin de 3 %, à peine supérieur à celui de l'eau distillée pour la même longueur d'onde, soit 2 %. Dans ces conditions, on peut calculer à quelle profondeur il faut immerger un récepteur donné pour qu'il accuse encore tout juste la présence d'un

résidu de lumière du jour: 700 m pour les émulsions photographiques les plus sensibles et avec une pose de une heure, un peu plus pour l'œil humain, 1 000 m environ pour les photomultiplicateurs électroniques les meilleurs. Bien entendu, il s'agit là de valeurs théoriques, et les profondeurs réelles seraient notablement moindres la plupart du temps; en outre, les animaux marins émettent eux-mêmes, par phosphorescence, une lumière qui risque d'être plus intense que ce reste de clarté solaire.

Les couches diffusantes

En fait, on admet qu'à partir de 200 ou 300 m les radiations solaires n'agissent plus guère sur la vie; c'est en effet vers cette profondeur que se réfugient pendant le jour les espèces du plancton qui fuient la lumière, tandis qu'elles remontent vers la surface au crépuscule, produisant ces mouvements de la célèbre « D.S.L. » (deep scattering layer, couche diffusante profonde) qui ont longtemps intrigué les océanographes en produisant des échos parasites sur les sondages ultrasonores.

En général l'eau de mer contient des particules en suspension qui diffusent la lumière, un peu comme les gouttes de brouillard dans l'atmosphère; il s'agit, dans les mers peu profondes comme la Manche, de dépôts terri- gènes, de vase et de sable; un peu partout de micelles colloïdales et de particules d'hydro-

xyde de fer; enfin de cellules vivantes qui constituent le plancton, si abondant parfois qu'au feu des projecteurs du bathyscaphe il simule une chute de flocons de neige. Ces particules ont des dimensions très variables, leur diamètre le plus fréquent étant de l'ordre de $2,5 \mu$, ce qui est grand par rapport à la longueur d'onde de la lumière et explique que la diffusion ne soit pas sélective, c'est-à-dire soit à peu près la même pour toute couleur; il s'agit donc là d'une diffusion très différente de celle que produisent les molécules d'air dans l'atmosphère, laquelle croît beaucoup quand la longueur d'onde diminue (d'où le bleu du ciel et celui des lointains). Si la mer et le ciel sont bleus tous deux, c'est par des mécanismes opposés; le ciel est bleu comme de la fumée de cigarette, par diffusion sur des particules de dimensions petites par rapport à la longueur d'onde; la mer est bleue comme de l'encre de stylographe, par absorption des grandes longueurs d'onde, le rouge en particulier.

La brume sous-marine

La diffusion non sélective de la lumière par les particules en suspension dans l'eau de mer explique le caractère particulier du paysage sous-marin, tel que le voit le plongeur à travers le hublot de son masque; les vieilles gravures de notre enfance où nous admirions en scaphandre, avec le Capitaine Nemo et le Professeur Aronnax, de vastes panoramas sous-marins, sont en réalité remplacées par une brume bleue, un mur lumineux qui noie tous les détails vers une quinzaine de mètres de distance; et quand le plongeur s'éclaire en emportant des lampes, c'est encore pire, tout comme l'automobiliste dans le brouillard qui voit moins encore avec ses phares que pendant le jour. Le sous-marin qui cherche un ennemi ne le verra donc pas avec de la lumière visible, et encore moins avec l'infrarouge qui s'absorbe tout de suite; les ondes électromagnétiques du radar sont elles aussi arrêtées rapidement; seules les ondes élastiques peuvent franchir des centaines de mètres, et même des kilomètres d'eau, et c'est ainsi qu'on sonde les fonds, par le temps d'écho des vibrations sonores ou ultrasonores.

Pour en finir avec cette question de l'optique de la mer, je voudrais dire un mot d'un problème à l'ordre du jour, celui de l'étude du résidu de polarisation de la lumière du jour. On sait que la lumière du ciel bleu est polarisée, c'est-à-dire vibre dans une direction donnée au lieu de posséder la symétrie de révolution; les insectes sont sensibles à

cette polarisation et s'en servent comme d'une boussole, ainsi que von Frisch l'a montré sur les abeilles; or, il est possible que certains animaux marins, des crustacés en particulier, soient eux aussi sensibles à la direction de la polarisation lumineuse; cela donne un intérêt biologique à ces études sur la polarisation de la lumière sous-marine, études poursuivies en particulier en France par A. Ivanoff.

La pollution de la mer

« Homme libre, toujours tu chériras la mer ». Ce vers exprime le symbole d'un Océan vierge, dernier refuge de celui qui souffre de notre civilisation mécanique. Hélas, il n'a pas suffi à l'homme de déboiser inconsidérément la terre ferme, de détruire les espèces animales; il commence à transformer les mers en une immense poubelle, sans penser à l'avenir.

Dès 1915, la « peste du mazout » fut dénoncée, et on ne fit que hausser les épaules; maintenant c'est une triste réalité; les navires engloutis vident peu à peu leurs réservoirs de carburants, et surtout les pétroliers nettoient leurs citernes avec l'eau puisée autour d'eux, déversant par jour près de 7 000 m³ de mazout à la surface des mers, selon l'évaluation des spécialistes; si cette masse huileuse se mélangeait en volume avec l'eau des Océans, ce ne serait pas grave, mais elle s'étend en surface sous forme d'une couche monomoléculaire qui recouvre presque tout le globe, et que propagent les courants: ainsi le Gulf Stream n'apporte pas que de la chaleur bienfaisante, adoucissant en hiver le climat de toute l'Europe; il nous inonde de mazout; d'après les zoologistes, en 1953, près de la moitié des nids de mouettes et de cormorans furent détruits par le mazout.

Les résidus radioactifs des industries nucléaires constituent un autre danger, plus grave peut-être parce que plus insidieux et à plus longue échéance. Il y a quelque mois, à Monaco, les spécialistes de tous les pays ont discuté ce problème des déchets et de la façon de les immerger au large avec le moins de risques possible. Malheureusement la question est politique autant que scientifique, ce qui rend la solution plus malaisée. Ici, comme dans le cas du mazout, il faut que l'opinion publique prenne conscience de ce devoir vis-à-vis de nos descendants: leur laisser une planète propre, habitable, plaisante à vivre.

YVES LE GRAND
Professeur au Muséum National
d'Histoire Naturelle et à l'Institut
Océanographique.



Plaines, vallées et monts sous-marins

L'AMBITION qui, pendant le XIX^e siècle, a poussé tant d'explorateurs à découvrir des terres nouvelles, à remplir les blancs de la carte du monde ou à gravir des montagnes inviolées ne correspond plus à rien aujourd'hui : demain, un palace s'édifiera au sommet de la Coudia du Hoggar, une gare aérienne à chaque pôle.

Pourtant, il y a à peine un quart de siècle, les deux tiers de la planète, cachés sous les eaux océaniques, étaient encore presque inconnus : on s'imaginait le fond des mers comme des plaines sans relief, remplies de sédiments fins. Seules étaient recensées les très grandes fosses du pourtour du Pacifique, et surtout celles de l'Indonésie étaient bien connues. On savait, depuis la pose des premiers câbles télégraphiques, qu'une chaîne centrale très élevée, dont les plus hauts sommets arrivaient parfois à émerger, occupait le milieu de l'Atlantique.

L'extraordinaire lenteur des sondages au plomb n'avait permis de connaître qu'un nombre très limité de points sur le fond des océans. La découverte, un peu avant la première guerre mondiale, des procédés de son-

dage par échos sonores, puis ultrasonores, sur le sol sous-marin, à laquelle s'attachent en France les noms de Pierre Marti, de Langevin et de Chilovsky, bouleversait toutes les méthodes de travail. Le tracé du fond s'inscrivait *automatiquement*, sans que le bâtiment d'exploration ait besoin de stopper. C'est le navire allemand « Meteor » qui, entre les deux guerres, a le premier utilisé ce procédé cartographique dans l'Atlantique méridional. Plus récemment, diverses méthodes, comme l'utilisation des différences de phases entre deux émetteurs d'ondes (DÉCCA, etc.) permettent, ce qui est aussi précieux, de faire le point du sondage avec une très grande précision.

Dans une très grande mesure cependant, l'essor de l'océanographie, tant au point de vue des méthodes et des instruments que des résultats, est dû à la seconde guerre mondiale et est essentiellement américain. Notre contribution, du moins en Méditerranée occidentale, où des explorations très soignées peuvent être faites avec des moyens relativement restreints et où nous avons bénéficié du génie inventeur de Jacques-Yves Cousteau, n'est pas négligeable. L'océanographie soviétique s'est récemment réveillée avec, immédiatement, une allure grandiose.

← Le fond à l'emporte-pièce

Un grand « carottier » à piston, type Kullenberg, est ici mis à l'eau par l'équipage sur le flanc du navire océanographique américain « Atlantis ». Ce tube emporte-pièce est capable de prélever un cylindre de 20 m de longueur à n'importe quelle profondeur à travers les sédiments couvrant le fond des mers.

Le précontinent

On sait depuis le comte de Marsilli, au XVIII^e siècle, qu'en avant des continents, il existe presque toujours une plaine plate, descendant environ à 150 m, parfois à près de



Au milieu de l'Atlantique, vers 2 600 m de fond, une gorgone parmi les blocs de lave

300 m : le *plateau continental*. A son extrémité vers le large, la pente augmente très brusquement; c'est ce que l'on appelait autrefois le « talus continental » et qu'il vaut mieux appeler « pente continentale ». En effet, si le plateau doit sa platitude à un comblement par des sédiments venant de la terre, avec quelques reliefs rocheux qui en émergent, la pente continentale est entièrement rocheuse. Elle est à peine recouverte d'une pellicule de vase qui est sans cesse remise en mouvement. Cette pente est découpée par un très grand nombre de gorges ou de vallées profondes : les canyons sous-marins. Ceux-ci ont été creusés par l'érosion aérienne, en Méditerranée, à la fin du Miocène. Plusieurs fois, un affaissement de cette bordure précontinentale l'a fait disparaître sous les eaux, les vallées étant alors profondément pénétrées par la mer. Ces périodes d'immersion étaient chaque fois interrompues par des périodes d'émer-

sion partielle. Celles-ci sont dues à l'exagération de la courbure des continents avec, simultanément, l'augmentation du creux des océans. La limite entre ces deux déformations de sens inverse est ce que j'ai appelé la *flexure continentale*. A chaque nouvelle crise de tension, cette limite reculait vers l'intérieur du continent, le volume du creux océanique augmentant. La partie inférieure de la vallée restait donc définitivement submergée et ainsi soustraite à l'érosion et aussi, en grande partie, au comblement par les alluvions fluviales.

Le glacis précontinental

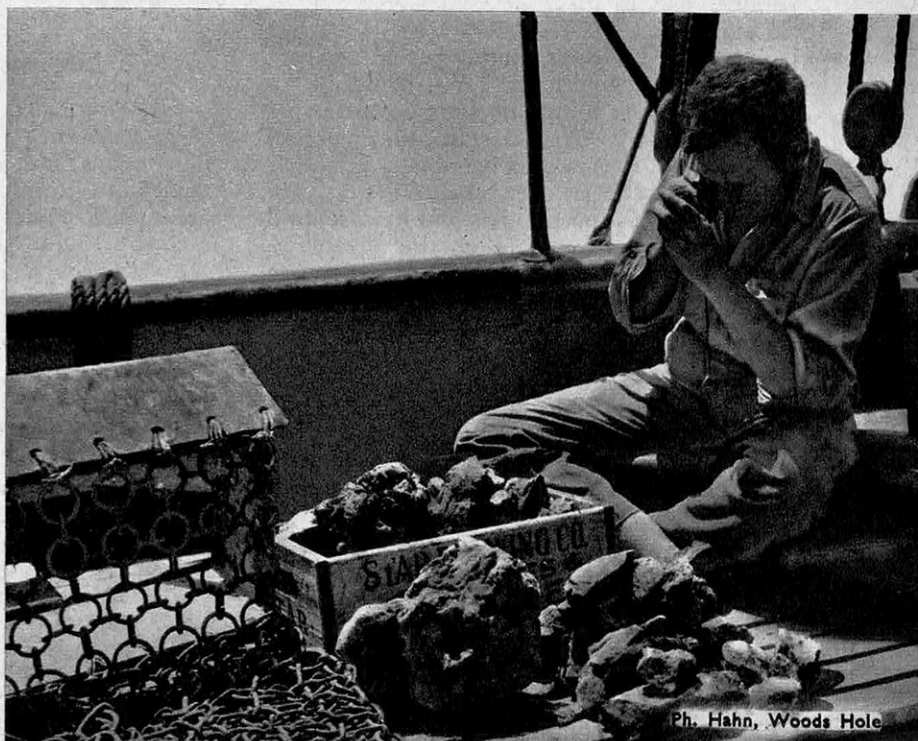
La pente méditerranéenne est ainsi incisée par de très profondes gorges, à peine séparées par d'étroites crêtes. Au bas de la pente, vers 2 000 m, par contre, s'étendent de grands cônes qui sont faits de sables d'origine flu-



Ph. Bruce Heezen, Lamont Obs.

Sur la grande dorsale médio-atlantique

L'Atlantique est parcouru de bout en bout par une longue crête montagneuse dorsale. La photographie ci-dessus, prise à 2 580 m, montre le sommet des monts qui bordent le fossé médian de cette dorsale ; on y voit très nettement des blocs anguleux de lave à peine recouverts par un peu de boue à globigérines avec quelques animaux des profondeurs. A droite, le filet métallique de la drague a ramené du tréfonds des fragments de roche patinés en noir en surface.

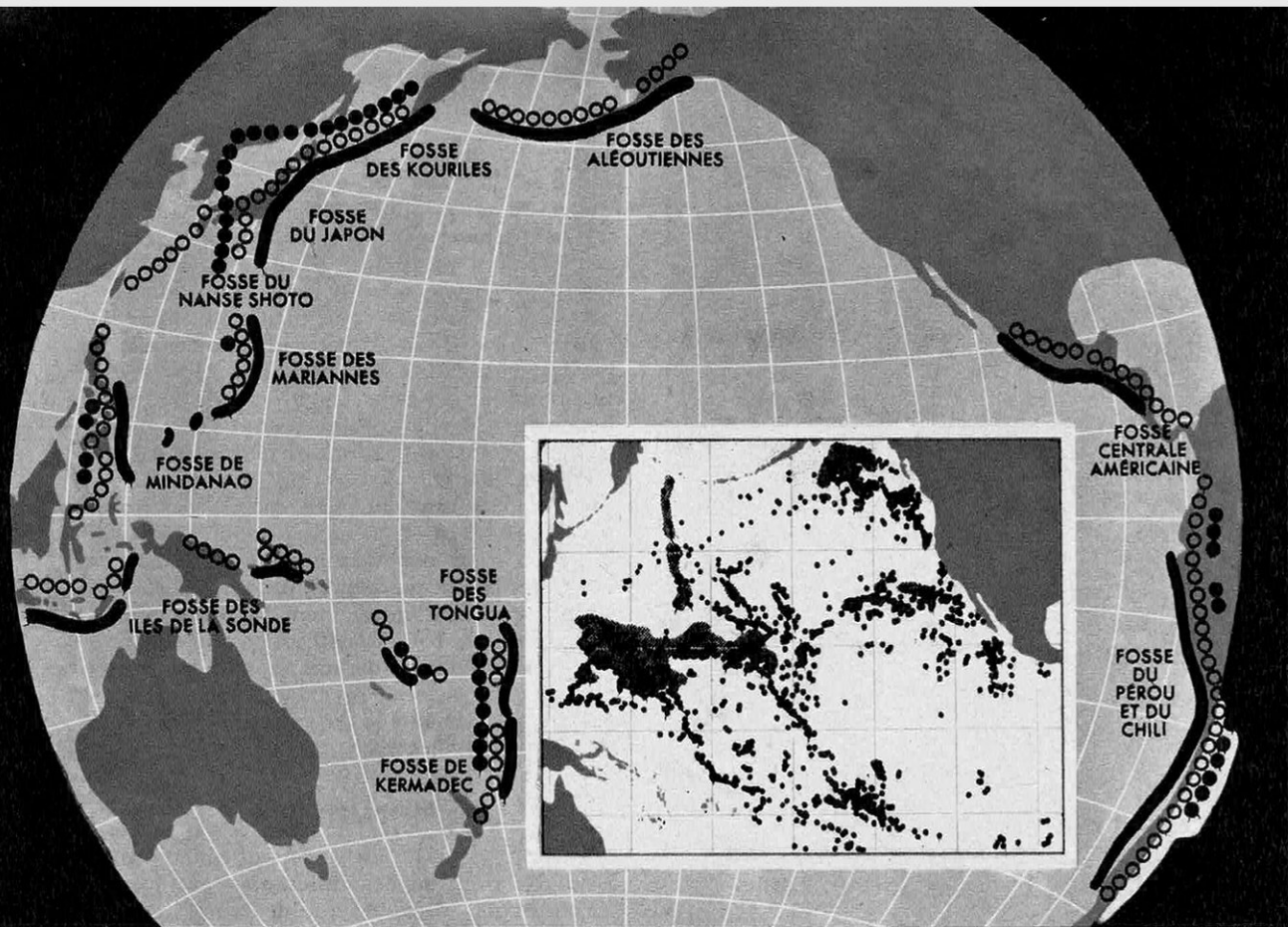


Ph. Hahn, Woods Hole

viatile, ou de galets mous que forme la vase qui s'est écroulée vers le bas sous l'influence de toutes les secousses, surtout sismiques, ou par suite d'un excès de surcharge. C'est le *glacis précontinental* qui précède une morne plaine de 2 650 à 2 900 m. L'horizontalité presque parfaite de cette plaine provient du comblement d'une cuvette originelle par la perpétuelle chute des carapaces d'animaux planctoniques, « cette neige qui tombe éternellement sur le fond », comme dit Ruth Carson, et de tout ce qui est entraîné par les courants vers le fond : grains de sables fluviaux ou littoraux flottant entre deux eaux grâce à une carapace d'air, écoulements de boue au fond des vallées sous-marines lors des crues des fleuves du continent, mais aussi simple remise en mouvement des vases écroulées. Plusieurs fois, le bathyscaphe a constaté que le seul contact de son guide-rope transformait les vases qui revêtaient les parois des vallées en un nuage opaque flottant pour un temps dans les eaux.

Les fosses profondes

Il est très curieux de constater qu'aux profondeurs près de ces différentes parties du précontinent, près du double dans l'Atlantique par rapport à la Méditerranée, la morphologie de ces deux mers est identique. Seule, celle du Pacifique est différente : ses deux parties précontinentales, américaine à l'est, asiatique ou australienne à l'ouest, sont



creusées de très profondes fosses où se trouvent les plus grandes profondeurs du monde. La dernière plongée du « Trieste », le bathyscaphe de Piccard, devenu américain, montre que la fosse des Mariannes atteint 10 914 mètres !

La fosse limite est unique sur le bord du précontinent américain. Au contraire, à l'ouest, il existe toute une série de fosses parallèles, séparées par des rides qui émergent souvent sous forme d'îles en guirlandes, celles de l'Indonésie. Les travaux des océanographes, surtout néerlandais, ont montré qu'il s'agissait de plissements encore vivants à l'heure actuelle, sous l'effet de forces dont on recherche la nature, mais qui, très vraisemblablement, sont les mêmes que celles qui ont donné lieu aux plissements créateurs des grandes chaînes de montagne du type des Alpes.

Il est très possible qu'une fosse analogue se trouve dans l'Atlantique, à la limite entre l'Océan et la partie submergée du continent. Des fragments en seraient représentés par les grandes fosses des Antilles, comme celle de Porto Rico ou celle des Antilles australes ; mais, comme en Méditerranée, elles auraient disparu, comblées par la masse des sédiments.

Des mesures géophysiques (sismique artificielle, mesure de la gravité) permettent de séparer le tréfonds fait de matière continentale de celui fait de matière proprement océanique.

Les monts sous-marins

L'horizontalité des plaines abyssales n'est pourtant pas parfaite. Dans la plupart des océans, leur surface unie est brusquement interrompue par des monts sous-marins aux pentes très raides. Ce sont probablement toujours des cônes simples, mais souvent groupés en chaîne sur une dorsale. Ces reliefs abyssaux sont rares en Méditerranée ; jusqu'à présent, on n'a repéré qu'un grand sommet, plus haut que l'Etna, dans la mer Tyrrhénienne, et un autre qui émerge sur la fosse de l'île d'Alboran, en Méditerranée occidentale. Mais il est très probable qu'il en existe plusieurs en Méditerranée orientale.

Des chaînes analogues existent sur le rebord américain de l'Atlantique, dont une émerge, celle des Bermudes. La grande majorité se trouve de part et d'autre de l'énorme chaîne centrale qui débute au sud de l'Islande,

← Fosses et monts du Pacifique

Les ronds blancs sont les épicentres des tremblements de terre superficiels, les ronds noirs, ceux des tremblements d'origine profonde supérieure à 600 km. En cartouche, la répartition des monts sur le fond, dont certains, le long du Bouclier de Corail, affleurent sous forme d'atolls. Les régions ombrées sont celles où une érosion marine du passé a tronqué le sommet de ces cônes volcaniques qui sont devenus des guyots (D'après F. P. Shepard).

se poursuit au milieu de l'océan, émergeant aux Açores et à l'île de l'Ascension, et contourne l'Afrique pour rejoindre, d'une part, la grande dorsale du milieu de l'océan Indien, d'autre part, à l'est du Pacifique, la dorsale qui porte la mystérieuse île de Pâques.

Les « guyots »

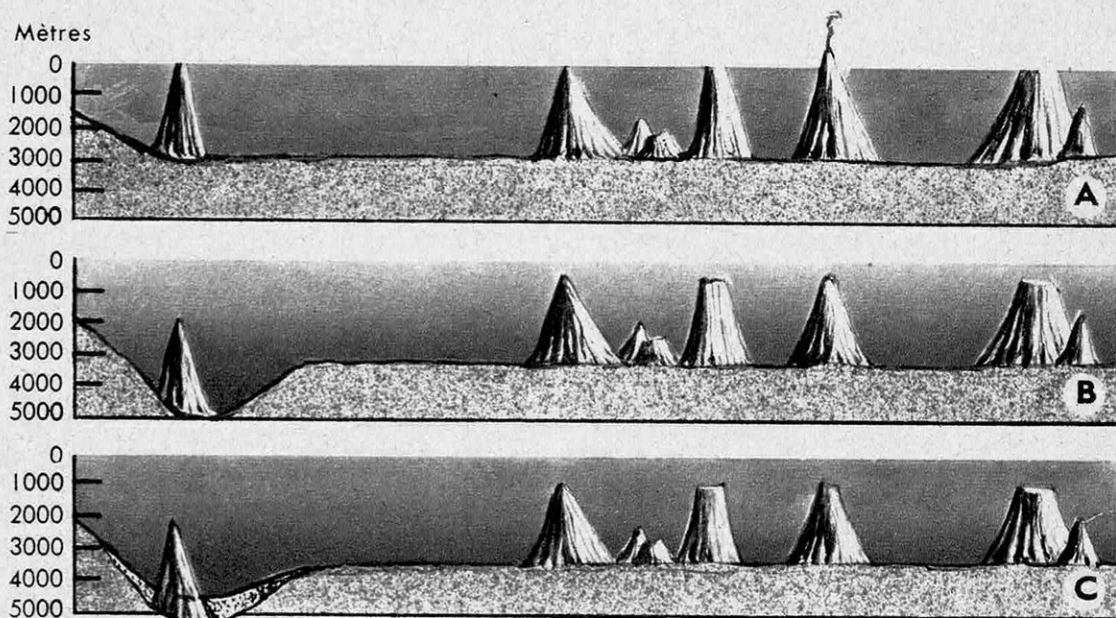
Un certain nombre de ces monts sous-marins ne sont plus des cônes pointus, mais des cônes tronqués appelés *guyots*. Ils excitent particulièrement l'attention parce que la surface horizontale qui les tronque est, quelle que soit la profondeur, recouverte de galets et aussi parfois de fossiles de faibles profon-

deurs qui permettent de savoir à quelle époque s'est produite la troncation du cône sous l'effet des vagues de surface et le temps (géologique) qu'a duré son affaissement jusqu'à la profondeur actuelle.

Il semble que toutes ces montagnes sous-marines aient été des volcans de laves. Quant aux dorsales, elles semblent faites de roches cristallines de profondeur, de même nature chimique que celles des volcans qui en surmontent les flancs.

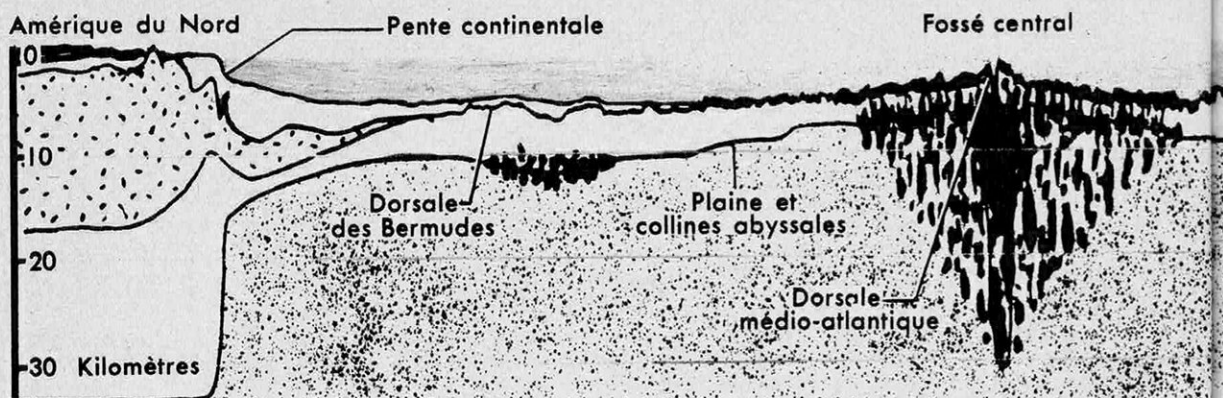
La dorsale atlantique

La dorsale du centre de l'Atlantique se compose en fait de trois parties. Le premier tiers de la pente est hérissé de volcans sous-marins; le second semble en revanche comporter des bassins où se sont accumulées de grandes quantités de sédiments. Quant au tiers supérieur, il est entièrement volcanique. Mais le sommet même est entaillé par une très grande fente en forme de V que les océanographes américains comparent à cette suite de fossés profonds (*Great Rift Valley*) qui débute par le fossé du Jourdain et de la mer Morte et se poursuit à travers l'Afrique orientale qui contient les Grands Lacs et est bordée de grands volcans. C'est aussi une



ESSAI D'INTERPRÉTATION de l'évolution des pics sous-marins et des guyots dans le golfe de l'Alaska avec, à gauche, la fosse des Aléoutiennes. En A, le sommet des pics volcaniques se trouve à peu près au niveau de la mer, où il est attaqué par le ressac. En B, la descente continue du fond du

Pacifique a soustrait ces sommets à l'érosion marine; celui de gauche a été entraîné plus profondément dans le plissement qui a donné naissance à la fosse des Aléoutiennes. En C le même pic, encore plus bas, a été en partie enterré par les sédiments qui ont rempli la fosse (D'après H. W. Menard).



zone volcanique. Le commandant Cousteau, avec sa « troïka », a obtenu à 3 000 m de profondeur d'admirables photographies de laves « cordées », comme celles du Vésuve. C'est l'origine de presque tous les tremblements de terre de l'Atlantique. Les caractéristiques de cette fente sont donc les mêmes que celles du fossé africain. Au cours des temps, la fente en V s'est comblée sous l'effusion des laves, mais elle se reforme sans cesse.

Distension et descente du fond

Le seul moyen qui permette de rendre compte de l'ensemble de ces faits, c'est d'admettre que toutes ces fentes océaniques et continentales sont des fissures de *distension*, correspondant à une dilatation, à une extension de la croûte continentale ou du fond des océans. Cette dilatation s'accompagne d'une descente générale de ce fond, démontrée par l'affaissement continu des guyots et de tous les monts volcaniques sous-marins du Pacifique. Quand ceux-ci étaient situés dans la zone climatique, où peuvent se développer les coraux constructeurs, ils sont surmontés d'un récif annulaire ou atoll.

Il y a plus d'un siècle, Charles Darwin expliquait déjà la forme en anneau des atolls par l'affaissement continu de leur support qui n'était autre qu'un volcan, affaissement contre lequel luttèrent les coraux par leur croissance en hauteur. Les nombreuses mesures géophysiques qui ont été faites à Bikini, les grands sondages effectués sous des atolls comme Funafuti (îles Ellice), Bikini, Eniwetok, ont vérifié l'exactitude de l'hypothèse géniale de Darwin.

Les fosses du Pacifique

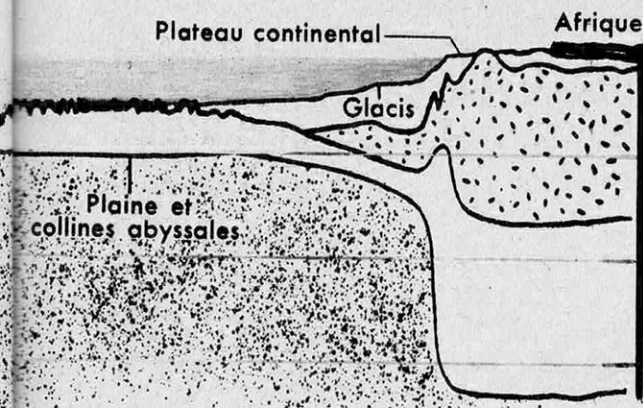
Mais au lieu d'avoir une seule fente, comme c'est le cas pour l'Atlantique et l'océan Indien, le Pacifique a un véritable ré-

seau complexe de fissures. Une des plus belles dorsales est celle qui porte les îles Hawaï.

Si le fond de cet océan s'agrandit sans cesse, cela nous permet peut-être de comprendre l'origine des curieux plis en creux qui sont les fosses les plus profondes du monde, limitant à l'extérieur le Pacifique central. Dans la célèbre théorie de Wegener, celles-ci étaient considérées comme les cicatrices de l'arrachement des continents qui, flottant sur un magma visqueux, auraient dérivé vers l'Orient — mais sous l'impulsion de quelle force ? Toutes les recherches géophysiques, surtout néerlandaises, ont montré que ces plis ne pouvaient résulter que d'une compression, soit superficielle et venant du centre des continents, soit profonde et venant alors du centre des océans. Le fond de ces profonds sillons abyssaux correspond à l'émergence d'un très grand plan de cassures plongeant à 45° vers l'extérieur jusqu'à des profondeurs très en-dessous de l'écorce terrestre, vraisemblablement à plus de 700 km. Les tremblements de terre d'origine superficielle, intermédiaire et très profonde proviennent de ce plan. Le sens d'inclinaison de celui-ci semble témoigner du chevauchement de la croûte continentale sur la croûte océanique à l'extérieur de la fosse limite.

Le précontinent asiatique

Le précontinent asiatique est lui-même plissé en guirlandes et fosses. Mais c'est la plus proche du centre du Pacifique qui semble limiter deux domaines différents : à l'extérieur, à l'exception peut-être du fond du fossé, les mesures sismiques et gravimétriques ont montré qu'il s'agit de la croûte continentale, granitique ou sédimentaire, c'est-à-dire de cette matière essentiellement silico-alumineuse (sial) dont sont faits les continents, tandis que le centre du Pacifique, comme tous les océans, est fait d'un matériau à prédominance



Les Provinces de l'Atlantique

Cette coupe transversale de l'Océan Atlantique, des États-Unis à l'Afrique, est basée sur de nombreux sondages aux ultrasons et quelques profils sismiques. Les roches sédimentaires de surface sont laissées en blanc ainsi que les sédiments meubles. En ponctué, la croûte continentale essentiellement granitique, puis, en dessous, en blanc, les couches lourdes qui descendent très bas sous les continents et remontent presque à la surface sous les océans. Les taches noires représentent la pénétration, dans la croûte, du magma très lourd que forme le « manteau ». Sauf la dorsale, la coupe serait la même à travers la Méditerranée, du Golfe du Lion à l'Algérie.

silico-magnésienne et ferrique (sima) dont la composition est analogue à celle des laves basaltiques. Par surcroît, le rebord continental et les guirlandes externes portent des volcans essentiellement explosifs, dont le magma est visqueux, tandis que le centre de l'océan n'a que des volcans calmes qui émettent des laves fluides, en général des basaltes.

Les recherches sismiques ont mis en évidence sous la croûte une surface de discontinuité, surface de Mohorovicic, qui sépare la croûte (granitique ou basaltique) du « manteau ». Dans la première, la vitesse des séismes est toujours inférieure à 6,5 km par seconde; dans le manteau, au contraire, elle dépasse 8. Vraisemblablement, celui-ci est fait de roches qui n'apparaissent que rarement en surface (éclogites), mais qui sont connues par les fragments d'astéroïdes tombés du ciel (météorites pierreuses). Sous les continents, la surface de Mohorovicic se trouve à une très grande profondeur, mais elle s'élève beaucoup sous les océans et, sous la dorsale centre-atlantique, elle atteint presque la surface et semble même se mêler au magma basaltique.

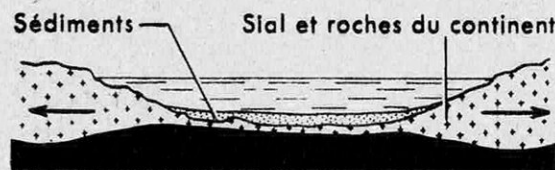
Un fait très troublant a, en outre, été récemment constaté. On pensait autrefois que le flux thermique qui vient des profondeurs terrestres était dû, non pas uniquement à la dissipation de la chaleur interne, mais à la désintégration des corps radioactifs : radium, uranium, radiopotassium, qui sont surtout

abondants dans la croûte granitique. En fait, le flux de chaleur est plus important sous la dorsale centre-atlantique. Ceci peut s'expliquer par l'extrusion de matière chaude par les fissures de son sommet.

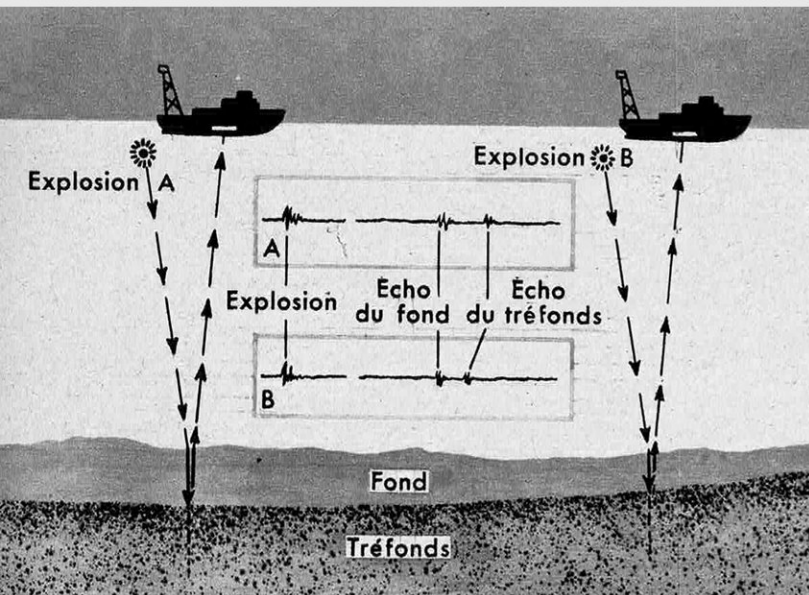
Cinquante années de recherches ont suffi à bouleverser la géologie sous-marine et même toutes les théories géologiques. Dans bien moins de temps, nous pourrions vraisemblablement savoir ce que valent ces nouvelles hypothèses...

Les dépôts du plateau continental

Dans tous les manuels d'océanographie, on trouve que les sédiments qui se déposent dans les mers sont d'autant plus fins et contiennent moins d'éléments d'origine terrestre qu'ils sont plus éloignés des côtes. Plus on se rapproche du centre des océans, par conséquent des zones profondes, plus la quantité de débris d'animaux du plancton augmente. Les dépôts du plateau continental, émergés et cimentés, donneront dans l'avenir géologique des roches analogues à celles qui forment la surface de la majorité des continents. Quant aux roches originaires de la profondeur, elles sont assez rares sur les continents actuels, sauf au Secondaire. Cette image n'est d'ailleurs qu'approximative, puisque des « courants de turbidité » peuvent porter les sables fluviaux ou littoraux dans



L'EXTENSION DU TRÉFONDS des mers, ici dans le golfe de Gênes, a déterminé des fissures dans lesquelles la lave s'est introduite, alimentant des volcans sous-marins qui peuvent arriver au jour sous formes de dorsales ou de guyots comme dans le Pacifique. Les flèches indiquent le sens supposé de l'extension.



Sondage par réflexion d'ondes sonores

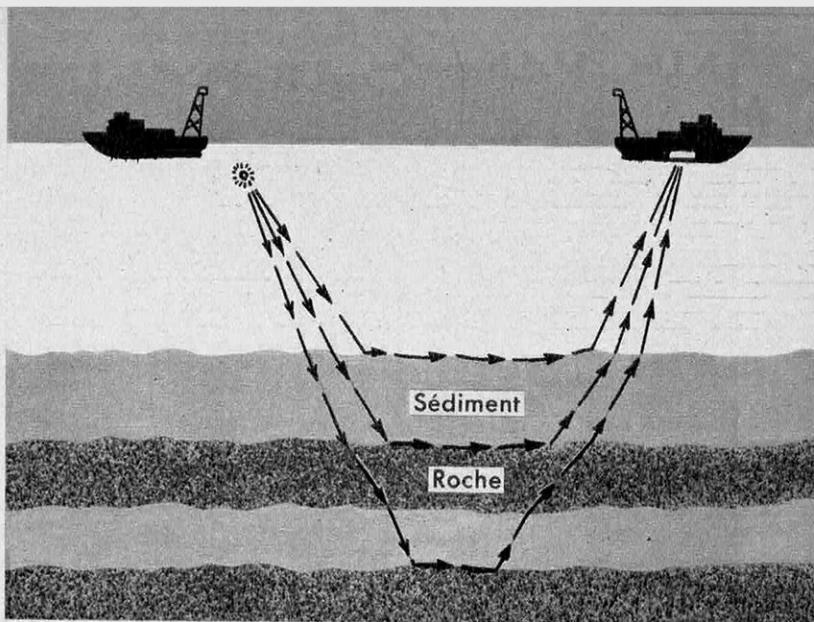
Cette méthode permet, avec un seul navire, de connaître à la fois la profondeur du fond et celle du tréfonds, les réflexions sur ces deux couches étant décalées dans le temps. On voit ainsi sur la figure ci-contre que les échos dus au fond et au tréfonds sont beaucoup plus rapprochés sur la bande d'enregistrement prise en B que sur celle prise en A, l'épaisseur de la couche superficielle ayant diminué. La méthode exige l'emploi d'explosifs pour que les vibrations soient assez intenses pour traverser les sédiments et se réfléchir.

Une charge d'explosif est larguée pour des mesures de réfraction sismique



Sondage par réfraction sismique

Cette méthode permet de déterminer à la fois l'épaisseur des diverses couches et leur conductibilité vis-à-vis des ondes sismiques, ce qui, par comparaison avec la vitesse de ces ondes telle qu'on l'observe dans des couches terrestres, donne des renseignements sur leur nature. Le long parcours du rayon sismique qui suit la limite entre deux couches de nature différente avant d'émerger à nouveau, nécessite l'emploi d'un navire émetteur et de plusieurs navires enregistreurs ou bouées spécialement équipées.



les grandes profondeurs. En revanche, les baies et indentations de continent peuvent capter les particules les plus ténues qui flottent dans les eaux marines et les accumuler sous forme de vases qui, dans le futur géologique, donneront des argiles et surtout des schistes.

Les sédiments profonds

Les sédiments profonds — ou qui s'accumulent loin des côtes — sont surtout des particules calcaires fines flottées : débris d'animaux planctoniques, de foraminifères, d'algues calcaires et enfin d'organismes siliceux et des plus fines particules de boues d'origine fluviale ou volcanique. A partir d'une certaine profondeur, les particules calcaires sont dissoutes et l'on ne retrouve plus que le résidu insoluble : l'argile rouge.

La réalisation par Kullenberg d'un carottier à piston permet de prélever à l'emporte-pièce 20 mètres de ces vases et de récolter en des points particuliers du fond des océans, sur le sommet d'un guyot, par exemple, tout à fait à l'écart des courants de turbidité, des « carottes » qui présentent l'accumulation des sédiments pendant plusieurs millions d'années. Divers procédés nouveaux permettent de discerner dans ces carottes la succession chronologique des dépôts : pour la partie supérieure, c'est essentiellement le dosage de la proportion, dans le carbone extrait du calcaire des carapaces de foraminifères, du radiocarbone (carbone isotopique ^{14}C dû à l'impact des rayons cosmiques) qu'ils renferment par rapport au carbone naturel.

L'étude dans les grandes profondeurs de la proportion de titane, toujours d'origine

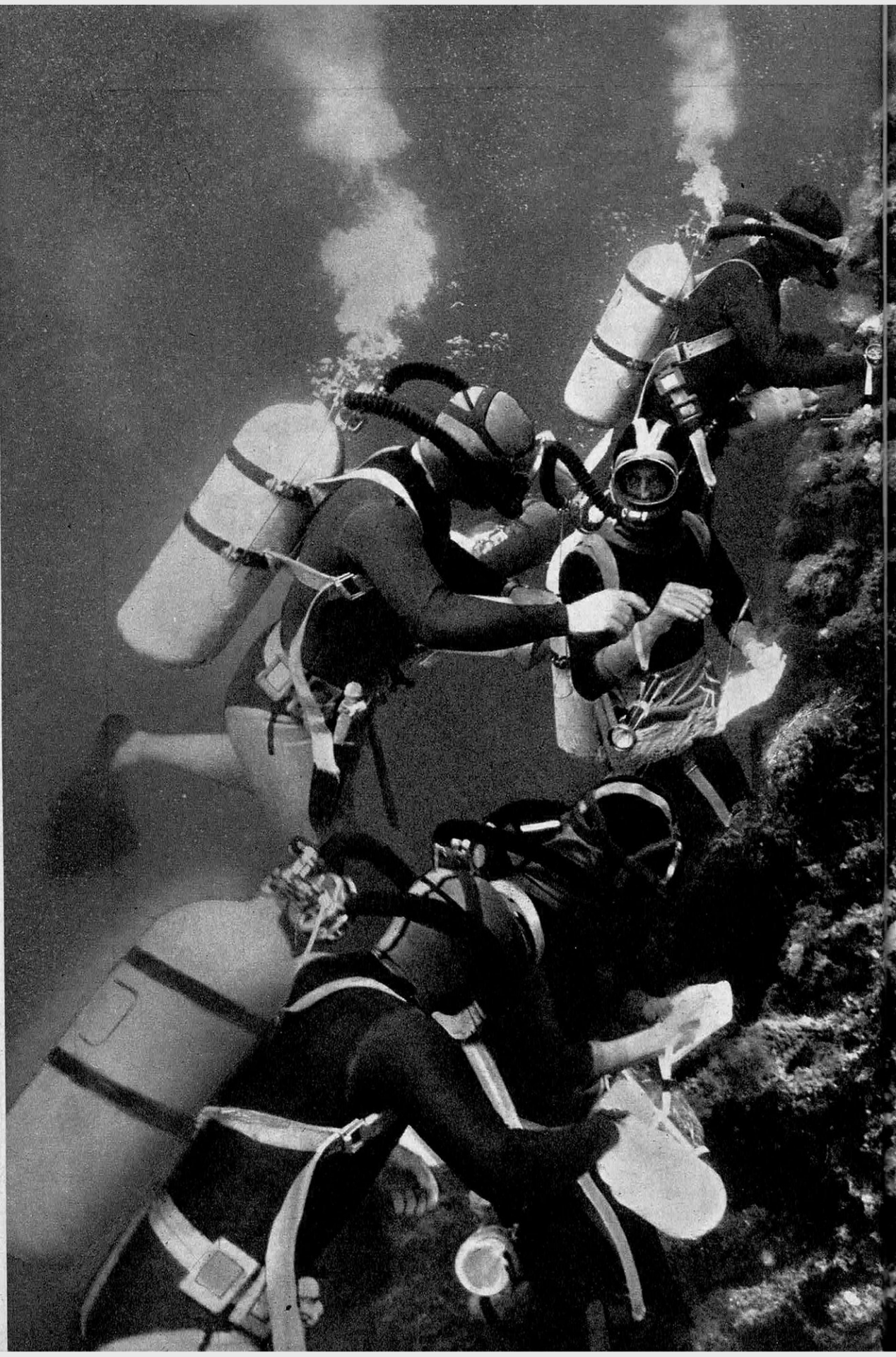
terrestre, par rapport à la masse calcaire, permet de dater plus loin. Enfin, toujours dans les carapaces calcaires, la proportion des isotopes stables de l'oxygène (^{17}O et ^{18}O) permet de connaître la température des eaux où vivaient originellement ces animaux microscopiques. Il est donc possible, directement, de connaître la vitesse de sédimentation dans le fond des océans.

Signalons un dernier point : la richesse en sphérules très petites de ferro-nickel, dues à l'éclatement des météorites des « argiles rouges » des très grands fonds, permet d'établir la liaison entre les phénomènes atmosphériques et la sédimentation océanique. Les océanographes américains ont même prétendu que la quantité était suffisante pour justifier une exploitation industrielle.

La récente pénétration du bathyscaphe « Trieste » dans les plus grandes profondeurs du monde, la construction d'un nouvel engin analogue, franco-belge, vont encore augmenter nos connaissances de la surface invisible de la Terre; mais c'est surtout au développement continu de la photographie sous-marine, des techniques de prélèvement et de mesure, directes et indirectes, au voisinage du fond que nous devons attribuer les plus grands progrès.

Mes jeunes étudiants se plaignaient que, comme la fameuse peau de chagrin, la Terre se fût effroyablement rétrécie ce dernier siècle — encore qu'en fait elle se dilate peut-être — mais il leur reste un immense champ à explorer dans les profondeurs océaniques.

JACQUES BOURCART
Professeur à la Sorbonne





Du scaphandre à la
soucoupe plongeante

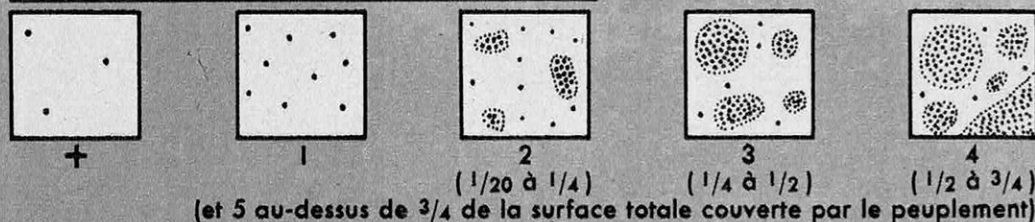
Exploration sous-marine

A U commencement était le plongeur, le plongeur nu... Et la première tentative de l'homme pour pénétrer dans la mer, milieu pour lequel il n'est indiscutablement pas fait, se perd dans la nuit des temps. Cette première tentative n'a pu avoir évidemment que des mobiles bassement terre-à-terre, si l'on peut ainsi s'exprimer en pareil cas. L'homme préhistorique était bien loin, évidemment, de se poser des questions sur la distribution des animaux ou des végétaux marins, et le premier plongeur n'a dû se décider à pénétrer dans cet élément hostile que pour aller chercher plus profondément des mollusques ou des crabes dont il avait déjà dépeuplé, pour se nourrir, les profondeurs accessibles à la seule longueur de ses bras. Dans l'antiquité, les plongeurs nus recherchant les éponges, les nacres ou le corail, s'ils ne plongeaient pas directement pour se nourrir, n'en poursuivaient pas moins un but également intéressé.

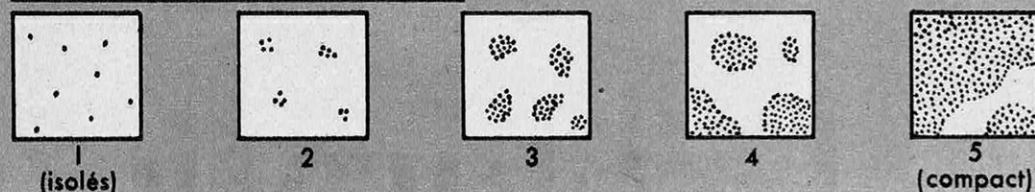
Il paraîtrait que le premier homme poussé vers les profondeurs de la mer par sa simple curiosité fut Alexandre le Grand, qui se fit descendre dans une caisse de verre dont l'étanchéité était assurée par des peaux d'âne, de la résine et de la poix. Les chroniqueurs qui ont rapporté l'expérience content qu'il aurait ainsi observé, à quelques mètres de profondeur, des monstres horribles, ce qui laisse soupçonner que le grand roi était un affreux menteur (à moins que ces inventions ne fussent le fait des chroniqueurs). Il semblerait aussi qu'Alexandre avait des besoins respiratoires très restreints puisqu'il ne serait pas resté moins de soixante-dix nuits dans sa cage de verre ! D'ailleurs ladite cage n'était pas mobile, et Alexandre ne saurait être considéré comme le premier utilisateur d'une technique de prospection autonome.

← Groupe de biologistes collectant végétaux et animaux sur un fond rocheux

Échelle d'appréciation de l'abondance-dominance



Échelle d'appréciation de la sociabilité



Comment on évalue pratiquement la répartition d'une espèce sur un fond rocheux

D'autres que moi ont fait, dans des livres très documentés et souvent de lecture plaisante, l'historique de ces tentatives passionnées de l'homme pour aller voir ce qu'il y avait sous la mer. Je n'y insisterai pas, car je voudrais m'étendre uniquement sur les techniques actuelles, sur celles qui sont à la disposition des chercheurs scientifiques que leur travail appelle en 1960 à prospecter le monde sous-marin.

Le scaphandre autonome

Il semble que le premier scaphandre autonome fut conçu et construit vers 1860 par les Français Rouquayrol et Denayrouze; l'appareil était muni d'un régulateur fournissant au plongeur de l'air à la pression convenable, et d'une petite bouteille dorsale qui lui donnait quelques minutes d'autonomie. En 1926, le commandant Le Prieur introduisait l'usage de la bouteille chargée d'air comprimé à 150 kg/cm² et du détendeur distribuant, sous une pression faible, cet air comprimé à un masque étanche enveloppant la face. Pour la première fois un appareil, non sans défauts certes, mais commode, était vulgarisé et mis dans le commerce. Pour la première fois aussi des scientifiques utilisaient, bien timidement d'ailleurs, le scaphandre autonome comme moyen de prospection. Le Prieur venait d'ouvrir à l'exploration autonome les portes du monde sous-marin. La dernière et décisive étape fut franchie en 1943 par la mise au point d'un nouveau modèle de détendeur dû à la collaboration du commandant J. Y. Cousteau et de l'ingénieur E. Gagnan. L'idée mai-

trise de ce détendeur est un dispositif qui équilibre la pression d'arrivée de l'air inspiré et la pression d'échappement de l'air expiré, ce dernier sortant par un clapet en bec de canard. Avec son détendeur et ses bouteilles d'acier haute-pression, le scaphandre autonome Cousteau-Gagnan va se propager dans le monde entier tant sa supériorité est éclatante sur tous les autres appareils similaires. Le masque et les palmes bien connus de tous les baigneurs en sont évidemment le complément obligatoire. Plus tard, les combinaisons étanches en caoutchouc mousse viendront donner au plongeur le confort nécessaire pour plonger pratiquement en toutes saisons.

Les imperfections du dragage

Bien sûr, la biologie et la géologie marines n'ont pas débuté avec l'utilisation pratique du scaphandre autonome, mais il n'est pas exagéré de dire, dès l'abord, que cet engin a fait faire des progrès immenses à la connaissance des milieux marins littoraux de 0 à 60 m environ, cette dernière profondeur étant celle qu'atteignent couramment sans danger les plongeurs entraînés, à condition de respecter certaines consignes de sécurité relatives aux paliers de décompression lors de la remontée. Cette technique n'est pratiquement utilisable que pour l'étude des fonds eux-mêmes et des peuplements liés à ceux-ci, c'est-à-dire du « benthos ».

Depuis un siècle, l'étude biologique du benthos est exécutée, pour tous les peuplements qui ne sont pas accessibles à pied à la basse mer, à l'aide d'engins manœuvrés à

partir d'un navire : dragues, chaluts, bennes, fauberts (sorte de lourde croix de bois lesté, ou de métal, à laquelle sont fixés de vieux filets, utilisée d'ailleurs depuis des siècles par les pêcheurs de corail rouge, et appelée aussi pour cette raison « Croix des corailleurs »). Tous ces engins sont très imparfaits car ils travaillent à l'aveuglette et ne donnent qu'une idée très incomplète de la faune et de la flore qui existent réellement. Par exemple, lorsque la drague, cadre métallique rectangulaire ou triangulaire à bord d'attaque tranchant et pourvu d'une poche en filet, est tirée sur un fond rocheux irrégulier, elle ne le racle pas de façon continue mais travaille par bonds successifs; même lorsqu'elle est en contact avec la roche, certaines formes solidement fixées, ou encore trop souples et qui se couchent au passage de l'engin, ne sont pas récoltées. Sur un fond meuble, si la drague est tirée trop vite, elle ne fait qu'« écrémer » la surface et laisse échapper tous les animaux qui sont enfouis à une profondeur supérieure à quelques centimètres; si, au contraire, elle est tirée trop lentement, elle s'emplit très rapidement et, une fois pleine, refoule devant elle tout ce qui se présente. Bien entendu aussi, les engins trainants ne donnent aucune information sur la distribution réelle sur le fond des végétaux et des animaux ramenés par la drague. Il ne faut pas oublier encore que sur des fonds irréguliers, formés par exemple d'un chaos de blocs, le travail de la drague n'intéresse que les parties supérieures de ces blocs et ne s'étend jamais aux anfractuosités, aux surplombs, etc. Enfin, il est presque superflu de dire que jamais un engin trainant n'a pu pénétrer dans une grotte sous-marine.

La prospection scientifique

Tout ce que ne peut faire la drague, le plongeur autonome l'exécute, jusqu'à 60 m de profondeur environ.

Pour donner une idée de la façon dont on procède à l'étude générale des fonds et du rôle qu'y joue le scaphandre autonome, le plus simple est sans doute de conter comment nous procédons lorsque nous sommes au large d'une côte inconnue.

Tout d'abord on exécute avec le navire une ligne de sondage (avec le sondeur à ultrasons) pour déterminer le profil et les accidents des fonds en allant du large vers le rivage, aussi près que le navire peut s'en approcher. Les points d'intérêt maximum, sur lesquels porteront les prospections, sont choisis d'après ce profil.

Le navire stoppé, le personnel scientifique

disponible (au moins six personnes) est alors divisé en trois équipes : une restera à bord et fera une série de dragages et de chalutages à partir des fonds de 60 m environ. Les deux autres, débarquées, à bord de youyou ou de chalands légers, comprennent une équipe de plongeurs nus, qui, avec masque et tube respirateur, vont étudier les peuplements de + 1 à - 2 m environ ainsi que la géologie littorale, et une équipe de scaphandriers autonomes.

L'équipement des plongeurs

Les deux ou trois plongeurs qui composent l'équipe sont munis généralement de scaphandres à trois bouteilles qui donnent l'autonomie maximum, du masque et des palmes habituelles, et le plus souvent de combinaisons, même lorsque l'eau de surface est chaude, car au-delà des deux ou trois premiers mètres souvent réchauffés par le soleil, la température est nettement plus basse. Ils possèdent en principe un bathymètre (manomètre leur donnant la profondeur), une montre étanche et un couteau-poignard; bref, un équipement classique. L'équipement spécial comporte ce qui est nécessaire pour la récolte et pour prendre des notes. Pour récolter les êtres fixés, on se sert d'un couteau aplati, analogue à celui utilisé par les peintres pour passer le mastic, couteau muni d'une dragonne (pour éviter qu'on ne soit sans cesse à sa recherche). Au début, nous stockions les échantillons récoltés dans des bocaux de verre épais munis d'une fermeture à ressort, identiques à ceux dans lesquels la ménagère prévoyante fait elle-même des conserves de haricots ou de petits pois. Mais on ne peut demander à un plongeur, quand il se déplace au milieu des rochers ou dans une grotte, de surveiller à la fois ses tuyaux respirateurs et un chapelet de bocaux. La fréquence de la casse (et des estafilades !) nous a conduit à adopter des pots-à-lait en matière plastique munis d'un couvercle (attaché avec une chaînette). Pour les petits spécimens, on utilise des sacs en plastique transparent qu'on ferme avec un élastique, et, pour les très gros échantillons, une sorte de filet monté sur deux demi-cercles en métal se repliant l'un sur l'autre, et qui est pendu à la ceinture. Pas de harpon bien sûr, car le chercheur est déjà bien encombré et la prospection biologique est inconciliable avec la poursuite du poisson.

Ainsi le plongeur peut-il récolter tous les végétaux et animaux fixés et les animaux peu mobiles. Un cadre de surface connue (généralement un demi-mètre carré) peut être appliqué sur la paroi rocheuse par un aide tandis

que le scientifique gratte la roche jusqu'à récupérer tout ce qui se trouve sur la surface ainsi délimitée, ce qui permettra, après comptage et pesée des individus de chaque espèce, de déterminer la « biomasse », c'est-à-dire le poids total de matière vivante fraîche par unité de surface.

L'étude des peuplements

Mais dans beaucoup de cas, à côté de la biomasse, on souhaite étudier la distribution des diverses espèces sur la roche. Il est, dans ce cas, inutile de récolter les espèces observées (à moins qu'on ne soit pas sûr de leur détermination); d'ailleurs, quand on essaye de transférer sous l'eau des espèces fines et légères du rocher dans un sac, on en perd toujours une bonne partie.

Si l'on a en vue l'étude en quelque sorte « sociologique » du peuplement, mieux vaut laisser les espèces en place et donner à chacune d'elle deux notes de 0 à 5 : l'une qui exprime l'abondance de l'espèce par rapport à la surface totale, l'autre qui exprime la tendance qu'ont les individus à se grouper plus ou moins, c'est-à-dire en fait leur sociabilité. L'emploi de cette échelle, imitée de celle utilisée par les phytosociologues du domaine terrestre, et complétée de quelques notations accessoires, permet au plongeur de rapporter à la surface un véritable portrait du peuplement. Le tableau page 42 permet de se rendre compte qu'une espèce affectée des notes 4-3 couvre de $1/2$ à $3/4$ du substrat (coefficient 4 de l'échelle d'abondance-dominance) et s'y trouve en petites « troupes » (coefficient 3 de l'échelle de sociabilité), tandis qu'une autre espèce notée 1-1 couvrira moins de $1/20$ de la surface totale et sera en exemplaires isolés.

Pour rapporter de tels renseignements, qui ne peuvent évidemment être collectés que par un spécialiste rompu à cette technique, le plongeur doit pouvoir prendre des notes sur place, ce qui est très facile grâce à un « bloc » de feuilles de celluloid sur lequel on écrit tout simplement avec un crayon ordinaire. Un complément utile aux observations biologiques est la mesure de certains facteurs ambiants, dont le plus important est l'éclairement (mesuré à l'aide d'un photomètre étanche à cellule photoélectrique).

Cette prospection biologique des fonds littoraux, inaugurée en France peu après la seconde guerre mondiale par P. Drach, professeur à la Sorbonne, dans les eaux froides et troubles de la Manche, s'est développée surtout dans les eaux, plus accueillantes et plus transparentes, de la Méditerranée et des

mers tropicales. Les Français en ont été les pionniers et en restent actuellement encore les principaux utilisateurs.

C'est dans l'étude des grottes sous-marines totalement immergées, qui abondent sur ceux des rivages méditerranéens qui sont faits de roches calcaires, que la technique du scaphandre autonome a donné ses résultats les plus intéressants. L'affaiblissement de la lumière au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'ouverture amène un remarquable triage de la flore d'abord, puis de la faune. Un des aspects les plus curieux de cette étude est la découverte, dans les portions totalement obscures des grottes, d'une couverture animale bien inférieure à la couverture de 100 % qui est pratiquement la règle sur les roches éclairées, diminution qui rejoint curieusement ce qui a été observé à plusieurs reprises à partir du bathyscaphe F.N.R.S. III sur des roches situées à 1 000 ou 2 000 m de profondeur. Une grotte située près de Corfou a d'ailleurs montré aussi des essaims de grandes crevettes qui, normalement, vivent sur le talus continental vers 300 m de profondeur. Dans ces parties obscures des grottes, la roche est souvent couverte d'un enduit pierreux noirâtre, riche en fer, dont l'origine est encore inconnue et dont l'étude est en cours.

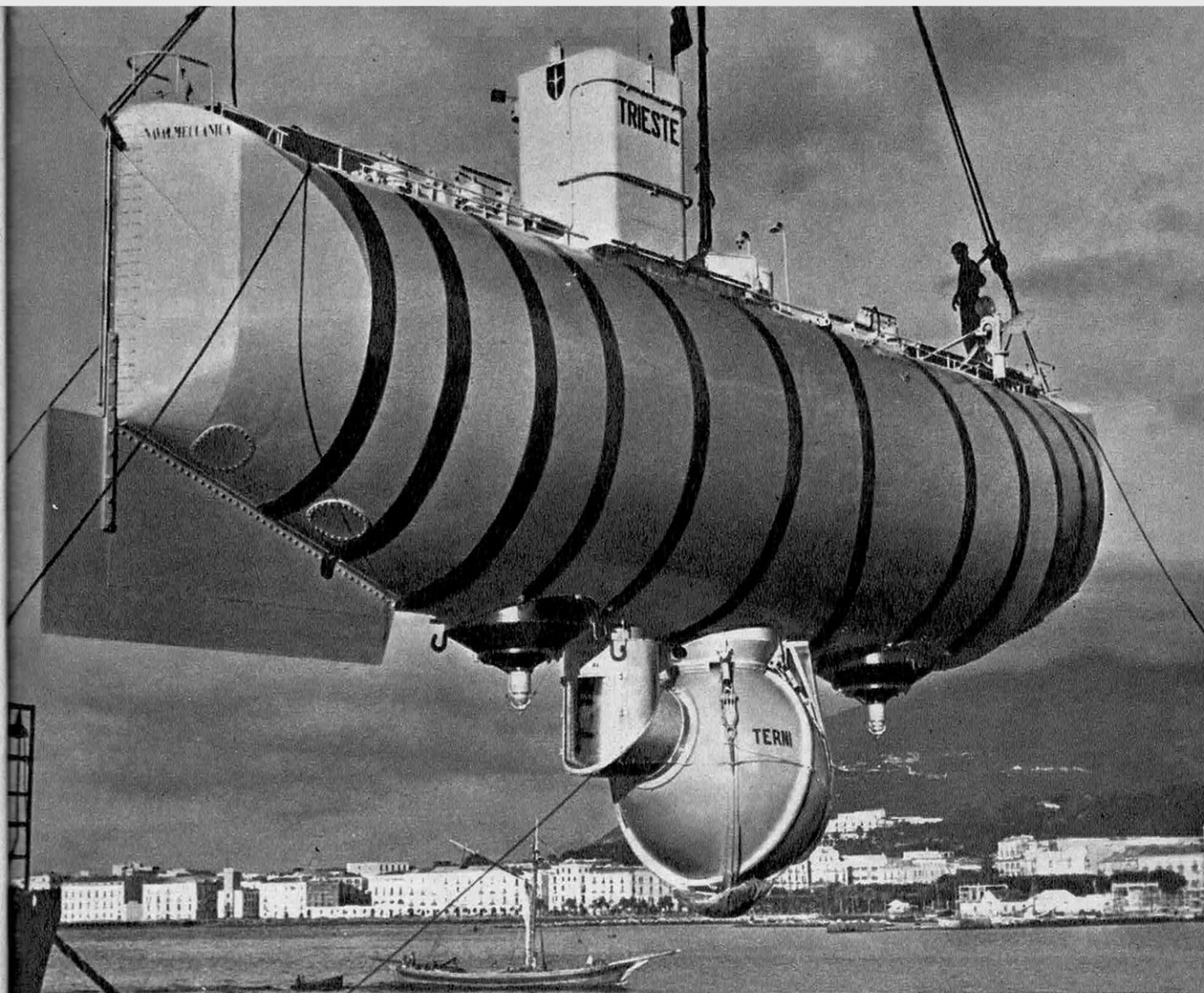
L'application de la plongée autonome à l'étude des récifs de Coraux, à peine commencée, est également une voie riche de promesses, au moins dans les lagons calmes.

Le domaine du scaphandre : de zéro à 60 mètres

En résumé, on peut dire que, sauf sur les fonds meubles (car il n'est pas facile de creuser au fond de la mer !) le scaphandre autonome pour l'étude du benthos littoral jusqu'à 60 m environ est susceptible de remplacer toutes les techniques de récolte et d'assurer partout l'observation directe, irremplaçable, surtout lorsqu'on y ajoute cette mémoire que constitue la photographie sous-marine en couleurs, aujourd'hui accessible à tous.

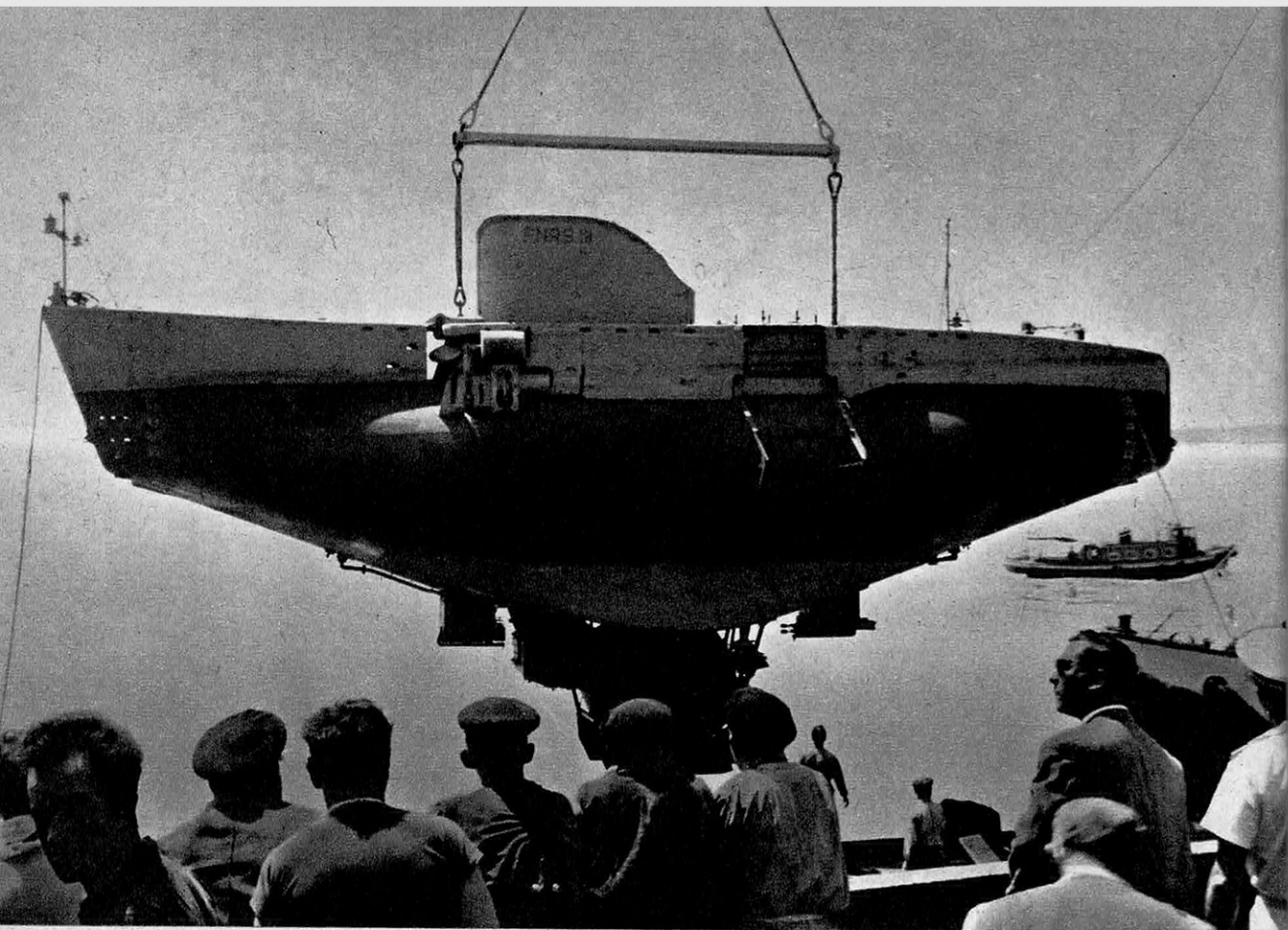
Bien sûr, le scaphandre se prête aussi à des recherches autres que celles de la biologie, et on peut par exemple l'utiliser pour étudier la polarisation de la lumière solaire dans l'eau de mer comme l'a fait Ivanoff, ou pour étudier les transports de sédiments et les courants littoraux en suivant en plongée de petites balles de ping-pong convenablement lestées (J. J. Blanc), etc.

Mais la biologie marine, pas plus que la géologie marine ou l'océanographie physique, ne finissent avec les quelques dizaines de mètres où le plongeur commence à être

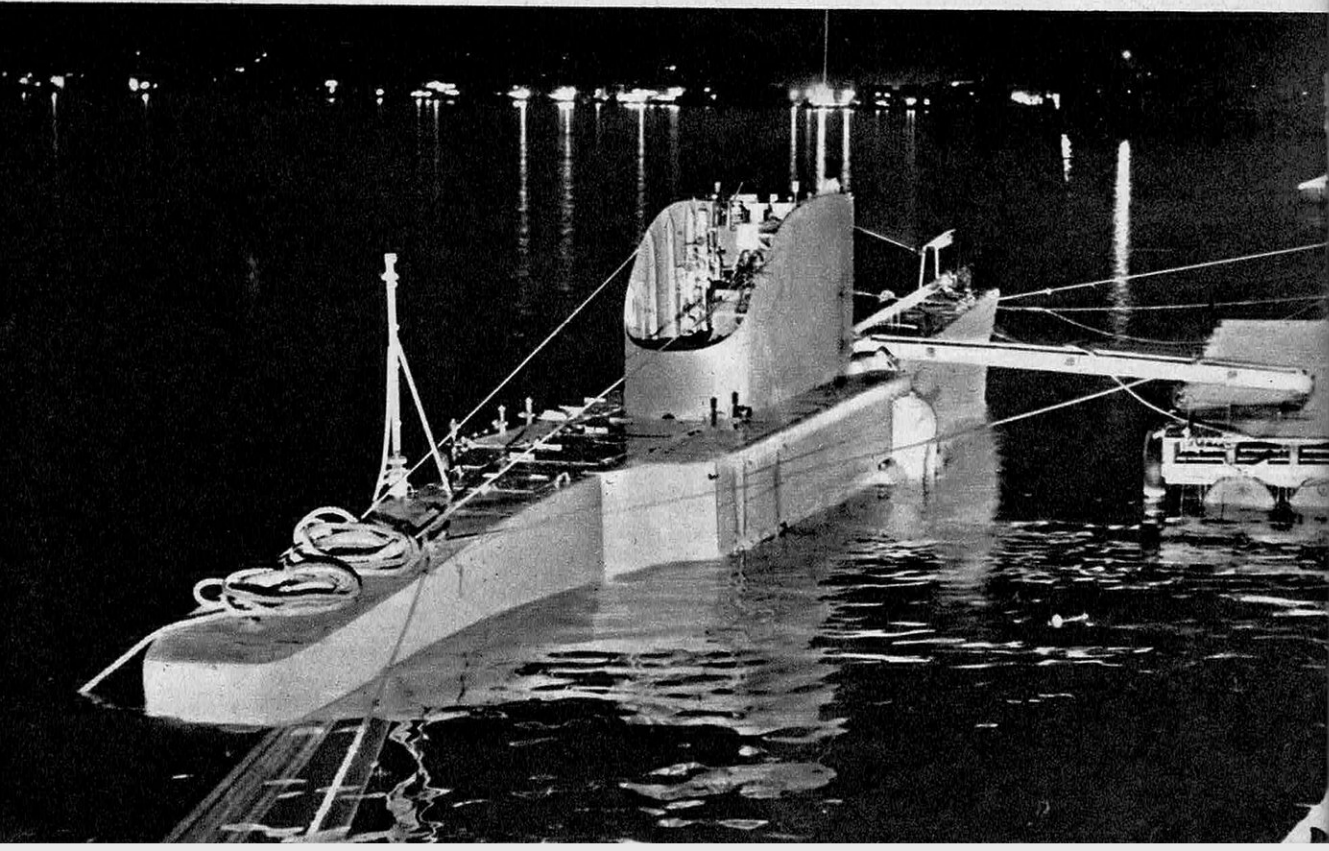


Le Trieste, bathyscaphe du professeur Piccard, utilisé par la marine américaine





Le bathyscaphe français qui a effectué une série de plongées dans les eaux japonaises



guetté par cette fameuse ivresse des profondeurs qui n'est pas une légende. Si l'on suit la chronologie de la mise au point des techniques autonomes, on constate que l'homme a fait là un grand plongeon vers les profondeurs, passant sans transition de l'extension du domaine du plongeur nu que représente le scaphandre autonome, à l'exploration du monde obscur des profondeurs.

Les bathyscaphes

Dans ses premiers essais de descente vers les grandes profondeurs, l'homme, hypnotisé sans doute par le fait que des scaphandres rigides alimentés en air de la surface avaient atteint 135 m de profondeur, a cherché à rester lié à la surface. Peu avant la deuxième guerre mondiale, les Américains W. Beebe et O. Barton atteignaient l'un 980 m, l'autre 1 370 m dans des sphères diversement baptisées (bathysphère et benthoscope) et réalisées, mais qui avaient en commun le caractère d'être suspendues à un filin, avec tous les risques et toutes les servitudes que cela comporte.

C'est à Auguste Piccard, savant suisse, mais professeur à l'Université Libre de Bruxelles, que l'on doit l'idée géniale du « bathyscaphe », véritable ballon sous-marin. A l'image de l'engin stratosphérique qu'il avait construit peu avant la guerre, son bathyscaphe n'est pas autre chose qu'un ballon dont la nacelle est une sphère d'acier susceptible de résister à une pression de 600 atmosphères, et dont l'élément sustentateur, au lieu d'être un gaz plus léger que l'air, comme dans les engins aériens, est un liquide plus léger que l'eau : en l'espèce de l'essence H (essence de teinturier). Cette essence est enfermée dans un flotteur compartimenté, en communication avec l'extérieur, et où, par conséquent, l'eau de mer peut entrer, au fur et à mesure que, pendant la plongée, l'essence se trouve comprimée par la pression.

La réalisation pratique présenta de sérieuses difficultés. En fait, l'expérience première du professeur Piccard en 1948 ne fut qu'un demi-succès, pour des raisons d'ailleurs secondaires et qui tenaient à cette réalisation pratique. Son engin, baptisé F.N.R.S. II parce que sa construction avait été patronnée par le Fonds National de la Recherche Scientifique Belge, remonta en piteux état d'une plongée à vide. La sphère en acier coulé fut toutefois récupérée et remise par l'organisme belge à la Marine Nationale Française, à charge pour celle-ci de l'utiliser pour la construction d'un nouveau bathyscaphe. Les ingénieurs du Génie Maritime français surent

résoudre tous les problèmes que posait la transposition sur le plan pratique des vues du professeur Piccard, et ce n'est pas là un mince mérite. De cette collaboration sortit le F.N.R.S. III, véritable petit sous-marin des grandes profondeurs, qui, s'il n'est évidemment qu'un nouvel « habillage » (mais combien complexe et ingénieux) de la sphère déjà utilisée par le F.N.R.S. II, n'en restera pas moins, dans l'histoire maritime et océanographique, comme le premier bathyscaphe utilisable... et utilisé.

Car le bathyscaphe est utilisé. C'est là une chose que le public ignore très généralement. Beaucoup, sans doute, pensent qu'après la fameuse plongée qui, le 15 février 1954 conduisit le commandant Houot et l'ingénieur Willm à 4 050 m de profondeur au large de Dakar, on a mis le F.N.R.S. III dans un arsenal, de crainte qu'un quelconque échec ultérieur ne vienne ternir ce succès.

A l'heure où j'écris ces lignes, le nombre de plongées avoisine la centaine. Les unes sont faites, évidemment au titre de l'entraînement ou de la vérification du matériel, mais plus d'une quarantaine déjà ont eu un but scientifique. L'engin, piloté généralement par le commandant Houot, emmène alors un observateur spécialiste de telle ou telle branche de la science océanographique. Aux termes d'une convention passée entre le Centre National de la Recherche Scientifique d'une part, et la Marine Nationale d'autre part, les plongées sont accordées... ou refusées aux chercheurs qui les sollicitent par les soins d'un Comité mixte issu de ces deux organismes.

Pour diverses raisons, j'ai été amené à devenir l'utilisateur scientifique le plus assidu de ce merveilleux engin, non seulement en Méditerranée, mais aussi au cours des campagnes qu'il a faites à l'extérieur de cette mer, au Portugal en 1956 (voyage dont j'étais d'ailleurs le promoteur), et au Japon en 1958.

Préparatifs pour une plongée

Je ne voudrais pas, cependant, que ces lignes, volontairement simplistes et schématiques, puissent donner à penser que le F.N.R.S. III se manipule comme une automobile ou même comme un avion de tourisme. Tout autonome qu'il soit (par définition, comme je l'ai dit) le bathyscaphe n'en a pas moins des servitudes. Pour parler franchement même, je dirai que le F.N.R.S. III n'est libre qu'au moment où il a quitté la surface. Tant qu'il est en surface, ou pis encore, à quai, il devient, au contraire, aussi plein d'exigences qu'un enfant mal élevé.

Tous ses organes sont soumis évidemment, après chaque plongée, à des contrôles serrés de la part des techniciens de l'équipage, sous la haute direction du commandant Houot. Il faut recharger les batteries, les bouteilles d'air et d'oxygène comprimés, etc. Pour parvenir sur les lieux de plongée, il doit être remorqué à faible vitesse (généralement 3 à 4 nœuds). Quand les fonds importants sont à une distance notable du port, ce remorquage peut durer quelques dizaines d'heures. Une fois arrivé à l'endroit choisi pour la descente, un officier marinier spécialiste se livre encore aux ultimes vérifications que lui énumère au fur et à mesure le commandant. Cependant, des plongeurs autonomes retirent les étriers qui maintiennent à poste tout ce qui normalement est retenu ou fermé par des électroaimants : ceux-ci, en effet, ne sont branchés qu'au moment de la prise de plongée pour éviter une inutile consommation d'électricité.

En route vers le fond

Quand toutes les vérifications sont achevées, le personnel de surface évacue le pont du bathyscaphe après avoir fermé la porte supérieure du sas. A l'intérieur de la sphère, où l'observateur se retourne pour chercher la moins mauvaise position, le commandant Houot ferme la porte de 38 cm de diamètre en forme de tronc de cône qui donne accès du sas dans la sphère, et l'assujettit avec quelques boulons. Ces boulons sont là surtout pour le début de la plongée; ils sont serrés à grand renfort de clef à cliquet. Mais la véritable étanchéité de cette porte, c'est la pression qui se chargera de l'assurer; dès 1 000 m de profondeur, on pourra tourner aisément entre le pouce et l'index les boulons de la porte soumise alors à une pression de 100 kg/cm² (il est d'ailleurs recommandé de ne pas céder à la tentation de serrer ces boulons quand on est au fond, car il serait impossible de rouvrir la porte au retour en surface). Le pilote, grâce à une pompe, remplit d'eau le sas, et le bathyscaphe commence à s'enfoncer lentement. Un petit appareil de radiophonie « talkie-walkie » permet de suivre, grâce au contrôle du navire d'escorte, les progrès de l'enfoncement... « L'eau arrive au pied de la baignoire... » « L'eau affleure la base de l'antenne... » La voix, lien immatériel qui relie encore les deux hommes enfermés dans la sphère à ceux qui vont les attendre en surface s'affaiblit, hoquette, puis s'éteint... L'antenne est tout entière dans l'eau; le bathyscaphe est en route pour le fond.

Installé sur un minuscule banc métallique et adossé à la porte, le pilote a l'œil sur les instruments de contrôle qui garnissent les parois. Quant à l'observateur, comme je l'ai dit plus haut, il cherche la bonne position, si tant est qu'il y en ait une ! Après douze plongées, je dois dire que je n'ai pas encore trouvé cette bonne position. En effet, le hublot se trouve à peu près à 35 cm du plancher métallique qui est posé dans la sphère; on a le choix entre la position à genoux et celle accroupie de travers. C'est celle-là que j'ai adoptée, accoudé sur une tuyauterie à ma gauche, et avec mon carnet sur le genou droit.

Projecteurs et flashes photographiques

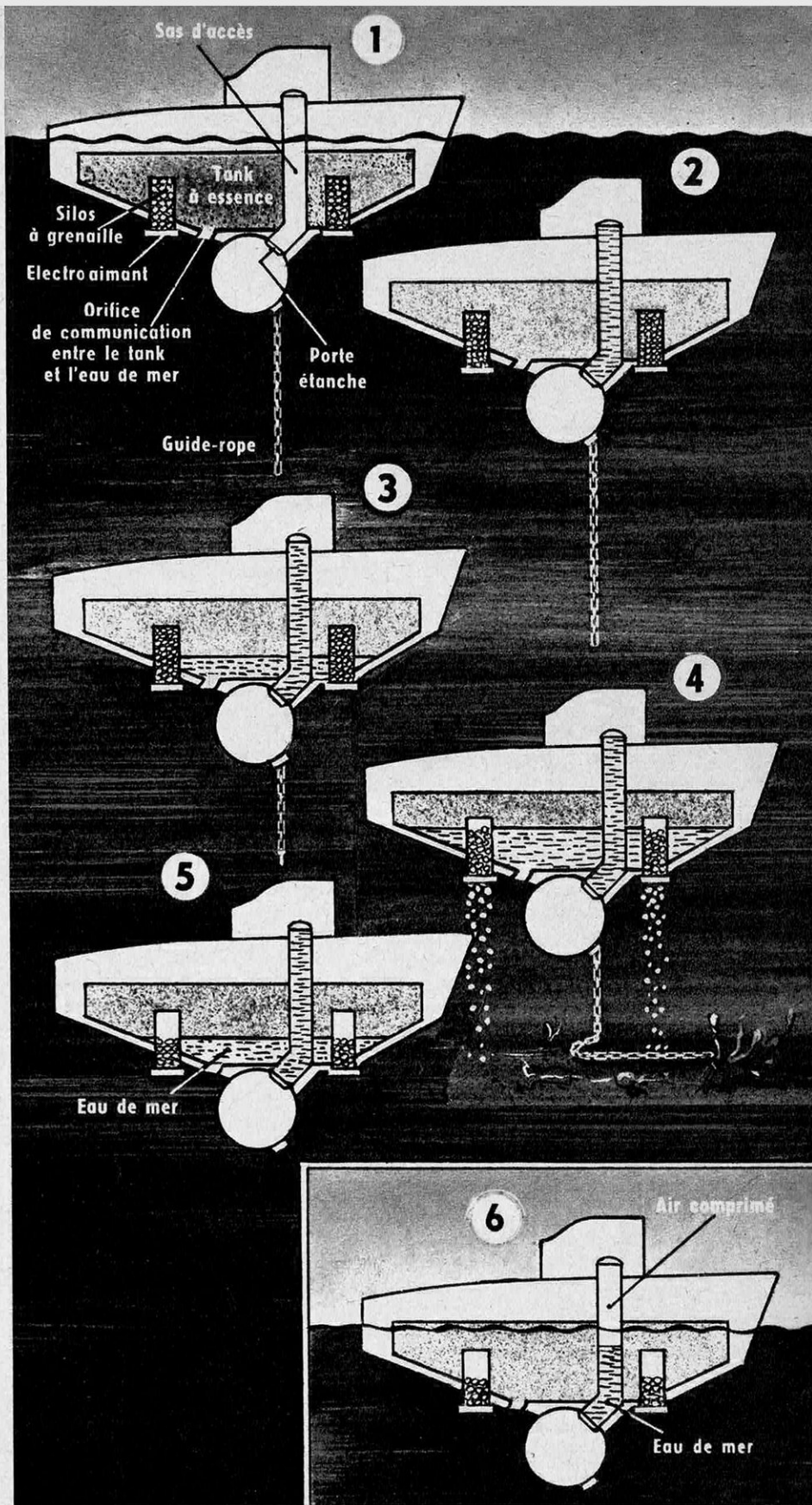
Bien que l'obscurité ne devienne totale, pour l'œil humain du moins, qu'à une profondeur variant suivant la transparence de l'eau entre 350 et 550 m, l'observateur est obligé, dès 50 m environ, d'allumer les projecteurs. Ceux-ci sont orientés de diverses façons; les uns éclairent de haut en bas à quelques mètres de la sphère; d'autres donnent un faisceau oblique rapproché, de part et d'autre du hublot. Il y a également des projecteurs survoltés qu'on peut allumer temporairement pour observer un détail, mais dont il vaut mieux ne pas abuser en raison de leur forte consommation. A main droite, un déclencheur commande les appareils photographiques couplés avec des flashes électroniques, mis au point par le professeur H. Edgerton du Massachusetts Institute of Technology. La visée (en fait, l'absence de viseur) exige d'ailleurs une certaine habitude, et ce n'est guère qu'au bout de plusieurs plongées que j'ai commencé à obtenir un rendement raisonnable de mes clichés. D'une façon générale, quand un animal s'approche du hublot, on a tendance à appuyer trop tôt dans la crainte qu'il ne s'échappe avant d'être parvenu à la position optimum, ... et la photo est ratée. Il arrive aussi qu'on ait patienté, et qu'au moment où on se décide enfin, ... l'animal fait un brusque écart.

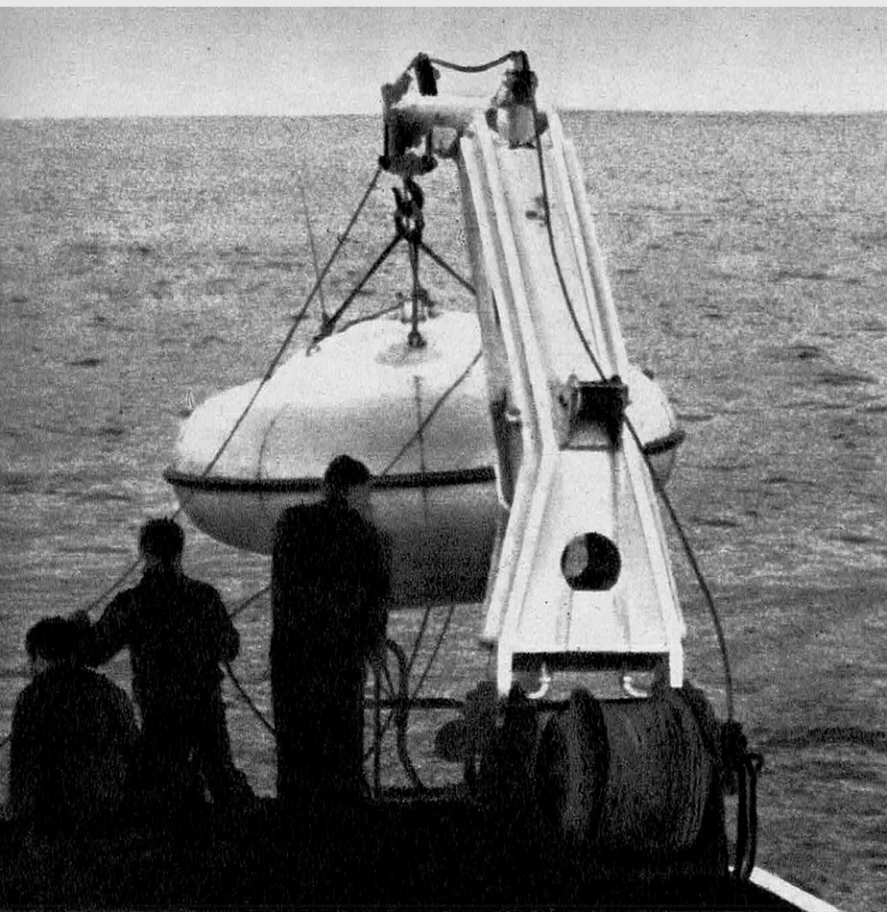
Que voit-on pendant la plongée ?

Au risque de décevoir le lecteur avide de sensationnel, j'avouerai tout de suite que je n'ai jamais rencontré ni cachalot géant, ni calmar monstrueux, ni le grand serpent-mer (dont l'existence, soit dit en passant, est assez probable, bien que son appartenance zoologique soit très incertaine). Mais on voit tout de même beaucoup de choses très intéressantes.

Le fonctionnement du bathyscaphe

LE bathyscaphe est lesté par de la grenaille de fonte de telle sorte que, compte tenu de la densité de l'eau, il ait une flottabilité légèrement positive (1). En remplissant d'eau le sas cylindrique (après avoir pénétré dans la sphère) on ajoute juste le poids suffisant pour faire couler le bathyscaphe (2) qui devient de plus en plus lourd, par suite, entre autres, de la compression de l'essence par l'eau de mer qui la refoule à la partie haute du tank (3). Pour ralentir la chute, le pilote doit larguer un peu de lest en agissant sur les électroaimants qui ferment les silos à grenaille (4). Pour remonter définitivement, il suffit de larguer, outre le guiderope (vieille chaîne), une quantité suffisante de grenaille (5), puis de chasser l'eau du sas par de l'air comprimé (6).





La soucoupe de Cousteau

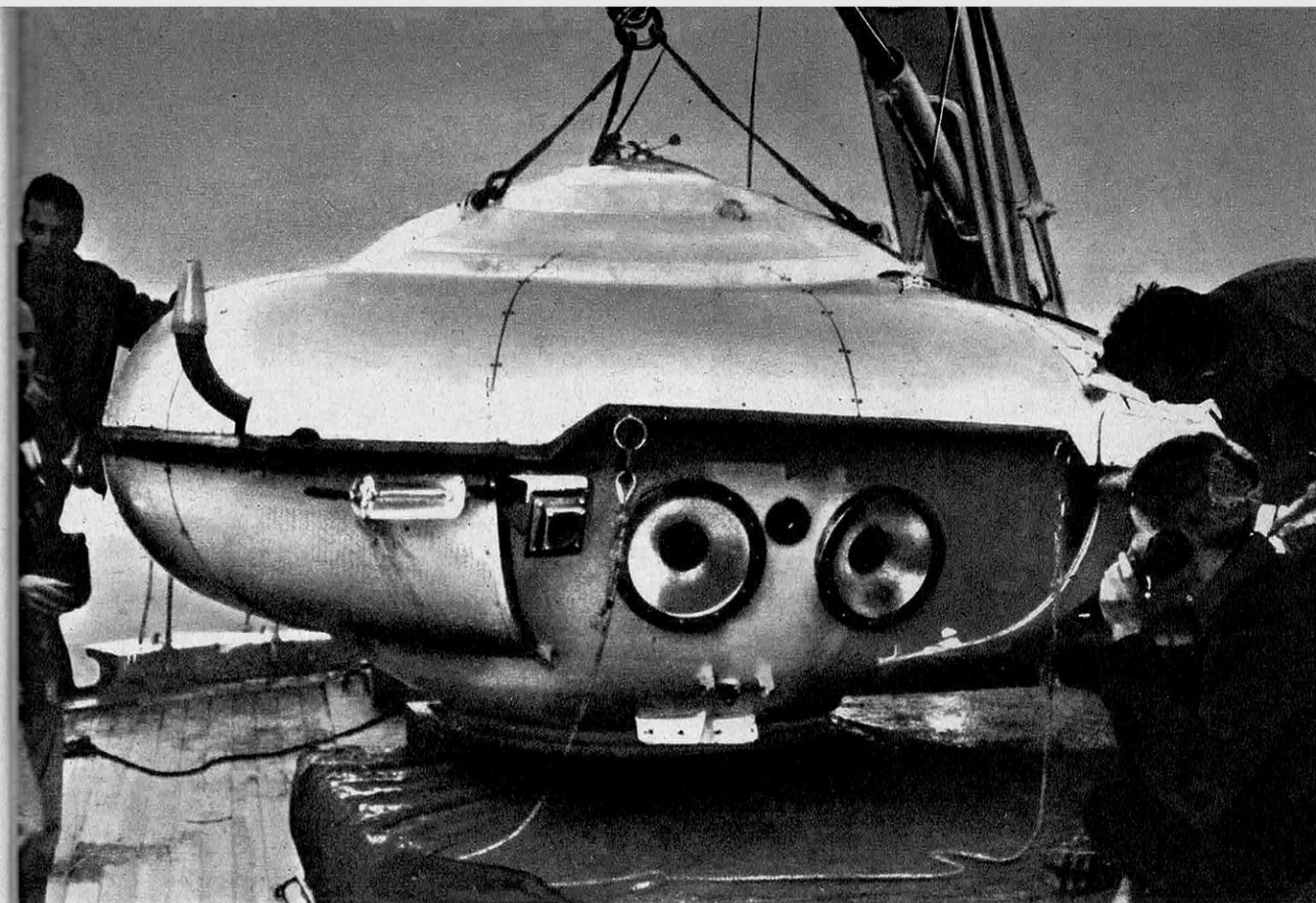
La soucoupe est mise à la mer par une grue à l'endroit de la plongée. Si-tôt lâchée avec son pilote et son observateur, elle coule. Arrivé au fond, il suffit de lâcher une gueuse de fonte de 25 kg pour rester en équilibre indifférent et pouvoir se déplacer à ce niveau pour explorer le fond. Parfois il faut figoler l'équilibre par l'action de pompes. La propulsion est assurée par réaction grâce au rejet de l'eau de mer aspirée par deux tuyères situées à l'avant. Un système d'orientation des jets permet de se freiner ou de faire marche arrière. Des batteries extérieures protégées fournissent l'énergie électrique.

Tout d'abord, tout au long de la descente, on voit du plancton. Evidemment, les êtres de petite taille (moins de 1-2 cm) sont très difficiles à observer à moins qu'ils ne passent très près du hublot et à condition qu'ils dépassent 1 à 2 mm. Mais le plancton comprend aussi des formes qui atteignent quelques centimètres ou décimètres de long (beaucoup de Méduses ou de Cténaires, par exemple), et même parfois plusieurs mètres de long, comme certains Siphonophores ou certaines chaînes de Salpes. Ce sont, bien sûr, ces animaux d'une taille supérieure à 1 ou 2 cm qui sont le but essentiel des observations, et celles-ci sont d'autant plus intéressantes, qu'avant le bathyscaphe (à l'exception des sphères suspendues de Beebe et Barton) on n'avait pratiquement jamais vu ces animaux extraordinairement fragiles autrement qu'endommagés ou malmenés par les filets servant à les capturer.

En notant au fur et à mesure de la descente les animaux rencontrés, on obtient une véritable coupe continue des masses d'eau traversées, ce qui permet d'établir l'étagement en fonction de la profondeur des diverses formes animales. Par exemple, j'ai pu établir

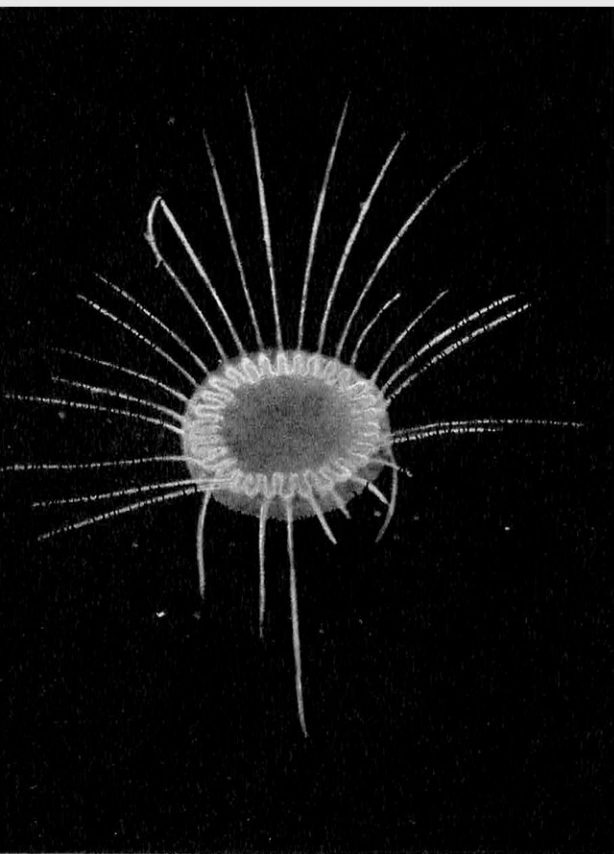
que les Narcoméduses *Solmissus* n'existent en abondance, en Méditerranée, qu'entre 300 et 800 m, et qu'on les retrouve dans le Pacifique occidental à peu près aux mêmes profondeurs. Cette distribution verticale des êtres planctoniques dépend de l'éclairement (de jour), de la température, et aussi de la distance à laquelle on se trouve du fond. Par exemple, les très curieux poissons rectilignes appelés *Paralepis*, dont les plongées nous ont appris qu'ils se tiennent à peu près toujours verticalement et la tête vers le haut, ne s'approchent jamais à moins de 10 à 20 m du fond, et la profondeur à laquelle on peut les observer est nettement en rapport avec la sonde du point de plongée.

Il arrive que le « paysage planctonique » change de façon radicale lorsque le bathyscaphe traverse des masses d'eaux différentes. Par exemple, lors des plongées au large de Lisbonne, j'ai traversé la couche d'eaux d'origine méditerranéenne, qui, sortie de cette mer par la partie profonde du détroit de Gibraltar, remonte vers le nord en suivant les côtes de la péninsule ibérique, et j'y ai observé entre 500 et 1 500 m environ certains animaux méditerranéens qui n'existaient



ni au-dessus, ni au-dessous dans les eaux de caractère vraiment atlantique. Au Japon, j'ai pu observer un phénomène encore plus frappant. En effet, j'ai fait deux descentes sur les côtes nord-est de l'île de Honshu, région dans laquelle se produit un remarquable conflit de deux courants : l'un chaud, le Kuroshivo (homologue Pacifique du célèbre Gulf-Stream de l'Atlantique), s'écoulant en surface du sud-ouest vers le nord-est en direction du centre du Pacifique et de l'Amérique du Nord ; l'autre froid, l'Oyashivo, qui longe en profondeur les côtes du Japon du nord-est vers le sud-ouest. A 100 milles de terre environ, le passage des eaux chaudes dans les eaux froides s'effectue vers 220 m de profondeur et, en l'espace de quelques secondes (représentant au maximum 3 à 4 m de dénivellation), on voit la température descendre de 10 degrés et le plancton changer radicalement. Le passage d'une masse d'eau dans l'autre est d'autant plus frappant que les grosses espèces planctoniques sont abondantes seulement dans les eaux froides de l'Oyashivo, tandis que les eaux chaudes du Kuroshivo renferment surtout des formes de petite taille, mais représentées par de très nombreux individus.

A côté de ces grandes Méduses ou des animaux apparentés à celles-ci (Siphonophores et Cténaires) qui sont tous relativement passifs, on observe d'autres animaux qui nagent assez activement bien que, le plus souvent, leurs mouvements ne puissent leur permettre que des déplacements de faible importance. On rencontre, parfois par bancs énormes, les petites crevettes Euphausiacées, dont les baleines et baleinoptères font leur nourriture ; il m'est arrivé, lors d'une plongée au large de Setubal, au Portugal, de rencontrer des nuages si denses de ces Euphausiacées, rassemblés d'ailleurs par la lumière des projecteurs, qu'il était impossible d'observer quoi que ce fût d'autre. Parfois, un Calmar passe comme une flèche devant le hublot ; la rapidité avec laquelle ces animaux nagent est telle qu'ils sont très difficiles à reconnaître. D'une façon générale, d'ailleurs, à l'inverse de la plupart des autres animaux que l'intrusion du bathyscaphe dans leur domaine semble laisser parfaitement froids, les calmars paraissent très excités par la présence de cette grosse bête inconnue. Leur colère ou leur peur se manifeste par le rejet d'un nuage d'encre (tout comme pour le



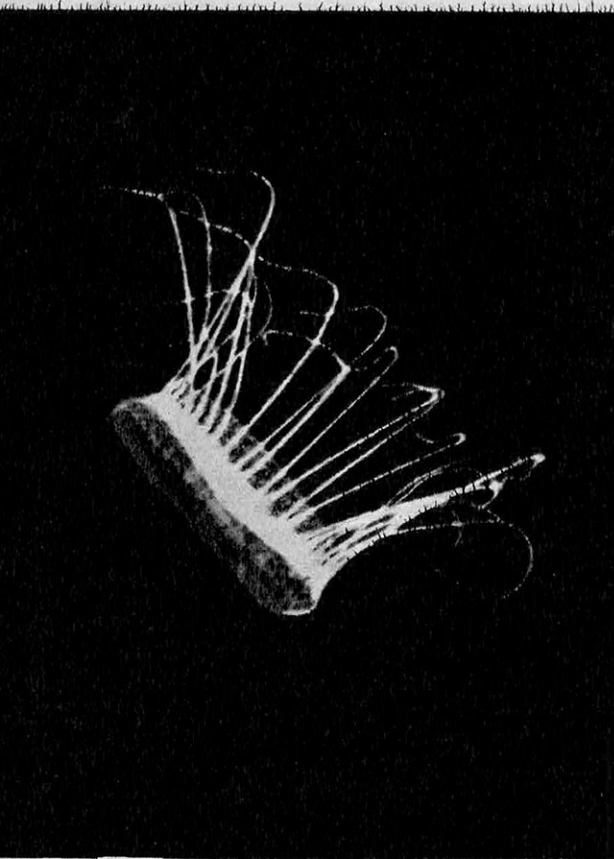
← Solmissus du Pacifique vu entre 800 et 1 100 m au large du Japon

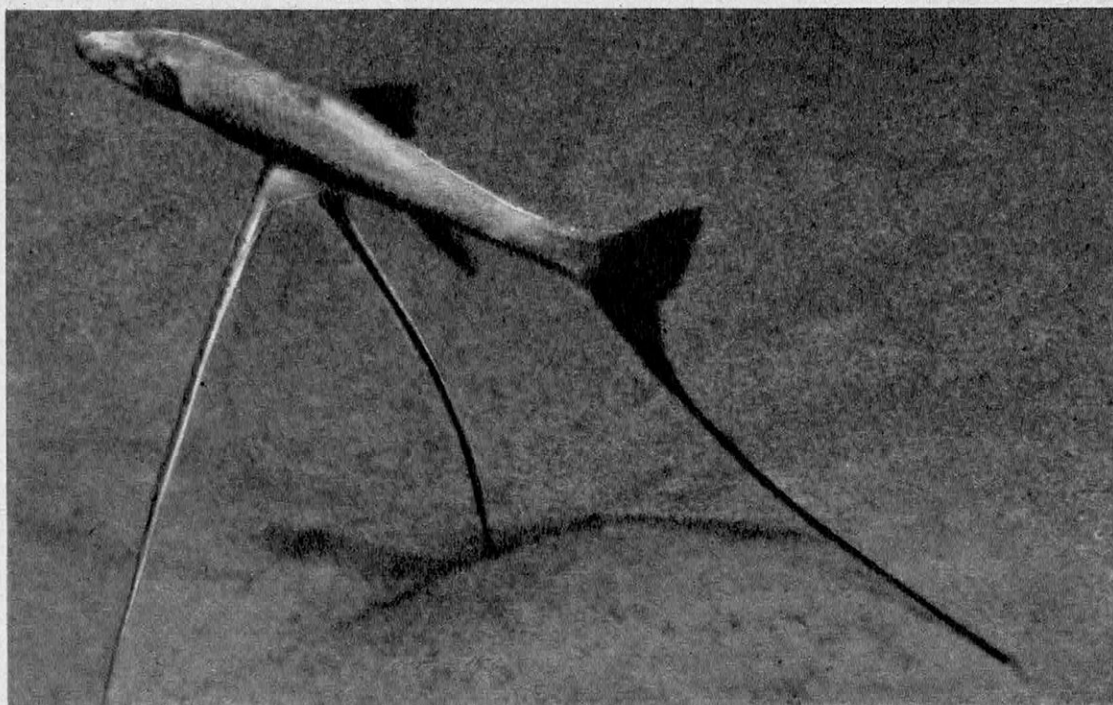
banal poulpe qui se débat avec un pêcheur sous-marin); chez les calmars des profondeurs cependant, cette encre m'est souvent apparue, non pas noire, mais d'un blanc jaunâtre et dégageant, si on éteint les projecteurs, une luminescence verte. J'ai dit plus haut que le bathyscaphe n'a jamais rencontré de calmar géant; il a dû pourtant passer une fois très près d'un de ces animaux d'une taille déjà inhabituelle, et voici ce qui me permet de le penser. Lorsqu'un calmar (ou tout autre céphalopode) jette son « encre » avant de fuir, le nuage, assez cohérent d'ailleurs, formé par celle-ci représente en quelque sorte un fantôme de lui-même que l'animal laisse à l'ennemi, pour le tromper. Or j'ai vu, au large du Portugal, en 1956, un nuage d'encre qui dépassait 2 m de long, ce qui (la longueur des bras n'étant pas comprise dans le fantôme) constituait une taille assez coquette.

Animaux lumineux et « neige »

La luminosité de l'« encre » des calmars de profondeur m'amène à évoquer ici encore une question que l'on me pose souvent : voit-on en bathyscaphe beaucoup d'animaux lumineux ? Franchement non. Ou plutôt on en voit pas mal, mais seulement à la remontée, où cela a beaucoup moins d'intérêt. On sait, en effet, que beaucoup d'animaux de profondeur susceptibles d'émettre de la lumière ne le font que s'ils sont agités, ou si l'eau qui les environne immédiatement est agitée. Lorsque le bathyscaphe remonte, l'énorme flotteur auquel la sphère est suspendue bouleverse l'eau et stimule la production de la lumière par de nombreux animaux. Au contraire, au cours de la descente, l'observateur ne voit par le hublot, situé comme je l'ai dit au tiers inférieur de la sphère, que des couches d'eau qui n'ont pas encore été bouleversées. Aussi voit-on relativement peu d'animaux lumineux. Même les *Myctophum* ou les *Argyroleucus*, petits poissons dont le corps est garni d'organes réputés lumineux semblables à des perles, paraissent le plus souvent réfléchir la lumière plutôt qu'en produire eux-mêmes.

Tous ces animaux pélagiques flottent ou nagent au milieu de myriades de particules qui diffractent la lumière. Houot et Willm, qui ont vu les premiers ces particules, les





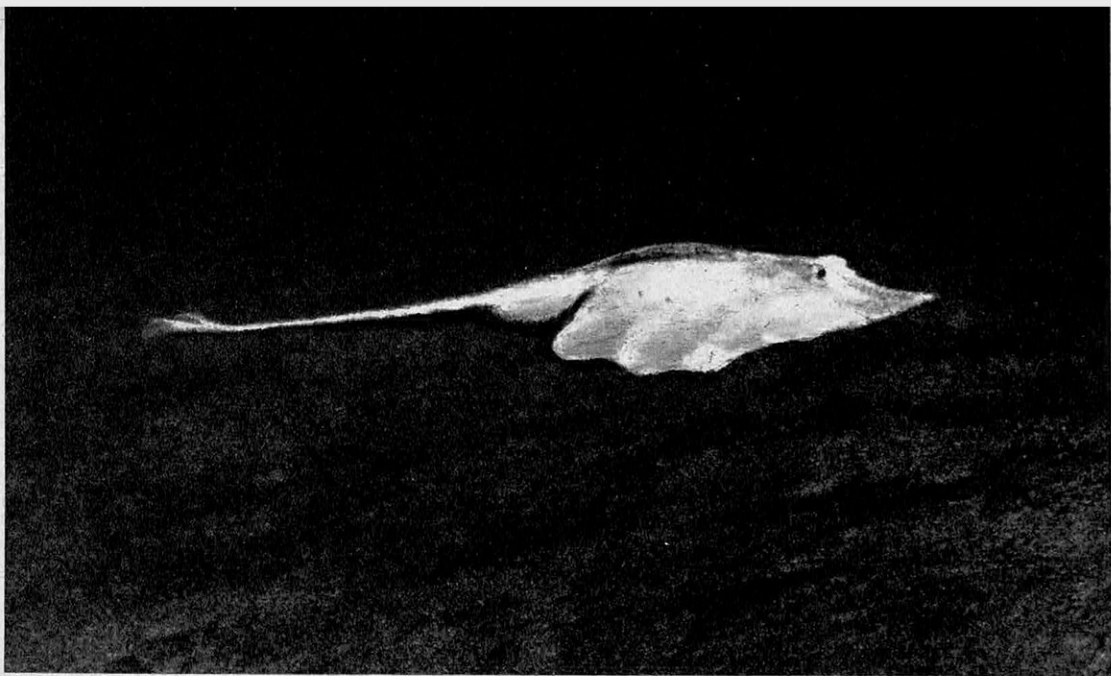
A 2 200 m de fond, au large de Toulon, le Benthosaurus aveugle attend sa proie sur ses trois « pieds »

avaient désignées sous le nom très expressif de « neige », nom que les observateurs ont conservé, car il est commode. Cette apparence de neige est due à la diffraction de la lumière des projecteurs par des particules en suspension dans l'eau et qui sont, semble-t-il, soit des déchets (débris de cadavres d'animaux ou plancton), soit des agrégats de protozoaires planctoniques. La diffraction fait d'ailleurs paraître ces particules plus grosses qu'elles ne sont en réalité. Toutes ces particules en suspension sont, dans une eau au repos, pratiquement immobiles, ou ne tombent vers le fond qu'avec une lenteur qui rend leur mouvement imperceptible à l'œil. Mais, comme le bathyscaphe, lui, descend, la « neige » paraît remonter vers la surface.

L'atterrissage du bathyscaphe

Mais nous approchons du fond, et il s'agit de contrôler l'atterrissage. Avant la prise de plongée, le navire d'escorte a donné la sonde au bathyscaphe, mais c'est là une indication très approximative sur la profondeur réelle à laquelle l'engin va toucher le fond, car tout au long de la descente, il a été soumis à des courants (dont la force et la direction ne

sont que très imparfaitement connues) et que, de plus, le F.N.R.S. III ne descend pas en conservant le même cap, mais en tournant sur lui-même (très lentement, heureusement pour les occupants). Lorsqu'il pense que le fond n'est plus qu'à 200 ou 300 m, le pilote met en route un petit sondeur à ultrasons qui permet de contrôler l'approche et il ralentit la descente en larguant de la grenaille. On ne commence à apercevoir le fond lui-même par le hublot que lorsqu'on n'en est plus qu'à 6 ou 8 mètres au maximum. Le guide-rope, en se couchant sur le fond, allège encore l'engin dans les derniers mètres de sa descente et le bathyscaphe se pose doucement dans un nuage de vase qui met en général au plus deux ou trois minutes à se dissiper (beaucoup moins s'il y a du courant au voisinage du fond). Du moins tout se passe ainsi en principe, car ce n'est pas toujours le cas : j'ai connu quelques incidents, notamment l'enfoncement dans la vase d'une partie de la sphère un jour où le sondeur ne fonctionnait pas. J'ai connu aussi, lors d'une plongée au large de Toulon sur une paroi inclinée à 45°, l'échouage par l'avant du bathyscaphe, tandis que, par le hublot, on n'apercevait pas le fond; ce jour-là, il a fallu au commandant Houot, malgré son en-



**Raie presque blanche non déterminée, photographiée
au large de Lisbonne par 2 200 m de fond**

Ph. FNRS III

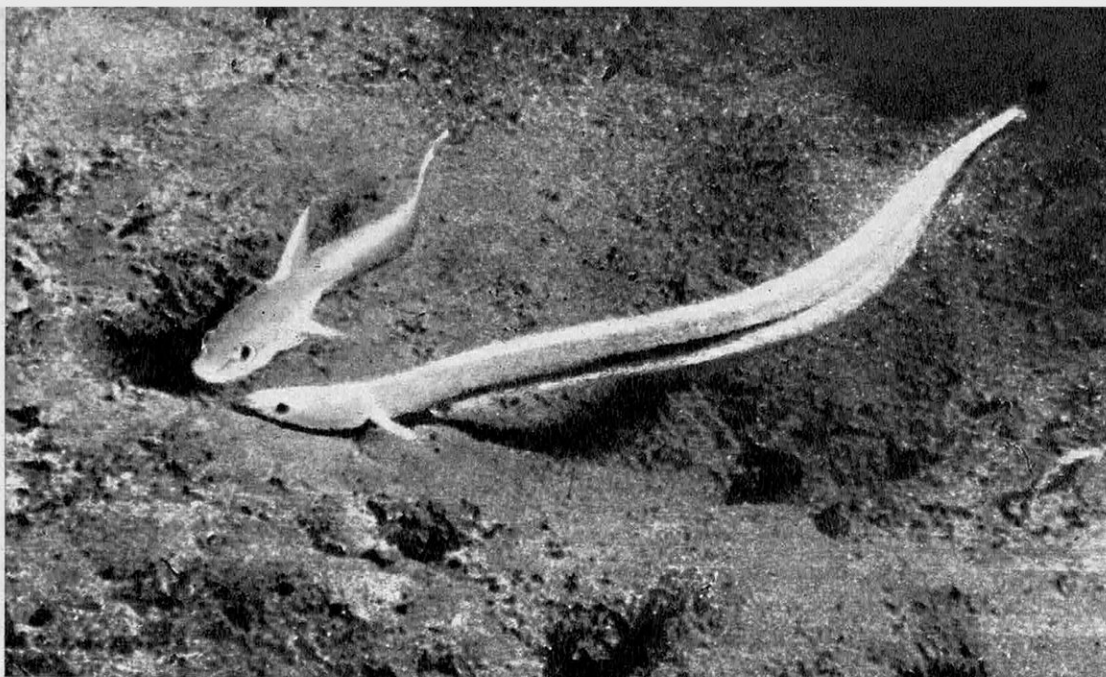
traînement, près d'une heure et demie pour réaliser la manœuvre qui consistait à soulever le bathyscaphe, à le faire pivoter de 90° et à le reposer en travers de la pente et non plus dans le sens de celle-ci. Tout récemment, au large de Cassis, l'arrivée du bathyscaphe sur une pente de l'ordre de 50° à 1 800 m de profondeur a provoqué la formation d'une véritable avalanche de vase qui, quinze minutes après son déclenchement et au niveau de son point de départ formait un nuage de 60 m de haut; il est inutile d'insister sur le fait que ce jour je n'ai pu faire aucune observation sur la faune du fond.

Que voit-on sur le fond ?

Tout d'abord il faut bien dire que le spectacle y est beaucoup moins changeant qu'au cours de la descente, car on est pratiquement immobile. Bien sûr, il y a les moteurs, mais ceux du bathyscaphe actuellement en service sont peu puissants et leur consommation d'électricité est énorme. Pratiquement, on ne se déplace guère que par sauts de puce. Le processus est le suivant: on allège le bathyscaphe et, au moment où il décolle légèrement du fond, les moteurs sont mis en route; il défile alors au-dessus du fond; comme l'essence est en cours de refroidissement (car la température du fond est pratiquement toujours inférieure à celle de la surface), le bathyscaphe tend cependant à s'alourdir, et, au bout de quelques dizaines

de mètres, il retombe mollement sur le fond... en soulevant à nouveau l'inévitable nuage de vase qui fait maugréer l'observateur, persuadé (sûrement à tort) que c'est justement à ce moment-là qu'il aurait vu des choses étonnantes.

En Méditerranée, les grands fonds sont d'une décevante pauvreté, pauvreté qui s'explique par la faiblesse des courants profonds au sein de cette mer qui ne communique avec l'Océan que par le seuil de Gibraltar, large d'à peine 7 milles, et de faible profondeur (350 m maximum) eu égard à celle de la Méditerranée (laquelle aux dernières nouvelles dépasserait légèrement 5 100 m en son point le plus profond). L'essentiel de la faune, d'ailleurs très clairsemée, est constitué par quelques espèces de Mollusques, de Crustacés et de Vers qui vivent enfouis dans la vase. Mais à la surface de celle-ci... à peu près rien. En sept plongées méditerranéennes, je n'ai peut-être pas vu deux douzaines d'animaux: de-ci de-là, une étoile de mer (*Ceramaster*), quelques Holothuries, parfois une Crevette..., une petite Éponge (*Thenea*)... Et les poissons, me direz-vous? Eh bien, les poissons ne sont pas nombreux... À part le *Benthesaurus*, baptisé par Houot qui le vit le premier dans son milieu, «poisson tripode» parce qu'il est curieusement dressé sur trois grands prolongements de ses nageoires, et l'*Haloporphyrus*, on ne voit guère que des squales, tels le *Centrophorus uyatus* qui ne paraissait nullement ému lors-



Coelorhynchus krishinonyei et Ophichthus urolophus
dans les mers du Japon à 1 000 m

Ph. FNRS III

qu'il nous a rendu visite à 1 250 m de profondeur devant le Cap Sicié, près de Toulon.

Un paysage souvent désertique

Les centaines de photographies faites dans les profondeurs de la Méditerranée par la « Calypso » du commandant Cousteau, en particulier au cours des campagnes de recherches benthiques que j'ai dirigées, ont montré à peu près toutes le même paysage désertique. Et pourtant, au moins dans certaines zones, des coups de chaluts jusque vers 1 000 et 2 000 m ont ramené d'assez nombreux poissons, crevettes, etc. Bien sûr, un chalut traîné une ou deux heures sur le fond représente un sondage autrement ample que les quelques bonds maladroits du bathyscaphe dans un rayon de quelques dizaines de mètres. Malgré tout, j'en suis arrivé récemment à penser que l'indifférence des quelques animaux que l'on voit du bathyscaphe ou sur les photos (je parle, bien sûr, des animaux doués d'une mobilité suffisante), n'est peut-être le fait que de quelques espèces. Il est probable que l'approche des projecteurs du bathyscaphe, ou des flashes électroniques qui accompagnent les cameras de profondeur de la « Calypso », met en fuite bon nombre d'animaux que le chalut aveugle nous ramène, mais que nous ne pouvons espérer voir en photographie, sauf chance exceptionnelle. D'ailleurs, sur certaines photos, ou sur certains films, on voit

quelques cas de fuite éperdue... et ce qu'on voit, c'est seulement ce qui se passe dans le champ éclairé de l'appareil. Mais, malgré tout, les grands fonds de la Méditerranée restent pauvres et s'il y a peu d'animaux inférieurs (Vers, Mollusques, Crustacés, etc.) il est évident que les poissons, qui doivent s'en nourrir, ne peuvent être bien nombreux.

En Atlantique, le paysage est déjà nettement plus animé. Par exemple, à 1 690 m, au large de Setubal, j'ai vu un fond sur lequel il y avait un animal par mètre carré en moyenne. Ces animaux étaient surtout des colonies de polypes apparentés au corail : *Kopholemnon*, *Bathypenna*, etc., mais aussi des crevettes du groupe des Aristéides, c'est-à-dire analogues à ces très grosses crevettes (provenant surtout d'Algérie et du Maroc) qui sont vendues fort cher sur les marchés français. Les poissons n'étaient pas très variés, mais l'un d'eux, *Halosaurus johnsonianus*, était très commun. Long de 30 à 50 cm, et ressemblant assez à une anguille, cet animal se laisse dériver dans le courant qui règne au voisinage du fond, le museau au ras de la vase dans laquelle il cherche sa nourriture.

Mais c'est au Japon que j'ai pu voir la faune benthique la plus riche. Dans la région où j'ai plongé, la coexistence des deux courants, l'un chaud, l'autre froid, est, comme je l'ai dit plus haut, un facteur de richesse du plancton. Les cadavres (innombrables) des animaux pélagiques tombent lentement au travers des couches d'eau et le fond reçoit

ainsi une véritable pluie de déchets organiques, pluie bien plus dense évidemment qu'en Méditerranée, où le plancton est pauvre. Tous ces déchets sont utilisés sur les fonds par des animaux (Vers, Mollusques, Crustacés) mangeurs de détritus. Ces animaux, qui sont très nombreux dans la vase mais pratiquement invisibles car enterrés, sont à leur tour mangés par d'autres (crustacés, poissons, etc.) qui, bien entendu, se mangent aussi entre eux. Sur le fond, on voit, par exemple, de grosses actinies, telles *Bolocera longicornis* de couleur café au lait, atteignant 20 cm de diamètre et 15 cm de haut, avec des tentacules de la taille d'un doigt d'enfant; des Alcyonaires (animaux apparentés au corail); des étoiles de mer diverses, etc. La richesse en proies est attestée par l'abondance des poissons. On voit, par exemple, des *Sebastes*, animaux voisins des rascasses de la Méditerranée. À côté, avec son museau en forme de soc (pour fouiller la vase) un *Calorhynchus* (de la famille des Macruridés, laquelle est propre aux fonds assez importants). Il y a également un poisson à aspect d'anguille, dont le comportement rappelle beaucoup celui de l'*Halosaurus*, mais qui est un *Ophichthus*. À 1 650 m de fond, j'ai revu à peu près les mêmes animaux inférieurs qu'à 1 000 m, augmentés pourtant d'une prairie de grands Crinoïdes (*Heliometra*). Les poissons abondaient encore, mais, ils n'étaient plus représentés que par des *Calorhynchus*, parmi lesquels, il est vrai, des individus de toutes les tailles depuis quelques centimètres jusqu'à plus de 50 cm de long, ce qui semble indiquer que l'espèce se reproduit sur place à cette profondeur.

Ces fonds du nord-ouest du Pacifique m'ont donné l'impression d'une richesse exceptionnelle pour ces profondeurs. Les profondeurs moindres sont, évidemment, comme il est de règle, plus riches encore, et ceci est heureux pour les peuples japonais, car le poisson, et d'une façon plus générale l'animal marin, représente l'élément essentiel de sa nourriture azotée. L'effort de ce pays dans le domaine de l'Océanographie s'explique ainsi en grande partie. Et c'est la raison pour laquelle le bathyscaphe, dont l'intérêt pour les recherches sur les pêcheries est pourtant assez indirect, a suscité là-bas un tel intérêt.

Vers un «superbathyscaphe»

Il ne faut pas oublier aussi que la prospection biologique ou géologique n'est pas seule en cause. Actuellement un ingénieur du Centre National de la Recherche Scienti-

fique, M. J. Martin, travaille à la mise au point pour le bathyscaphe français F.N.R.S. III de sondes thermométriques et de manomètres de précision, d'un appareil enregistreur de la salinité de l'eau, d'appareils pour la mesure de la vitesse et de l'amortissement des ondes sonores et ultrasonores, d'un gravimètre (mesure de l'accélération de la pesanteur, *g*). À vrai dire, les appareils ainsi essayés à bord du F.N.R.S. III sont surtout des prototypes destinés au «superbathyscaphe».

En effet, dans le dernier trimestre de 1957 a été décidée la mise en chantier, par les soins de la Marine Nationale, mais aux frais du Centre National de la Recherche Scientifique, d'un bathyscaphe plus puissant que le F.N.R.S. III, conçu pour atteindre les plus grandes profondeurs connues de l'ordre de 11 000 mètres, et qui devrait être prêt pour le début de l'année 1961.

Trieste : record de profondeur

Le «Trieste», construit à titre privé par le professeur Piccard à peu près en même temps que la France construisait le F.N.R.S. III et pour des performances sensiblement équivalentes, a été acquis par la Marine des États-Unis. Grâce au remplacement, sur le flotteur originel, de la sphère construite en Italie par une sphère construite par la Société Krupp, le Trieste a battu à plusieurs reprises, entre novembre 1959 et février 1960, le record de profondeur établi par le F.N.R.S. III, atteignant successivement 5 600, 5 900, 7 600 et pour finir 11 500 m. Cette dernière profondeur, même si elle n'est exacte qu'à 100 m près, serait la plus grande profondeur jamais relevée dans les Océans. Malgré tout, il faut souligner que le «Trieste», comme le F.N.R.S. III, restent des prototypes dont le premier descendant, amélioré sur beaucoup de points et notamment pour ce qui concerne la mobilité, devrait être le «superbathyscaphe» français.

Le chaînon manquant : la soucoupe plongeante

On peut dire qu'à la fin de l'année 1959 la situation de l'exploration autonome des mers était la suivante : jusqu'à 60 m, le scaphandre autonome. À partir de 500-600 m minimum, le bathyscaphe. Bien sûr, rien n'interdit de plonger à 150 ou 200 m en bathyscaphe, mais, quand on connaît les difficultés et le coût de mise en œuvre de cet engin, on est forcé de reconnaître que ce serait un gaspillage. Pour faire la «jointure» entre le

scaphandre et le bathyscaphe, l'homme ne disposait jusqu'à l'année dernière d'aucun engin autonome, mais seulement des « tourelles » suspendues, dont un modèle peut atteindre 600 m de profondeur, construites par l'ingénieur italien Galeazzi. Le professeur Auguste Piccard avait bien fait le projet d'un « mésoscaphé », mais il ne fut jamais réalisé. Il appartenait au commandant Cousteau, dont on ne dira jamais assez tout ce que l'Océanographie instrumentale moderne lui doit, de combler cette lacune en réalisant ce qu'il a appelé d'abord la « Tortue », puis la « soucoupe plongeante ».

Celle-ci n'est pas autre chose qu'un ellipsoïde en acier pourvu de deux hublots d'observation analogues à ceux du bathyscaphe, et d'une porte étanche à sa partie supérieure. L'équipage, constitué de deux hommes (pilote et observateur), est agréablement étendu sur le ventre sur deux matelas « dunlopillo ». La propulsion est assurée par réaction grâce au rejet de l'eau de mer, entraînée par une pompe électrique, au travers des orifices de deux tuyères placées à l'avant.

J'ai été, le 3 février 1960, à l'issue des essais, le premier utilisateur scientifique de la soucoupe et j'ai été émerveillé de la souplesse de cet engin. La vitesse économique, qui est de l'ordre de 1 nœud, est parfaite pour l'observation du fond; l'orientation indépendante des tuyères permet les manœuvres les plus délicates. Piloté par Albert Falco, j'ai pu tourner autour d'un rocher et m'arrêter sur chacune de ses faces, et aussi grimper le long d'une dalle rocheuse absolument verticale d'une dizaine de mètres de haut, pour redescendre mollement de l'autre côté sur le sable vaseux du fond. Une caméra cinématographique et un appareil photo avec flash électronique permettent, bien entendu, de prendre films et clichés fixes, simplement en appuyant sur deux boutons, tandis qu'un magnétophone enregistre les observations scientifiques faites à haute voix. Une des « astuces » les plus utiles de cet engin est la présence du lest de 75 kg de mercure qu'on peut faire passer à volonté de l'arrière à l'avant et vice-versa; normalement ce lest sert à assurer l'équilibre longitudinal, mais il a aussi pour l'observateur une autre utilité. Supposons que l'on ait observé sur le fond un objet très petit; quand la soucoupe est posée sur le fond avec son plan équatorial parallèle à celui-ci, la distance la plus proche à laquelle les yeux sont du fond est de l'ordre de 70 cm. En envoyant le mercure sur l'avant, on fait basculer la soucoupe, et le hublot se rapproche du fond, ce qui

permet d'examiner celui-ci de plus près. J'ai pu ainsi me promener trois heures et demie entre 182 m et 25 m de profondeur, contournant les rochers pour examiner les différences de peuplement des diverses faces. étudiant les rides (ripple marks) du fond, le peuplement des sables vaseux et le comportement de divers animaux que nul n'avait vu jusqu'ici dans leur cadre naturel. A la fin de la plongée il suffit de lâcher la deuxième gueuse de 25 kg pour regagner la surface. Le lest de sécurité est constitué par un plomb de 180 kg, et, à la dernière extrémité, par les 75 kg de mercure.

Les engins d'avenir pour l'exploration autonome

La soucoupe plongeante, qui vient d'entrer en service, est prévue pour une profondeur de 300 m et peut d'ailleurs sans inconvénient atteindre 400 m. Un autre exemplaire, à coque résistante sphérique et non ellipsoïdale, est en cours de construction pour atteindre 1 000 m. Ainsi rejoint-elle la profondeur minimum que j'assignais précédemment à l'exploitation du bathyscaphe.

Dès aujourd'hui, donc, nous disposons de trois engins permettant d'étudier *de visu* et *in situ* les milieux océaniques : de 0 à 60 m le scaphandre autonome, de 60 à 1 000 m la soucoupe plongeante, au-delà de 1 000 m le bathyscaphe. Il est probable d'ailleurs que ce tableau n'est que provisoire. Certes, les possibilités du plongeur autonome ne changeront pas, car elles sont liées aux limites physiologiques de l'organisme humain. En revanche, il semble que le domaine dévolu aux « ballons sous-marins », c'est-à-dire aux bathyscaphes, se restreindra à des profondeurs nettement plus grandes que dans l'état actuel de la technique et des réalisations. Dès maintenant, des engins sans flotteur d'allègement allant jusque vers 5 000 m paraissent concevables. On parle aussi beaucoup d'un bathyscaphe utilisant comme flotteur non de l'essence mais du lithium, métal plus léger que l'eau.

En définitive, il est réconfortant de penser qu'en écrivant un article tel que celui qu'on vient de lire, on n'est jamais sûr que les quelques semaines nécessaires à son impression ne seront pas suffisantes pour que soit révélée une nouvelle réalisation, mûrie dans le plus grand secret, et qui ridiculisera les prévisions les plus audacieuses de l'auteur.

J. M. PERES

Professeur d'Océanographie
à la Faculté des Sciences de Marseille

A black and white photograph of marine life. In the foreground, a large, light-colored crustacean, possibly a shrimp or a large copepod, is shown in profile, facing right. It has long antennae and a segmented body. To its left, there is a darker, more complex organism, possibly a larva or a small fish. The background is filled with various other marine organisms, including what looks like a jellyfish or a large, translucent animal in the upper left, and several smaller, round, possibly sessile organisms in the lower left. The overall scene is a dense, naturalistic depiction of marine biodiversity.

PLANCTON ET VIE MARINE



E

Peut-on augmenter la productivité des mers ?

DEPUIS le savant allemand Hensen qui, en 1887, lui appliqua le nom de « plancton » (chez Homère : organismes errant à la surface de l'eau), l'ensemble des êtres flottant à toutes profondeurs suscite chaque année un nombre croissant de travaux. Cet attrait que le grand public commence à partager provient de l'immense complexité d'un tel ensemble, du milieu extrêmement variable qui l'entoure, et enfin de l'intérêt pratique qu'on lui a découvert il y a quelques décades. En effet, le plancton comprend *tous* les organismes animaux, végétaux ou même bactériens incapables de résister à un courant marin, si faible soit-il. Ceci n'empêche pas certains d'entre eux d'effectuer des déplacements verticaux quotidiens atteignant jusqu'à 1 000 m d'amplitude, mais ces déplacements ne sont que des oscillations. Le caractère fondamental du plancton est d'être *incapable par lui-même de tout mouvement orienté de longue durée*.

En face des problèmes posés par tant d'organismes d'une beauté nouvelle et inexpliquée, les océanologues se demandaient par où commencer. La logique voulait qu'ils suivent l'ordre de la Genèse : aussi consacrèrent-ils d'abord 30 ou 40 ans à les décrire et à les nommer. Et ils sont loin d'avoir fini, car la tâche est grande. Mais, vers 1910, un autre aspect de la question les retint. On étudia alors l'écologie, c'est-à-dire les relations des organismes déjà connus avec le milieu où ils vivent. Cette préoc-

← Un échantillon de plancton animal très fortement grossi

cupation est toujours actuelle et le restera longtemps, car l'écologie d'une ambiance aussi fluctuante que l'eau de mer est beaucoup plus difficile à comprendre que celle, relativement plus stable, de la terre ou des fonds marins. Par exemple, le processus de la formation des espèces, dont on commence à connaître les règles en milieu terrestre, est encore inconnu en ce qui concerne le plancton.

Vers 1930, les suggestions prophétiques de Hensen sur la nécessité d'étudier *quantitativement* les rapports du plancton et de son milieu sont reprises avec des techniques améliorées. L'Allemand Lohmann, les Anglais Lebour, Russel et bien d'autres, plusieurs Scandinaves entreprennent des prélèvements méthodiques accompagnés de mesures physiques et chimiques, répartis sur toute l'année en de nombreux points du globe. Mais c'est seulement il y a dix ans que la notion de « productivité », pourtant si familière aux industriels, commence à occuper l'esprit des océanologues. L'adoption de ce nouveau point de vue tient sans doute à l'accroissement général des besoins alimentaires, mais il fallait les patientes études écologiques précédentes et les résultats des grandes expéditions pour que ce progrès soit possible. A mesure que l'on saisit mieux l'étroitesse des relations unissant les poissons de grande pêche, tels que morue, hareng, sardine... au plancton dont ils font leur nourriture, soit à l'état d'alevins, soit toute leur vie durant, les océanologues rapprochent leurs points de vue de celui des agronomes étudiant la production de bétail en fonction de la qualité et du rendement du pâturage qui le nourrit.

Une prairie marine : le phytoplancton

Comparer l'océan à une prairie paraît à première vue une image poétique; mais savants et poètes n'ont-ils pas en commun une vision de la réalité plus profonde que celle du simple mortel? Chose curieuse, il arrive parfois que ces visions coïncident : examinons donc de près notre plancton végétal.

Cette première catégorie est presque invisible à l'œil nu. Si l'on prélève un litre d'eau en haute mer, on n'y verra fort probablement rien. Au microscope, il apparaît une foule de végétaux unicellulaires dont les plus importants en mers froides et tempérées sont les Diatomées. Ce sont de splendides algues à coque siliceuse, aux formes extrêmement variées et de dimensions relativement importantes puisque les plus grandes peuvent atteindre 0,2 mm de long. Elles ne subsistent que par synthèse chlorophyllienne exclusi-

vement, ce qui limite leur présence à la seule couche d'eau que pénètrent les rayons solaires en quantité suffisante : au moins 1 % de l'énergie lumineuse reçue par la surface. Cette nappe superficielle est mince : en moyenne 40 m dans les régions tempérées et froides, 50 — 75 m sous les tropiques et en Méditerranée. Mais cette faible épaisseur est compensée par une extrême densité de peuplement : on y trouve facilement de 2 à 15 millions de cellules vivantes par litre dans les mers froides, par exemple.

Les végétaux des deux groupes suivants ont la possibilité de vivre soit par synthèse chlorophyllienne, soit par hétérotrophie, c'est-à-dire sans utiliser cette fonction. La lumière solaire ne leur étant pas indispensable, on les trouve jusqu'aux plus grandes profondeurs où ils se nourrissent probablement de substances organiques dissoutes ou en suspension et de bactéries. Ce sont :

— les *Flagellés calcaires*, qui répondent pour les savants au nom cocasse de Coccolithophorides et dont la coque recouverte de calcaire contient un magnifique pigment rouge orangé. Ils sont de beaucoup les plus importants en mers chaudes, comme la Méditerranée, où les Diatomées sont gênées par le pH élevé et les fortes concentrations en oxygène dissout. Malheureusement, leur croissance est beaucoup moins rapide que celle de ces dernières qui doublent leur nombre en 24 heures en milieu favorable, tandis que les Flagellés calcaires n'en font autant qu'en 5 ou 10 jours.

— les *Dinoflagellés*, caractérisés par la présence de deux fouets perpendiculaires, peuvent également être très abondants dans les mers tropicales et tempérées chaudes. De nombreux membres de cet ordre sont devenus parasites et peuvent infecter une variété inouïe de bêtes marines, provoquant des intoxications alimentaires quand ils attaquent les huîtres et les moules, et de grandes mortalités chez les œufs de sardines. Enfin, certains Péridiniens libres sécrètent des substances toxiques à tel point qu'elles empoisonnent les poissons et toute vie animale dans la zone où elles prolifèrent. C'est ce fléau que l'on appelle « les eaux rouges », la première « plaie d'Égypte », et qui est assez fréquent sur les côtes du Pérou et du Sud-Ouest de l'Afrique, des marais adriatiques, aussi bien que dans les eaux douces des régions sub-tropicales. Nous avons eu récemment dans la baie d'Alger des « taches de sang » étendues, produites par des amas d'un de ces Dinoflagellés, *Noctiluca scintillans*. Les substances toxiques qu'il sécrète font disparaître le plancton supérieur dont se nourrissent les poissons et provoquent le départ massif de ces derniers.

Beaucoup moins nombreux que les précédents sont les Cyanophycées, ou Algues bleues, les Silicoflagellés et les Volvocales, qui caractérisent certaines régions.

En plus de ces trois principaux groupes, on trouve encore des unicellulaires appartenant au règne animal, mais dont l'importance pour la productivité est bien moindre : ce sont des Radiolaires, les Foraminifères nauteurs et les Tintinnides.

Les bactéries marines

Nous ne pouvons pourtant pas quitter notre « herbe » sans parler des bactéries marines, malheureusement très peu connues. Leur rôle est pourtant primordial puisqu'on leur doit la dégradation de la matière organique, une part de sa synthèse, ainsi que la production des sels minéraux vitaux pour tout le phytoplancton utilisant la fonction chlorophyllienne : les nitrates et les phosphates. Elles sont généralement hétérotrophes, vivant aux dépens des cadavres et détritiques marins, et se trouvent à toutes les profondeurs. Ce sont aussi elles qui nettoient la surface du mazout de vidange qui pollue et empoisonne les eaux côtières. Senez a montré, à Marseille, que cette décomposition prenait plusieurs mois.

En dehors des zones côtières, qui sont fortement infestées par les déchets terrestres divers, leur nombre est très faible, tombant au large de 5 à 20 germes par cm^3 au lieu de 500 à 30 000, ce qui est dû en partie aux sécrétions antibiotiques du phytoplancton. Cette variation de la teneur en bactéries est d'ailleurs d'une grande importance pour la biologie de ces deux catégories d'eaux : les eaux côtières ont leurs cycles du carbone et de l'azote considérablement accélérés par rapport aux

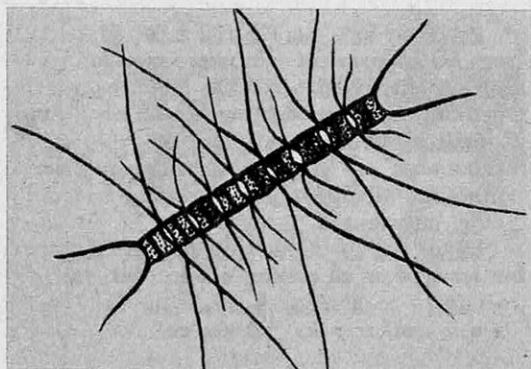
eaux du large, ce qui augmente d'autant leur capacité de production de matière vivante.

Le plancton animal ou zooplancton

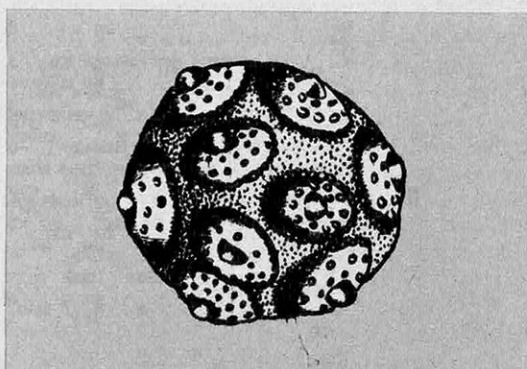
L'autre catégorie de plancton, bien visible cette fois, représente une complication supplémentaire dont les océanologues se seraient bien passé. En effet, les poissons, dans la majorité des cas, ne pâturent pas directement le plancton végétal : ils doivent passer par l'intermédiaire de petits animaux herbivores appartenant aux groupes zoologiques les plus variés et dont le comportement pose des problèmes encore très ardu. On y trouve d'abord une quantité de larves d'organismes benthiques : oursins, étoiles de mer, mollusques, crustacés variés, qui passent par un ou plusieurs stades nageurs, ou pélagiques, d'une durée de quelques heures à plusieurs mois. Puis tous les œufs et jeunes alevins des poissons tels que le hareng, la sardine, l'anchois, la morue, l'églefin, etc... Ces jeunes êtres n'effectuent qu'un simple stage dans le plancton. Par contre, appartiennent leur vie durant au domaine pélagique les deux catégories suivantes, dont hélas ! l'une mange l'autre, ce qui réduit la productivité.

Dans la première, qui est herbivore et la plus abondante, figurent des organismes à teneur en eau faible pour le milieu marin : environ 80 % du poids frais. Ce sont de petits crustacés : Copépodes, Cladocères, Euphausiacés, des Mollusques Gastéropodes et Hétéropodes, quelques genres d'Annélides, certains Tuniciers nageurs.

La seconde réunit principalement les prédateurs des précédents, dont les tissus ont une forte teneur en eau : 95 — 98 %. Ils sont gélatineux, transparents et voraces : Méduses et



UNE DIATOMÉE, belle algue unicellulaire à coque siliceuse, dominante en mer froide et tempérée; il en existe des formes très variées (longueur 0,3 mm).



UNE COCCOLITHOPHORIDE, flagellé dont la coque est recouverte de calcaire; ces flagellés sont prépondérants dans les mers chaudes (long. 15 μ).

Siphonophores, Sagittes, petits vers carnassiers très abondants. D'autres Tuniciers sont moins redoutables car herbivores.

Pour clore la liste, on a même des araignées des grandes profondeurs (sans aucun lien avec le crabe du même nom), les Pycnogonides, mais elles sont peu fréquentes.

Trophoplancton et phagoplancton

Résumons un peu : la part la plus nourrissante du plancton animal, que j'ai suggéré d'appeler « trophoplancton » (du grec « nourriture ») broute le plancton végétal. Mais elle est dévorée par la fraction la moins riche, carnivore, le « phagoplancton » (du grec « je mange »).

Il ne reste donc aux poissons qu'une fraction de plancton nutritif. Et la présence occasionnelle d'un important phagoplancton qu'ils ne mangent généralement pas provoque le départ des bancs à la recherche d'essaims planctoniques moins décimés. Le phagoplancton joue le rôle d'un court-circuit, transformant rapidement les corps ingérés en nitrates, phosphates et déjections qui descendent fertiliser les couches plus profondes.

Informons les curieux pourvus d'une petite embarcation, même à rames, qu'il leur est très facile de capturer du plancton en traînant 15 minutes, à 5 ou 10 m derrière eux, un bas nylon fixé à une armature circulaire en laiton ou plastique, à laquelle s'adapte une simple patte d'oie et un fil. Il faut juste lester un peu la partie inférieure du cercle afin de maintenir le filet bien ouvert. L'examen de la prise se fait dans un verre d'eau de mer sur fond noir.

Mais il est inutile d'esquisser ici la biologie du plancton animal : très complexe, variant beaucoup selon les conditions d'éclairement, de température, de salinité, de pH, nous ne pourrions l'aborder utilement que dans ses rapports avec le phytoplancton, et avec le necton : les poissons. Il faut cependant savoir que son évaluation quantitative est extrêmement longue et délicate, car sa répartition dans l'eau, n'est pas du tout homogène, comme celle du phytoplancton pour une masse d'eau donnée, mais qu'il se rencontre par *essaims*, de configuration capricieuse. Les répartitions aléatoires habituelles sont inutilisables et seules les distributions du type « contagieux » paraissent capables d'expliquer à peu près les faits.

Parvenus au stade des recherches quantitatives, nos océanologues abordent en quelque sorte des études de démographie, de dynamique des populations. Pour simplifier leur

Quelques spécimens → du plancton

ON voit en 1 un alevin âgé de quelques jours, d'environ 10 mm de longueur ; à ce stade, les jeunes poissons se nourrissent de plancton végétal et de substances organiques en suspension dans l'eau (seston) ; ils font d'ailleurs eux-mêmes partie du plancton et sont éventuellement dévorés par d'autres poissons. En 2, un Péridinien du genre *Ceratium*, appartenant au plancton végétal et long de 50 microns. En 3, un Annélide pélagique, proche parent du vulgaire *Lombric* et qui a préféré un domaine plus noble que l'humus mais moins nourrissant, de sorte qu'il ne mesure que 8 mm. En 4, un Mollusque hétéropode, *Cavolinia inflexa*, adapté à la vie pélagique, et dont le corps est transparent comme du cristal.

tâche, ils découpent l'ensemble de la productivité en :

- *fertilité élémentaire*, ou végétale,
- *fertilité secondaire*, se rapportant au plancton animal,
- on s'attend à « fertilité tertiaire » mais, en réalité, on n'évalue que le *rendement des pêches*. C'est seulement dans les lagunes ou certains bassins fermés qu'on peut apprécier avec une précision acceptable la production totale de poisson.

Fertilité élémentaire : sels nutritifs et photosynthèse

C'est la productivité d'une masse d'eau en phytoplancton. Nous avons vu précédemment que deux modes de nutrition s'offraient aux végétaux unicellulaires marins : la photosynthèse ou autotrophie et l'hétérotrophie. La première est la mieux connue car elle bénéficie des travaux antérieurs des botanistes.

A la base de la production, comme dans les terres arables, sont les sels nutritifs : phosphates et nitrates, sans lesquels les plus fortes énergies solaires ne sauraient faire multiplier les éléments végétaux. On peut estimer la teneur minimum pour une bonne production végétale à 5 mg de phosphore par mètre cube d'eau et 40 mg d'azote. Le tableau page 64 donne une idée de la concentration habituelle de ces substances.

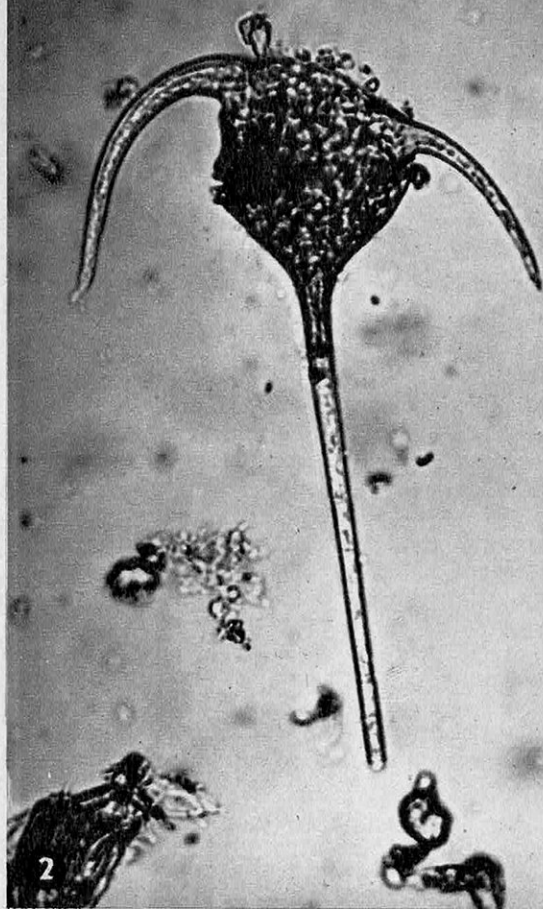
On voit d'après lui que les couches profondes servent de réservoirs aux sels nutritifs provenant de la décomposition des cadavres. Il y a une très grande fertilité, comme près des côtes d'Afrique occidentale, lorsque des courants ascendants amènent fréquemment ces produits en surface. L'Antarctique est la seule région du globe où l'excès de sels nutri-



1

Ph. M. Bernard

Ph. M. Bernard



2

Ph. Lecal

Ph. Arlès



3



4

Teneur en mg/m ³	Mers ouvertes	Surface Méditerranée		Grandes profondeurs
	surface	Alger	Monaco	partout
Azote	0 à 80	50 à 150	15 à 100	(1 000 — 5 000 m)
Phosphore	2 à 30	0,2 à 6	0 à 1,5	120 à 400 5 à 60

tifs est tel que la fertilité est réduite seulement par l'insuffisance de l'éclairement. En Méditerranée, les nitrates, contrairement au cas des océans, bloquent rarement la production végétale par leur absence; le Professeur Bernard et ses collaborateurs, à Alger, ont montré que le manque de phosphates est de loin la cause la plus fréquente de la basse production végétale de cette mer. A Monaco, ils tombent en moyenne une semaine sur deux à zéro; au large de l'Algérie, le courant atlantique qui baigne ses côtes apporte des phosphates, mais leur moyenne annuelle en surface ne dépasse pas 2 mg par mètre cube, tandis qu'elle va de 4 à 25 mg dans l'Atlantique.

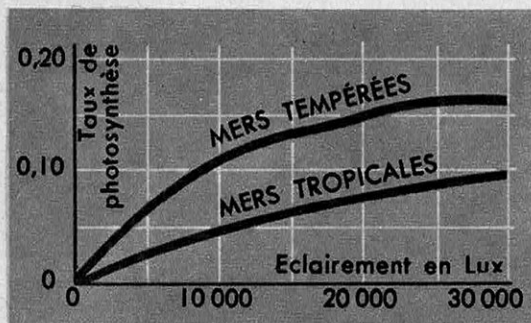
Le rendement de la photosynthèse

Si les conditions d'éclairement sont connues depuis longtemps pour la photosynthèse des végétaux terrestres, il a fallu attendre 1951 et la mise au point d'une méthode beaucoup plus précise et d'un emploi plus facile à la mer que les précédentes pour étudier le phytoplancton. C'est au grand océanologue danois E. Steemann-Nielsen, que nous devons la solution de l'essentiel du problème. Il procède en fournissant au phytoplancton, comme source de CO₂, une solution de bicarbonate contenant du carbone 14 radioactif. La bouteille contenant l'eau de mer, son phytoplancton à étudier et ce carbone mar-

qué est immergée à la profondeur voulue durant une demi-journée d'éclairement solaire. Puis on filtre le contenu de la bouteille sur du collodion et l'on y mesure la radioactivité au compteur de Geiger. Le filtre est suffisamment fin pour que tous les êtres chlorophylliens de la bouteille soient retenus: le CO₂ propre de l'eau ayant déjà été dosé, le ¹⁴C restant est donc celui de la matière synthétisée, compte tenu de la respiration. La croisière danoise autour du monde de la « Galathea », qui dura 2 ans, ramena ainsi facilement plusieurs milliers d'échantillons. Steemann-Nielsen constate que le rendement énergétique est de 10 à 1 200 fois plus faible en mer que celui des plantes terrestres. A Walvis Bay, en Afrique du Sud, lieu le plus riche trouvé par cet auteur, le rendement de la photosynthèse n'est que de 2 %. En moyenne, dans toutes les mers connues, le rendement est de 0,04 % seulement.

Pourquoi ce rendement très inférieur aux prévisions théoriques? Parce que les vagues, les particules en suspension et l'eau de mer elle-même absorbent plus de 97 % de l'énergie solaire. Il faut tenir également compte d'une mystérieuse substance jaune foncé en suspension, fréquente dans les mers riches, et qui joue un rôle absorbant. Enfin, les unicellulaires marins ont moins de chlorophylle par gramme de protoplasme et se multiplient moins vite que les formes terrestres et lacustres analogues. En mer chaude, les Coccolithophorides dominent, et ils ne doublent leur nombre qu'en 5 à 10 jours, tandis que certaines *Chlorella* d'eau douce peuvent doubler en 12 heures.

D'autre part, il y a diminution de la photosynthèse pour des éclaircements trop forts, de 10 000 à 30 000 lux. Steemann-Nielsen, étudiant expérimentalement ce phénomène, conclut à l'existence d'une photo-oxydation décomposant ou inhibant les enzymes de la fonction chlorophyllienne. Or l'éclairement de surface à midi peut dépasser 20 000 lux dans le nord de la France et 30 000 lux sous les tropiques et en Algérie. Mais seuls les Dinoflagellés supportent bien les fortes insolation. Les autres algues ont leur optimum photosynthétique entre 1 et 80 m en profon-



TAUX DE PHOTOSYNTHÈSE dans les mers tempérées et tropicales en fonction de l'éclairement; c'est le poids en mg de matière organique synthétisée/heure par rapport au poids de matière organique.

deur, selon les différentes espèces présentes.

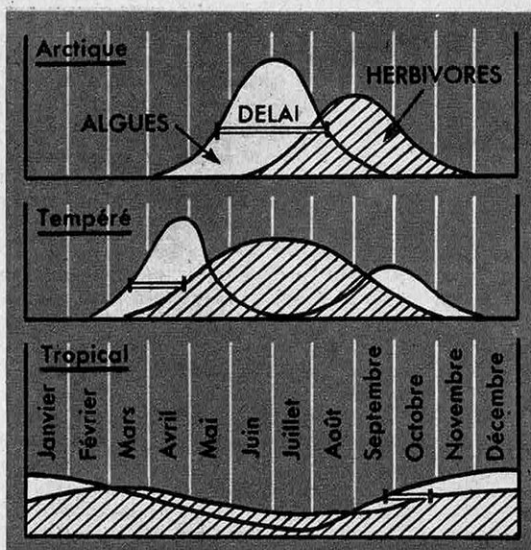
Jusqu'à quel niveau la photosynthèse est-elle possible ? On sait que ce sont les radiations bleues d'une longueur d'onde de $0,475 \mu$ qui pénètrent le plus loin en eau de mer ; on en trouve encore 1 % à 140 m sous la surface de la transparente mer des Sargasses. La Méditerranée, encore plus claire, rend la photosynthèse des Coccolithophorides possible jusqu'à plus de 200 m en été, mais généralement pas plus bas. Dans les régions tempérées et froides, la photosynthèse d'hiver n'est possible que juste au-dessous de la surface, et en été, quand l'eau est claire, jusqu'à 40 m. Cette caractéristique n'est cependant pas néfaste, car les résultats de Steemann-Nielsen confirmant ceux obtenus en eau douce ainsi que les hypothèses de Hentschel de 1936, prouvent qu'il y a d'autant plus de carbone synthétisé par mètre carré que la couche éclairée est plus mince. Le phytoplancton concentré sur une faible épaisseur a un bien meilleur rendement que la même quantité d'algues répartie de la surface à 50 ou 100 m de profondeur. Dans 10 m d'eau suffisamment illuminée en surface, il y a trois fois plus de carbone organique formé par jour que dans une couche de 50 m éclairée identiquement, et 30 fois plus que dans une couche de 120 m.

Pourquoi cela ? C'est que les radiations sont rapidement absorbées et diffusées par les particules inertes en suspension dans l'eau. A partir de 50 m en général, l'énergie solaire disponible tombe à moins de 1/10 de celle reçue par la surface. Par conséquent, si les autotrophes sont concentrés vers la surface, leur concentration est supérieure à celle des particules, et ils utilisent au mieux l'énergie lumineuse. Si, au contraire ils sont dispersés sur une grande épaisseur, l'absorption due aux particules devient grande par rapport à la leur, et la quantité d'énergie disponible décroît rapidement.

C'est pourquoi les botanistes de la mer collaborent souvent avec les physiciens pour l'emploi de photomètres extrêmement sensibles qui permettent de mesurer l'éclairement solaire jusqu'à 1 000 m, ainsi que celui produit par le plancton animal et les poissons abyssaux. L'énergie reçue est de l'ordre de 10^{-4} à 10^{-7} microwatts par cm^2 .

Comment vivre sans lumière : l'hétérotrophie

Les particules organiques en suspension n'interviennent pas seulement dans la pénétration lumineuse. Elles jouent aussi un rôle primordial dans la nutrition, non seulement des unicellulaires, mais aussi de toutes sortes



AMPLITUDES SAISONNIÈRES de la production d'algues et d'herbivores planctoniques sous différentes latitudes. Le trait horizontal représente le décalage entre le moment où la nourriture devient assez abondante pour permettre la ponte des œufs et le début effectif de la production d'herbivores.

d'animaux. Et il le faut bien car la couche marine obscure, dépourvue de fonction chlorophyllienne, a une épaisseur moyenne pour tout le globe de 4 000 m environ. Or, on sait, depuis l'expédition allemande du « Meteor », en 1934, que cette couche n'est pas inhabitée : de 3 à 10 fois moins riche en phytoplancton que la zone éclairée, elle n'en contient pas moins de 1 000 à 10 000 unicellulaires par cm^3 selon les saisons et les régions.

F. Bernard a montré en 1937 que les algues calcaires étaient bien vivantes, même en grande profondeur, et qu'elles se nourrissaient de substances organiques dissoutes ou en suspension, la quantité de bactéries disponibles en ce lieu étant très insuffisante. Les substances organiques réellement dissoutes (surtout des glucides) ont d'ailleurs beaucoup moins d'importance que celles en suspension. Il faut retenir le nom que leur donna, en 1939, Krey et son école à Kiel : « seston », car cet ensemble est promis à la célébrité. Le seston comprend non seulement des cadavres et déjections, mais aussi beaucoup de débris continentaux : fragments d'algues, poils de plantes, grains de pollen..., et il fournit près des côtes une partie considérable de l'alimentation des jeunes alevins et des larves de mollusques comestibles.

Le Cycle de la vie → dans les mers

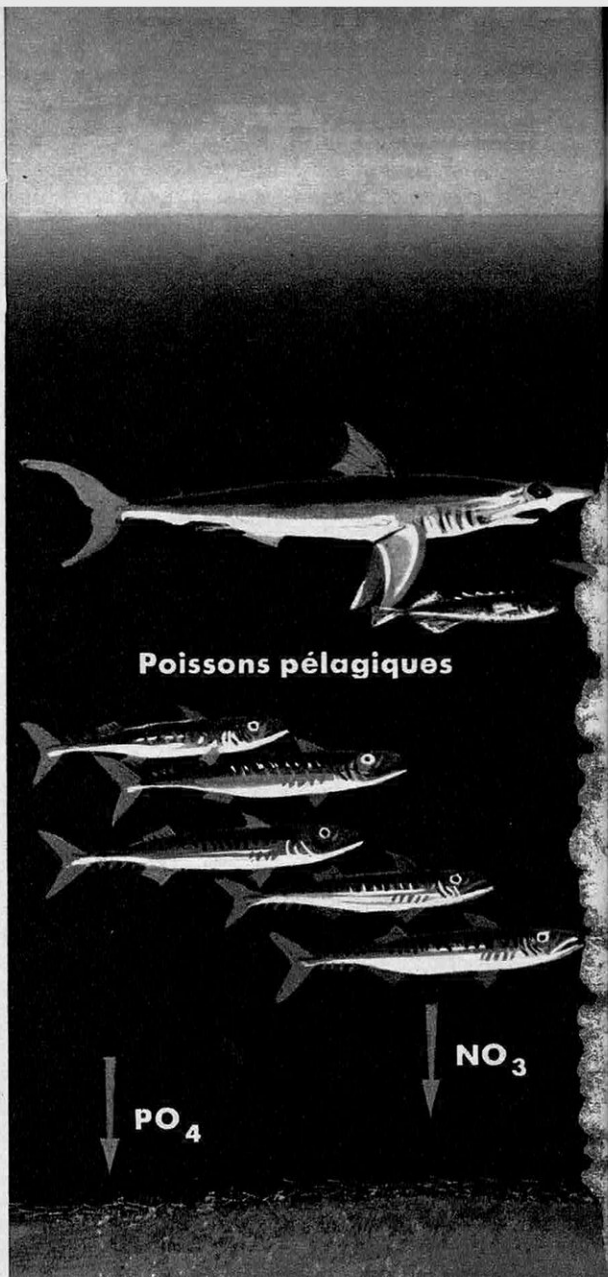
L'ÉNERGIE solaire et les sels nutritifs (phosphates PO_4 et nitrates NO_3) provenant du continent comme des fonds marins sont utilisés par les Algues chlorophylliennes de surface pour synthétiser leur matière organique, tandis que le phytoplancton profond, hétérotrophe, se nourrit de cadavres, d'excréments et de détritus divers. Le zooplancton, au centre, pâture le phytoplancton et le necton (harengs, sardines, etc.) mange à son tour le plancton animal. En retour, le necton produit des sels nutritifs et de la matière organique qui tombe dans les couches profondes pour servir à nouveau de nourriture au phytoplancton. Les grandes flèches en gris plus foncé indiquent le sens du rapport proie-prédateur.

Pour revenir à l'hétérotrophie, admettons tout de suite que nous n'en savons guère plus long. Nous pouvons depuis peu doser le carbone organique dissous par une méthode très longue et délicate, inventée à Kiel et utilisée uniquement à Alger, mais l'extrême difficulté de la culture en laboratoire des algues hétérotrophes a découragé jusqu'à présent l'expérimentation. D'ailleurs, il faut bien dire que très peu de chercheurs se sont intéressés à cet aspect de la vie végétale marine, aussi connaissons-nous à peine la base alimentaire du phytoplancton, et encore sans données numériques.

La classification des mers et les prévisions de récolte

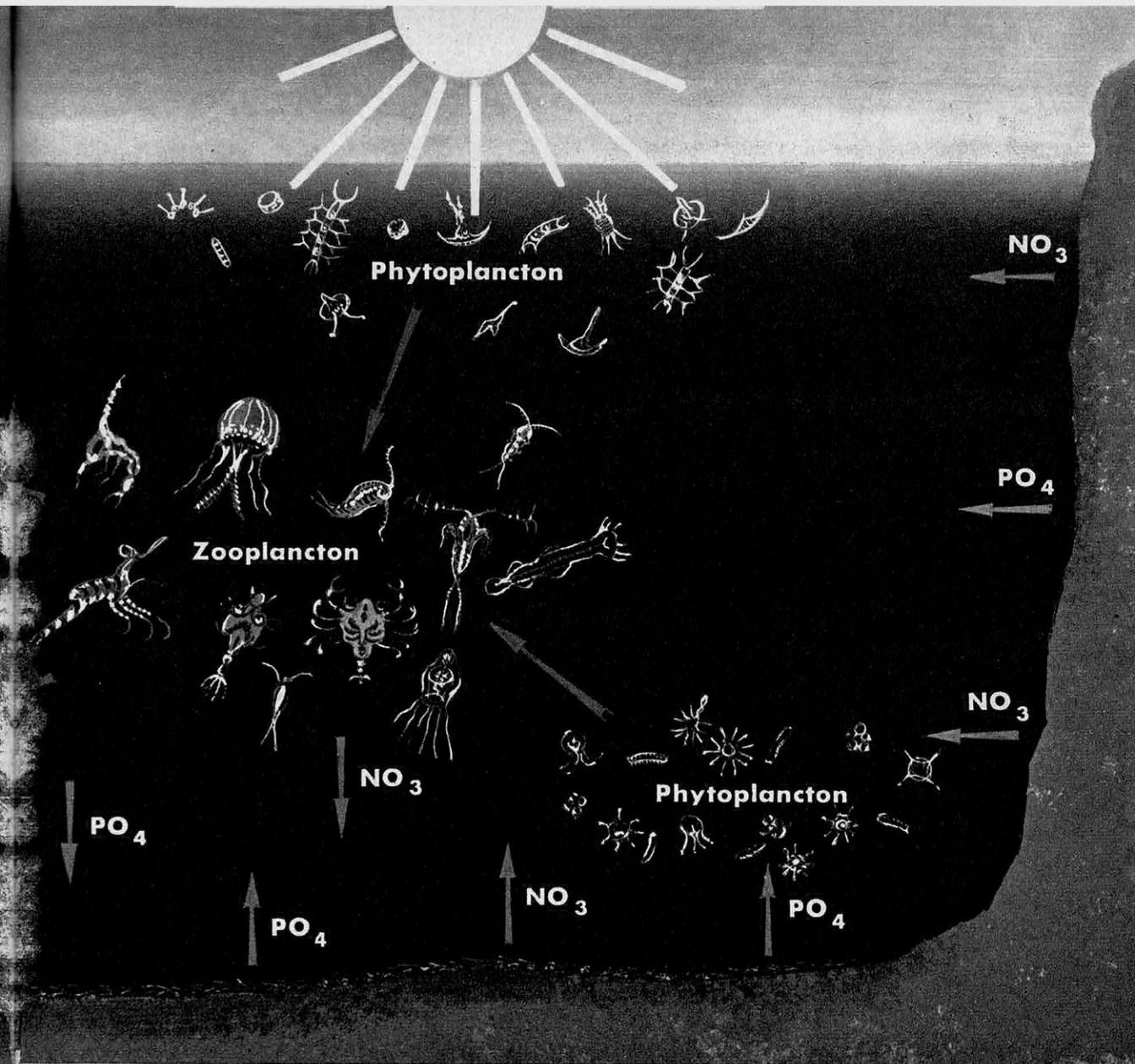
Notre connaissance du phytoplancton permet cependant de prévoir la productivité végétale d'une région donnée si l'on connaît le régime thermique de l'eau, sa composition chimique, sa turbidité, et trois facteurs météorologiques : l'insolation moyenne annuelle, les précipitations et aussi le régime local des vents. Car le vent intervient de deux manières : en agitant la surface, et en créant des courants qui remontent les eaux profondes, d'où l'enrichissement. Ces données, relativement simples mais longues à réunir, situent la région vers l'un des deux types extrêmes reconnus par Hentschel :

— *Zone eutrophe*, au pH inférieur à 8,1, de température variant de -2 à $+18^\circ$, avec un éclaircissement de surface dépassant rarement 18 000 lux, une salinité moindre que 37,5 g de chlorure de sodium par litre et naturellement une concentration suffisante de phosphates et nitrates.



phates et nitrates. Dans ces conditions, le phytoplancton donne plus de 5 000 cellules au cm^3 , dans une couche d'une trentaine de mètres d'épaisseur, et la photosynthèse en éclaircissement convenable produit quotidiennement de 0,45 à 2 ou 3 g de carbone par mètre carré. Exemples : mers froides, tempérées froides et courants froids au sein de mers chaudes, comme le courant de Benguela près des côtes Sud-Ouest d'Afrique, et le courant de Humboldt qui longe les Andes australes.

Les organismes dominants sont les Diatomées, parfois aussi les Volvocales. La couleur de l'eau est verte, à cause de l'abondance chlorophyllienne, ou jaunâtre quand s'y



D'après une aquarelle de G. Fredouille

trouve l'énigmatique substance jaune mentionnée plus haut.

— *Zone oligotrophe*, au pH supérieur à 8,1 et d'éclairement allant de 18 000 à 25 000 lux, conditions favorisant les Flagellés calcaires. La température monte au-dessus de 18° une grande partie de l'année. Il y a généralement plus de 37,5 g de chlorure de sodium par litre. Tout ceci facilite la vie des Coccolithophorides, accompagnés d'une quantité moindre de Dinoflagellés. Ces mers sont bleues, limpides et profondes : signe de pauvreté. En effet, les faibles différences de température et l'éloignement des fonds empêchent les courants de convection de remon-

ter suffisamment les sels nutritifs accumulés dans les couches inférieures, sauf près des côtes où la production est plus forte. Il en résulte une faible photosynthèse, n'excédant pas 0,35 g de carbone par mètre carré et par jour. C'est le cas de la Méditerranée et de la mer des Sargasses, ainsi que de vastes régions des océans Pacifique et Indien. Les mers oligotrophes sont de loin les plus vastes, c'est pourquoi la moyenne mondiale du carbone synthétisé n'est que de 0,15 g par mètre carré et par jour.

Entre ces deux types se placent des intermédiaires où l'éclairement et le pH sont tantôt défavorables aux Diatomées, tantôt

aux Flagellés calcaires. Là dominant plus souvent les Dinoflagellés. Exemples : Golfe de Gascogne, Atlantique tempéré.

La production d'herbivores

La fertilité secondaire est mal connue, à cause de l'emploi encore trop répandu de techniques de prélèvement défectueuses. En effet, on récolte à peu près tout le phytoplancton présent en fermant à la profondeur voulue une bouteille métallique de 1 litre descendue ouverte aux deux extrémités. Mais la capture du zooplancton, dont certains membres sont excellents nageurs, requiert des filets coniques à mailles plus ou moins grandes selon les groupes recherchés. On ne peut pêcher des Cœlentérés longs de 3 cm au moins, ou des Euphausiacés aux réflexes rapides avec un filet fin : il faut une maille de 0,50 mm permettant une remontée rapide de l'engin. Dans ces conditions, les petits Copépodes et les larves passent à travers, ce qui oblige les planctonologues à utiliser en même temps plusieurs types de filet pour avoir un échantillon complet de tout le zooplancton présent au lieu considéré. Il faut de plus évaluer au même moment le phytoplancton et les bactéries pour avoir l'état exact de l'ensemble des organismes vivants, ou « biomasse ». Sur le papier, cela semble très simple. Mais ces opérations sont si longues en mer, et exigent pour le dépouillement tant de spécialistes que très peu de laboratoires les ont effectuées correctement jusqu'à présent.

Le cycle du plancton animal

Comme on peut s'y attendre, la relation entre la masse actuellement disponible de zooplancton, la « standing crop » des auteurs anglo-saxons et japonais, et les algues dont ils se nourrissent est étroite. Quant au plancton carnivore et gélatineux, il dépend des herbivores, et son cycle peut être ici confondu avec ces derniers.

Les répartitions annuelles seront donc très différentes pour une région froide, eutrophe, ou pour une mer tropicale pauvre, avec tous les cas intermédiaires possibles.

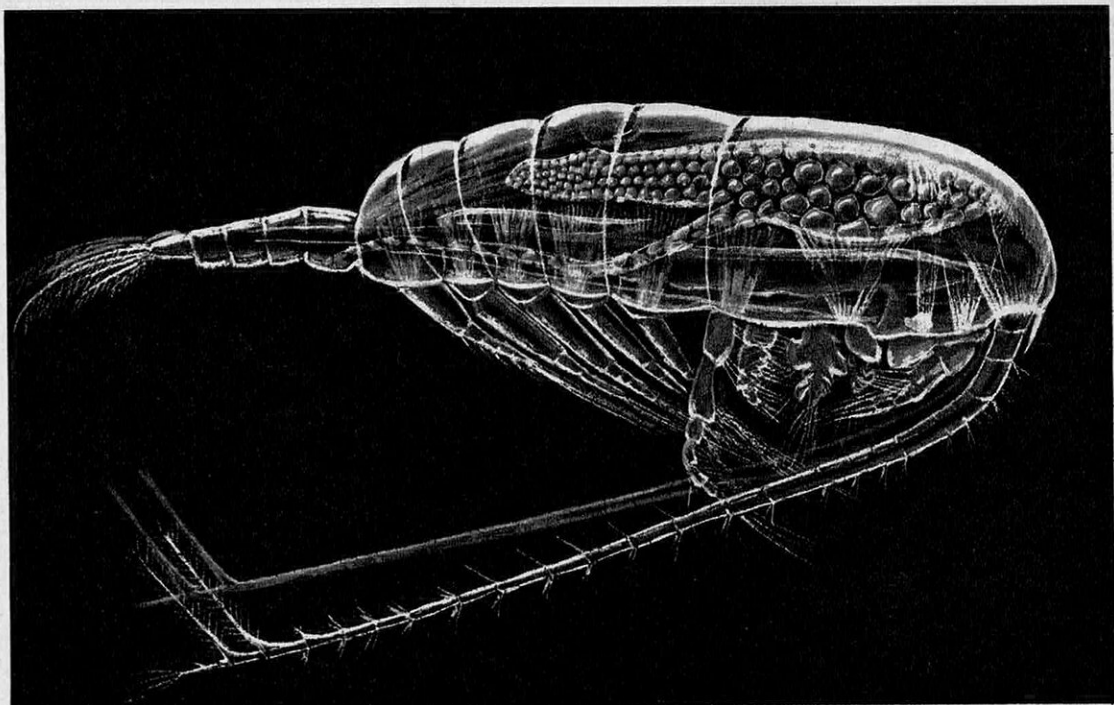
Le schéma p. 65 d'après D.-H. Cushing explique clairement ce qui se passe : la photosynthèse dans les mers froides est limitée aux seuls mois de l'année dotés d'une insolation suffisante, mai à septembre, mais la richesse du milieu et la longue durée du jour donnent une fertilité élémentaire formidable qui compense la brièveté de la production. Pendant ce temps, le zooplancton, dont quelques représentants ont maigrement survécu pen-

dant l'hiver, commence à se reproduire, mais les larves ne se développent toutes que si la quantité de nourriture disponible atteint un certain seuil. Leur croissance étant ralentie par les basses températures printanières (0° à 4°), il y a un délai de plusieurs semaines avant le démarrage effectif de la production animale, et les maximum de végétaux et d'herbivores ne coïncident pas. Le déclin du phytoplancton, entraîné d'abord par l'épuisement des phosphates et des nitrates, est peu influencé par l'accession à l'âge adulte d'une forte population. Il n'entraîne pas une réduction immédiate du stock animal dont les besoins alimentaires sont largement couverts jusqu'au début de l'automne. Il n'y a que deux générations dans l'année : l'une très abondante mais de courte durée de vie pendant la période estivale, l'autre qui naît en automne et subsiste jusqu'à la saison suivante. Les régions arctiques et antarctiques présentent donc une relation phytoplancton-zooplancton de type le plus souvent inverse.

Dans les eaux tempérées, le cycle commence plus tôt, vers février. L'amplitude du taux quotidien de multiplication des algues est plus faible, les herbivores se développent plus rapidement dans des eaux un peu moins froides (6°-10°). Par conséquent, le délai entre les deux « moissons » est plus court que dans le cas précédent. En fait, il est assez court pour que l'effectif de la population végétale soit contrôlé par la consommation qu'en fait le zooplancton. Lorsque ce dernier décroît vers septembre, faute de nourriture, il y a place pour une autre récolte d'algues, plus faible et plus courte que la première. Nous avons là une relation de type généralement direct. Bien entendu, dans l'Arctique comme en eau tempérée, l'hiver n'est jamais complètement dépourvu de vie animale et végétale ; mais les individus qui subsistent ne se multiplient pratiquement pas.

Sous les tropiques, les eaux de 12° à 30° et l'illumination intense toute l'année permettent un cycle sans interruption. L'accroissement végétal a lieu en hiver, et peu de temps le sépare de la période du plancton herbivore. Le taux de production des algues est maintenu constant à peu près toute l'année par les animaux qui les broutent et suivent de près leurs variations quantitatives. L'amplitude des variations saisonnières est faible ; seulement 5 fois la valeur minimum, tandis qu'elle atteint 1 000 fois dans les eaux arctiques et tempérées. C'est le cycle des mers oligotrophes en dehors des zones à courants froids ou remontées d'eaux, celui qu'on observe en Méditerranée.

Une opinion généralement répandue veut



CALANUS FINMARCHICUS, illustre Copépode décrit en 1770 et qui constitue l'élément principal du zooplancton atlantique. On a écrit des volumes sur sa biologie car son importance économique est immense. Derrière le tube digestif rougi par les caroténoïdes provenant des Algues ingérées, on trouve une réserve d'huile jaune-verdâtre riche en vitamines. Au-dessous, le sac ovigère est plein d'œufs bleus. (Aquarelle C. Arlès)

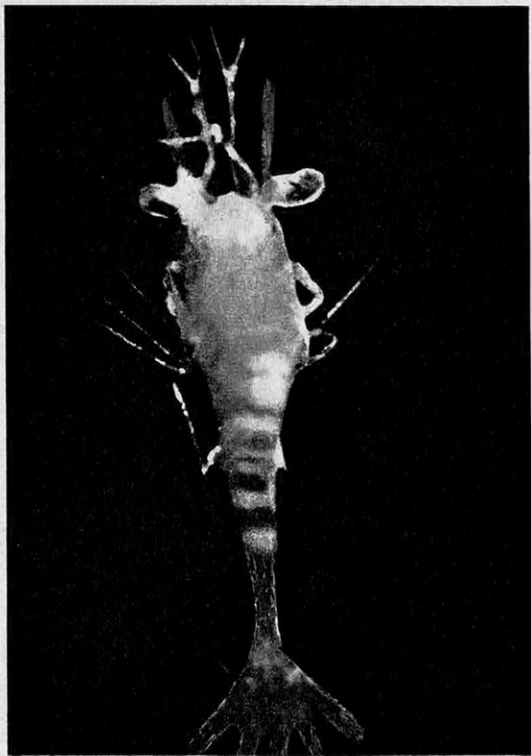
que ce type d'eau soit relativement stérile : ce n'est pas sûr. On s'est généralement basé sur des comparaisons isolées d'échantillons ou des prélèvements au cours d'expéditions scientifiques temporaires ; mais si l'on tient compte de toute la durée du cycle, on constate que ce stock si bas se renouvelle continuellement et parfois rapidement. Le nombre des générations de Copépodes, par exemple, est deux à trois fois celui observé en mers froides et le minimum à l'époque la plus défavorable reste considérablement supérieur à celui des eaux tempérées en hiver. En effet, le stock de plancton animal n'est pas toujours sous la dépendance exclusive de la fertilité élémentaire ; n'oublions pas qu'il ne représente en poids que le dixième environ du phytoplancton présent. Et Devèze a montré, à Marseille, que des Copépodes et certaines larves pouvaient parfaitement se nourrir pendant plusieurs semaines de bactéries. D'autre part, M.-L. Furnestin a bien mis en évidence, près des côtes du Maroc, qu'un excès de sels nutritifs provoquant un pullulement de phytoplancton pouvait au contraire réduire la quantité de zooplancton par un phénomène d'exclusion biologique.

En tout cas, du point de vue énergétique, le cycle tropical a certainement un meilleur rendement, car il n'y a pas de gaspillage de phytoplancton. Quoi qu'il en soit, ce rendement reste déplorable sous toutes les latitudes. L'Américain Clarke trouve sur le Georges Bank, entre Cape Cod et Nova Scotia, un rendement énergétique maximum de 0,3 % pour les algues chlorophylliennes et de 0,015 % pour le plancton pâtureur. Il est vrai que sa technique de prélèvement laisse échapper beaucoup du plancton herbivore.

Le requin mangeait du plancton

Telle fut, en 1911, la découverte du savant italien Bertoli, lorsqu'il ouvrit une série d'estomacs de squales pèlerins (*Cetorhinus maximus*), les plus grands requins connus. Car il y a bien longtemps qu'on examine méthodiquement les contenus stomacaux dans toutes les régions de grande pêche du globe.

Mettons tout de suite en dehors les poissons de fond, dont la nourriture dépend principalement du benthos, et regardons ce que mange cette population de pleine eau : le « necton ». Son menu est très varié, et cer-



Larve de Crustacé décapode de fond. La longueur de cette larve atteint 8 mm

tains de ses éléments sont omnivores, comme les porcs. C'est le cas de la sardine, qui ne choisit pas ses aliments. Selon la saison et la zone marine plus ou moins fertile, on la trouve gavée de Copépodes, de Diatomées ou de filaments arrachés à la côte, et même de pollen de pin ! De même, la morue, entre le Groenland et Bear Island, se nourrit souvent d'Euphausiacés et de Copépodes, alors qu'elle est connue comme prédatrice de poissons en d'autres lieux. Les innombrables travaux consacrés au hareng en Angleterre et en Scandinavie, ont montré que son mets de prédilection est le Copépode dont il rejoint assez vite les rassemblements locaux. Même le thon est parfois signalé repu de zooplancton. Celui-ci constitue l'aliment presque exclusif des animaux plus petits tels que l'anchois, le maquereau, le sprat.

Les alevins se nourrissent uniquement de phytoplancton par filtration sur les branchies, puis de zooplancton quand leur taille augmente. Et on connaît encore d'autres consommateurs inattendus : les baleines à fanons, le requin pèlerin et la raie mante ne s'alimentent qu'avec du plancton animal. Les fanons de

baleine sont trop rapprochés pour que d'autres organismes puissent être aspirés, et les deux grands sélaciens semblent préférer les petits crustacés à d'autres proies plus copieuses. Même le Manchot empereur de la Terre Adélie a une préférence marquée pour les Euphausiacés !

Le rôle prédominant du plancton dans la vie du necton est donc bien connu, et les bateaux attachés aux pêches suivent de près ses fluctuations dans le temps et dans l'espace. On a pu mettre en relation directe la taille des jeunes classes de harengs avec l'abondance du plancton en mer du Nord l'année de sa naissance, mais il est encore difficile de savoir de façon précise quelle proportion du stock est utilisée par une population de poissons donnée pour sa croissance.

Cooper trouve pour la Manche une production globale de phytoplancton équivalant à 4,7 kg de carbone par hectare et par jour durant les trois mois les plus riches. Le détroit entier, représentant une surface de 82 100 km² et une profondeur moyenne de 72 m, donne au moins 115 millions de tonnes de carbone végétal par an. Or la quantité annuelle de poissons ramenée tant dans les ports français qu'anglais varie entre 60 000 et 135 000 t. Le rapport : poissons capturés/phytoplancton produit est donc très faible : de 0,000 6 à 0,002 environ. Là encore, nous manquons terriblement de mesures sérieuses et suivies, et ceci est la seule donnée acceptable pour l'instant.

Pisciculture dans les lagunes

A titre de comparaison, la pisciculture en mares saumâtres et lagunes, qui est bien au point et se pratique depuis des années en Italie, Yougoslavie et surtout en Extrême-Orient, donne un rendement de 150 à 300 kg de poisson par hectare et par an. Ces mares sont fertilisées par des phosphates et nitrates minéraux, mais ce genre de culture est assez délicat et sujet à plusieurs fléaux bactériens. En Angleterre et en Scandinavie, les pisciculteurs sont parvenus à féconder artificiellement des poissons plats et des églefins (Haddock). Ils nourrissent les alevins d'abord avec du plancton, puis avec des aliments d'origine terrestre et les déversent ensuite dans les zones de pêches. Cette pratique se fait couramment et porte sur plusieurs milliers de kilogrammes de jeunes poissons par an.

Les restrictions dues à la guerre de 1939-1945 conduisirent les Anglais à tenter de fertiliser les lochs en Écosse, mais les résultats ne furent probants que pour les poissons plats du fond et le phytoplancton. Le

zooplancton et les poissons pélagiques ne séjournèrent pas et les courants évacuèrent lentement mais sûrement les engrais vers le large.

L'homme peut-il se nourrir de plancton ?

Devant un tel gaspillage de matière végétale, les océanologues songèrent à raccourcir le cycle en prélevant directement le plancton herbivore bien avant l'utilisation spectaculaire qu'en firent Heyerdahl et A. Bombard. Avant les savants, les Chinois et les Thaïlandais se nourrissaient, et le font encore, d'une pâte de petites crevettes planctoniques retenues dans des filets fins.

Mais il ne faut pas se leurrer en ce qui concerne le plancton animal. D'abord, il est impossible de l'élever et le faire reproduire, même en laboratoire; c'est d'ailleurs ce qui retarde tellement son étude par rapport au plancton végétal. Peut-on le récolter sur place ? Un filet de 2 m de diamètre d'ouverture et de 6 m de long traîné pendant une demi-heure à la vitesse de 2 nœuds ne capture au maximum que 1 kg de plancton contenant de 80 à 95 % d'eau selon sa composition. En outre, il recèle très souvent des organismes toxiques, soit végétaux comme les Périidiniens, soit animaux comme les méduses, qu'il faudrait trier à la main ou au microscope !

Des recherches ont cependant été faites par G.-L. Clarke et Bishop en 1948, pour le compte de l'aviation américaine. Il s'agissait de savoir si des rescapés, sur leur radeau de sauvetage, pouvaient utiliser le plancton comme nourriture. Les analyses chimiques faites à cette occasion donnèrent une valeur énergétique de 4 calories/gramme de poids sec, avec une composition de 52-59 % de protéines, 1-4 % de lipides, 13-17 % d'hydrates de carbone et 19-33 % de cendres. La teneur en vitamines est élevée, bien que moins concentrée que dans les foies de morue et autres gadidés. Cependant, les rats nourris exclusivement au plancton moururent au bout de 4 à 19 jours, soit un délai supplémentaire de 30 % seulement par rapport aux rats complètement à jeun. Les rats qui reçurent 1/3 de régime normal complété par 2/3 de plancton maintinrent leur poids, tandis que ceux dont la ration n'était pas complétée maigrirent rapidement. Il semble qu'en l'absence de tout symptôme pathologique, une forte proportion du plancton ingéré ne soit pas assimilée par les rats. D'autre part, le rapport du magnésium au potassium est voisin de 1 ou supérieur, tandis qu'il est de 4 dans l'eau de mer, mais de 0,1

seulement dans la chair des poissons. Ce déséquilibre ionique doit à la longue produire des désordres organiques considérables.

Mieux vaut donc laisser au poisson le soin de trier sa nourriture et d'éliminer les ions en excès; c'est plus rentable et mieux fait.

Trop peu de spécialistes français en productivité marine

A la lecture de cet article, on n'a pu manquer d'être frappé du très petit nombre de Français qui participent aux recherches sur le plancton. Il faut le reconnaître, dût notre amour-propre national en souffrir: nous sommes restés fixés à une phase « infantile » de la recherche biologique marine. Nous avons accordé trop d'importance à l'aspect visuel, qualitatif et descriptif des organismes, et n'avons pas évolué en même temps que les autres savants vers une conception plus abstraite et quantitative des phénomènes. Depuis le début du siècle, la France est le pays d'Europe qui possède le plus grand nombre de laboratoires et stations maritimes. Mais les recherches, d'ailleurs remarquables, qu'on y poursuit sont d'ordre physiologique, chimique, écologique ou génétique.

Les travaux obscurs et infiniment longs qui mènent aux mesures de productivité ont rebuté chez nous les chercheurs attirés par le domaine marin. C'est la déficience des spécialistes beaucoup plus que celle des crédits et du matériel qui est la cause des quelque *vingt ans de retard* que nous avons par rapport aux Anglais, aux Scandinaves et aux Japonais. Le fait que les Américains ne soient guère plus avancés ne doit pas nous consoler.

Il ne faut d'ailleurs pas se faire d'illusion: des réussites techniques magistrales, telles que les divers engins d'observation sous-marine, de la télévision au bathyscaphe, ressortissent encore du domaine visuel et descriptif, et n'améliorent nullement notre information quantitative dans le domaine de la pleine eau. Ils ne peuvent actuellement servir que d'instruments de contrôle. Il faut maintenant remonter le courant; déjà certains laboratoires possèdent des équipes orientées vers l'étude numérique des rapports de la biomasse avec son milieu et avec ses prédateurs. Cet effort doit être intensifié; l'importance économique de la pêche en France et dans la Communauté exige que notre contribution à la science du plancton soit au niveau de celle des autres pays.

Michelle BERNARD

Station Maritime de l'Université d'Alger

Flore et faune des fonds marins



QUAND on parle de peuplement de « fonds marins », il ne faut pas entendre obligatoirement qu'il s'agisse de profondeurs importantes. L'expression est ici prise au sens le plus général de « substrat ». Les milieux océaniques sont peuplés à la fois dans leurs eaux (c'est ce qu'on appelle le « pelagos ») et sur (ou dans) les « substrats » qui sont soumis à l'influence marine, qu'ils soient immergés ou simplement humectés par la mer ; c'est ce qu'on appelle le « benthos ». On parlera donc de flore et de faune benthiques par opposition à la flore et à la faune pélagiques.

Si l'on excepte les végétaux inférieurs, Bactéries et Champignons (ces derniers d'ailleurs très peu importants dans les milieux marins), le peuplement végétal est à base de Phanérogames adaptées à la vie marine et d'Algues. Les unes et les autres sont bien entendu, comme les végétaux terrestres ou d'eau douce, tributaires d'un éclaircissement suffisant pour effectuer leurs photosynthèses, de sorte que, si l'on envisage le domaine benthique depuis les niveaux les plus élevés atteints par les embruns jusqu'aux plus grandes profondeurs connues (environ 11 500 m), une subdivision en deux grands systèmes vient tout naturellement à l'esprit. Le premier va de la zone des embruns à la plus grande profondeur compatible avec la vie des végétaux pratiquant la photosynthèse : c'est le « système phytal » appelé encore système littoral. Au-delà, les fonds sont toujours dépourvus de tels végétaux :

VOIR PAGES SUIVANTES



c'est le « système aphytal » appelé encore système profond.

La limite varie en fonction de nombreux facteurs. La pénétration de la lumière dépend, bien sûr, de l'inclinaison des rayons solaires et donc de la latitude, mais aussi de la nébulosité, de la teneur en matières minérales en suspension, de l'abondance plus ou moins grande du plancton, etc. Dans les conditions les plus favorables, cette limite ne paraît pas dépasser 200 m. Elle paraît correspondre à un éclaircissement de l'ordre de 1 % de la quantité de lumière traversant la surface de la mer. Pour fixer les idées, disons que, lors d'une plongée en bathyscaphe, la sensation lumineuse que reçoit l'œil humain au voisinage de cette limite est à peu près la même que celle qu'on a dans une église très sombre : possibilité de lire les titres d'un journal, mais non les petits caractères.

Distribution générale des animaux et des végétaux

Les végétaux ayant besoin de lumière ne se trouvent évidemment (sauf exceptions très rares) qu'à la surface du substrat, mais si les Algues ne demandent au fond qu'un support et empruntent tous les éléments minéraux à l'eau de mer elle-même, les Phanérogames marines, comme l'immense majorité des Phanérogames terrestres (les plantes parasites font seules exception), exigent un véritable sol dans lequel leur système racinaire puise certains éléments minéraux.

Les animaux benthiques, eux, peuvent se trouver indifféremment sur ou dans le substrat et la part d'épifaune (épi = sur) ou d'endofaune (endo = à l'intérieur de) dépend évidemment des caractères de celui-ci. Sur les substrats solides : roche, béton, etc., l'endofaune est généralement peu importante, encore que certains animaux puissent forer la roche, comme par exemple les *Polydora* (Annélides) et de nombreux Mollusques bivalves comme les *Pholades*, les *Petricola*, les *Saxicava*, et surtout les *Lithodomus* bien connus des gourmets sous le nom de « dattes de mer ». Sur les fonds rocheux, l'essentiel du peuplement est donc constitué par des espèces qui vivent sur le substrat et peuvent y être fixées à demeure, espèces « sessiles », ou au contraire être susceptibles de déplacements d'amplitude et de vitesse diverses ; on parle alors d'espèces « sédentaires » si ces déplacements sont lents et peu importants, ou d'espèces « vagiles » dans le cas contraire.

Quand il s'agit de substrats meubles : gravier plus ou moins mêlé de coquilles mortes, sable, vase, la part qui revient à l'endofaune

est au contraire importante. Des Vers, des Mollusques (surtout bivalves), des Crustacés fouissent le sédiment. Ils peuvent y être immobiles, et dans ce cas ils ont presque toujours une partie du corps qui émerge du sédiment, ne serait-ce que pour la collecte de la nourriture. Au contraire, beaucoup d'animaux mobiles sont totalement enterrés ; pour récolter leur nourriture ils doivent alors, soit ingérer le sédiment lui-même (« limivores »), soit rester en contact avec la surface par une cheminée, par des siphons prolongeant leur corps, etc.

Animaux et végétaux sont inégalement distribués en fonction de l'éclaircissement puisque leurs besoins respectifs vis-à-vis de la lumière sont différents. On a déjà vu que seuls les animaux existent dans le système profond mais, d'une façon générale, on peut aussi dire que, même à l'intérieur du système littoral, l'importance des végétaux est d'autant plus grande que l'on se trouve dans des couches mieux éclairées. C'est ce que met en évidence le tableau ci-dessous. Ce tableau, établi par Aleem pour les eaux côtières de la Californie, exprime en « biomasse », c'est-à-dire en poids de matière vivante fraîche par unité de surface (ici le mètre carré) la variation en sens inverse des végétaux et des animaux en fonction de la profondeur.

Pro- fondeur en mètres	BIOMASSE en g/m ²		
	des végétaux	des animaux	totale
1,5	4 667	125	4 792
7	2 490	329	2 819
15	1 972	392	2 364
22	606	377,2	983,2

A vrai dire, la réalité est un peu moins simple. Certes, dans l'ensemble, les végétaux préfèrent les zones bien éclairées et les animaux les zones peu éclairées, mais il y a des exceptions et des degrés.

Tout d'abord, parmi les végétaux, il en est de résolument « photophiles », c'est-à-dire amis de la lumière ; c'est le cas de toutes les Phanérogames marines et d'un certain nombre d'Algues (surtout parmi les Algues vertes et les Algues brunes). Mais il existe aussi des Algues qui recherchent un éclaircissement plus ménagé ; on les désigne par le qualificatif de « sciaphiles » qui signifie « amies de l'ombre » ; ce sont surtout des Algues rouges, qui doivent leur couleur à la présence d'un pigment, la phycoérythrine. Ce pigment rouge absorbe les radiations les plus pénétrantes (fraction bleue du spectre solaire) et assure un véritable

transfert d'énergie vers la chlorophylle qui utilise cette énergie pour la photosynthèse.

Les animaux, eux, sont pour la plupart amis de l'ombre. Il y a évidemment une exception éclatante : celle des récifs de « coraux ». Tout le monde a vu des photographies prises au moment de la basse mer et montrant, sous le soleil tropical, des massifs de Madréporaires ou d'Hydrocoralliaires, découverts ou baignés de quelques centimètres d'eau. En fait, il s'agit là d'une exception tout à fait apparente. On sait depuis longtemps que les coraux constructeurs de récifs hébergent dans leurs tissus des algues symbiotiques unicellulaires, les Zooxanthelles. Celles-ci utilisent le gaz carbonique et les résidus azotés et phosphorés des coraux pour leur photosynthèse, photosynthèse pour laquelle elles sont obligées de disposer d'énergie lumineuse. Les coraux constructeurs de récifs ne dépassent donc pas 45 m de profondeur parce qu'ils ne peuvent vivre normalement (et donc édifier les récifs) qu'en présence de Zooxanthelles et que celles-ci sont photophiles. Tout récemment on a découvert, dans le squelette même des coraux, d'autres algues symbiotiques vertes, d'aspect filamenteux. Des recherches précises ont montré qu'au sein d'un récif de coraux, la biomasse de matière vivante végétale est à peu près trois fois plus importante que la biomasse animale. On retombe ainsi sur la dominance de la fraction végétale du peuplement sur la fraction animale dans les substrats durs bien éclairés.

Sur les fonds meubles, qu'ils soient ou non pourvus de végétation, la plupart des animaux se montrent également amis de l'ombre, soit qu'ils vivent à l'ombre de la végétation, soit qu'ils s'enfouissent dans le sable ou la vase.

Les unités de peuplements

Animaux et végétaux benthiques sont inséparables et l'on ne saurait traiter séparément de la flore et de la faune. Les facteurs ambiants : éclaircissement, température et salinité de l'eau, agitation par les vagues ou les courants, teneur en matières organiques, caractères du substrat, etc., interviennent concurremment et permettent de reconnaître dans le domaine benthique de véritables « niches », ou « biotopes », caractérisés par une valeur moyenne déterminée de ces divers facteurs ambiants. Chaque niche, ou groupe de niches étroitement apparentées, aura ainsi un peuplement caractéristique.

A l'échelle de l'ensemble des mers du monde, ces peuplements sont évidemment très nombreux et très variés, mais ils se lais-

sent assez facilement ordonner en un certain nombre de grands ensembles.

On appelle *étage supralittoral* les zones du littoral qui sont soumises à l'influence marine, par exemples sous forme d'embruns, mais qui ne sont immergées qu'exceptionnellement, notamment au moment des pleines-mers de marées d'équinoxe dans les mers à marées fortes, ou encore, dans les mers à marées faibles, lorsqu'une période de tempête coïncide avec une baisse barométrique entraînant une montée du niveau de l'eau. A l'échelle du monde, ces peuplements supralittoraux sont d'une remarquable homogénéité.

Sur les substrats durs on trouve, avec quelques lichens et algues bleues, de petits Gastéropodes Littorinides très résistants à la dessiccation, des Crustacés Isopodes voisins des Cloportes, auxquels s'ajoutent, sur les côtes tropicales, quelques Crabes du groupe des Grapsides.

Sur les plages de sable plus ou moins vaseux, le peuplement est essentiellement à base de Crustacés Amphipodes sauteurs (*Talitrus* et *Orchestia*) bien connus de tous les baigneurs qui les ont baptisés « poux de mer » bien qu'ils n'aient aucun rapport, même lointain, avec cet indésirable insecte ; ces petits Amphipodes vivent soit dans des galeries creusées dans le sable, soit sous les amas de matières végétales en décomposition. Ils se nourrissent de détritus de toutes sortes et sont mêlés à divers insectes, surtout des Coléoptères dont certains d'ailleurs vivent à leurs dépens. Sur les plages des régions tropicales, les Amphipodes sauteurs sont remplacés par des Crabes (*Uca*, *Ocypode*, etc.) qui supportent mieux la dessiccation.

La zone des marées

En dessous de l'étage supralittoral se trouve l'*étage médiolittoral* caractérisé par une alternance d'émersions et d'immersions. Celles-ci peuvent être régulières dans le cas d'une mer à marées appréciables, ou irrégulières dans les mers à marées faibles où le régime des vents et les variations de la pression atmosphérique sont les principaux facteurs responsables des variations du niveau de la mer.

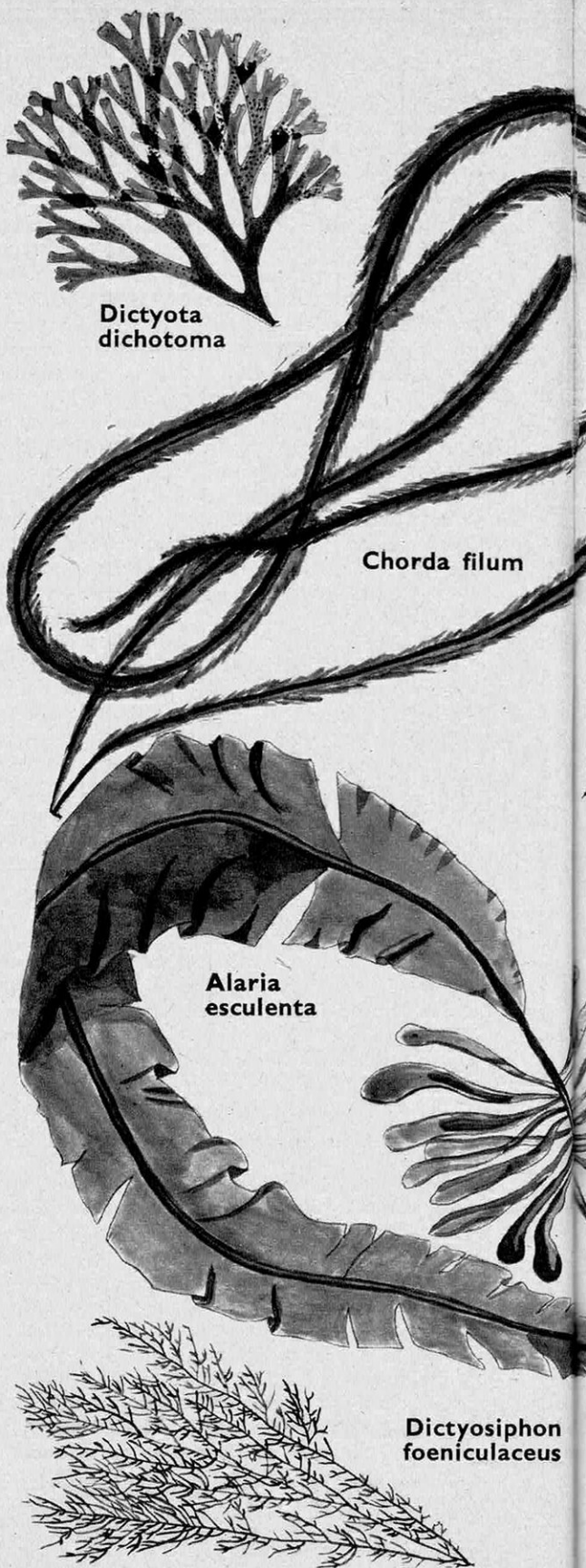
Sur les substrats rocheux, cet étage médiolittoral comporte généralement un niveau supérieur où dominent les Crustacés Cirripèdes les plus tolérants à l'émersion : *Chthamalus*, *Tetraclita*, etc. (proches parents des *Balanus*), connues sous le nom de « dents de chien », qui se fixent sur les coques des bateaux au grand dam de la peinture. On y trouve aussi des Mollusques, notamment cer-

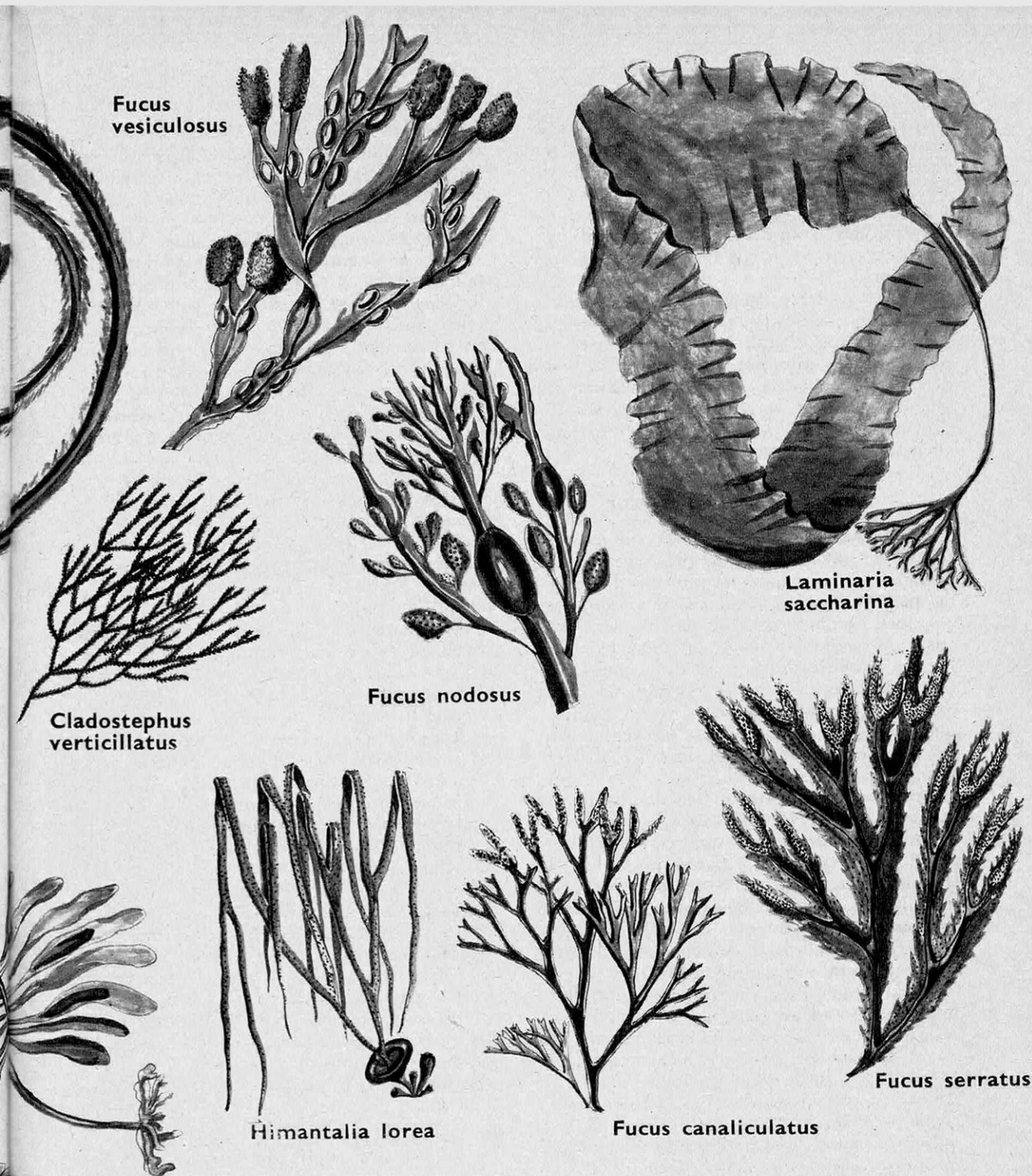
taines espèces de Patelles, et certaines algues très tolérantes. Le niveau inférieur est caractérisé par l'abondance des Algues Mélobésiées (Algues rouges) dont le thalle est encroûté de calcaire et auxquelles s'ajoutent quelques Algues molles et des animaux parmi lesquels dominent les Mollusques Gastéropodes (Patelles, Troques) et Bivalves (Moules et certaines Huitres). Les moulières bien connues des baigneurs des côtes de l'Océan et de la Manche sont surtout une formation de mer tempérée et qui correspond d'ailleurs, dans l'étage médiolittoral, à des conditions assez particulières et mal élucidées; il semble que ces moulières médiolittorales prospèrent surtout sur les pointes qui font saillie dans des baies larges et aux eaux riches de matières organiques en suspension. Sur les côtes tropicales, les Moules peuvent exister, mais sont généralement remplacées par des bancs d'Huitres d'espèces variées qui ne sont d'ailleurs pas homologues de nos bancs sauvages d'Huitres plates de la côte bretonne, lesquels sont en principe toujours immergés.

Les ceintures d'algues

Dans les mers à marées fortes, sur les roches qui ne sont pas trop battues par la mer, on voit se superposer à ces deux grands niveaux de l'étage médiolittoral des ceintures successives d'algues (généralement des Algues brunes). L'étagement vertical des ces ceintures (ainsi nommées parce qu'elles sont parallèles à la ligne de rivage) est fonction de la tolérance et parfois même des exigences des diverses espèces en matière d'émersion. Lorsque ces ceintures d'algues sont bien développées, comme c'est le cas sur nos côtes de la Manche et de l'Atlantique, elles entretiennent au niveau de la roche une ombre et une humidité qui permettent l'existence d'une faune assez riche que connaissent bien les pêcheurs amateurs des mois de vacances.

Dans les mers chaudes, et lorsque sont réunies certaines conditions favorables, les Algues calcaires de l'étage médiolittoral inférieur peuvent prendre un grand développement. C'est ce qui se produit notamment à la partie supérieure des récifs de coraux où des Algues (*Porolithon* surtout) peuvent prendre un grand développement et, s'étendant plus ou moins au début de l'étage immédiatement sous-jacent, contribuent de façon importante à la consolidation du récif. En Méditerranée occidentale, l'algue calcaire *Lithophyllum tortuosum* construit de véritables corniches qui peuvent atteindre 2 m de large





ON a groupé sur cette planche quelques-unes des algues les plus communes sur les côtes de France. Les Fucus sont des algues brunes très répandues sur les côtes rocheuses où elles recouvrent la plus grande partie de la zone de balancement des marées. Les Cladostephus, d'un vert olive, s'y trouvent également. Dans les mares se plaisent les Dictyosiphons qui atteignent 50 cm de long et les Dictyota que l'on rencontre aussi plus profondément. Au bas de l'eau des marées moyennes s'étalent les algues en lanières, les Himantalia, d'un jaune brillant. Le dernier niveau de la zone intercotidale et jusqu'à 30 m de fond est constitué par le taillis des grandes algues brunes, les Laminaires implantées sur leurs stipes, dont certaines ont plus de 30 cm de largeur et 6 m de long, et dans l'eau tranquille, sur fonds sableux ou un peu vaseux, les Chorda filiformes dont la longueur peut atteindre 12 m.

sur 1 m de haut. La structure très anfractueuse de ces récifs d'algues calcaires est très favorable à l'installation d'une riche faune : Mollusques, Crustacés, Vers y abondent et on y trouve même des animaux terrestres, par exemple des Araignées (*Desis* des récifs tropicaux et *Desidiopsis* de la corniche méditerranéenne).

Sur les substrats meubles, les peuplements de l'étage médiolittoral sont très difficiles à délimiter car le sable ou la vase conservent une certaine humidité dont peuvent bénéficier les animaux enfouis dans le sédiment et qui les soustrait en somme aux alternances d'émergence et d'immersion caractéristiques de l'étage médiolittoral.

Le domaine du plongeur

L'étage infralittoral débute là où les peuplements sont toujours, ou presque toujours, immergés. Les niveaux les plus bas de la zone de balancement des marées, ceux qui, par exemple, n'émergent qu'au moment des basses mers de vive-eau, font déjà partie de l'étage infralittoral car il est de peu d'importance pour beaucoup d'êtres vivants d'être émergés pour quelques dizaines de minutes quelques jours par an. Toutefois, les niveaux les plus hauts de l'étage infralittoral renferment plutôt des espèces assez tolérantes vis-à-vis des fluctuations des conditions de milieu, non seulement à cause de l'émergence éventuelle, mais parce que c'est dans cet étage qu'on trouve l'éclairement le plus vif, les plus fortes variations de température et de salinité (influence des pluies), l'agitation éventuelle maximum, etc. La limite inférieure de l'étage infralittoral coïncide avec la profondeur maximum compatible avec la vie des Phanérogames (et des algues photophiles). Pour fixer les idées, cette limite est de l'ordre de 15 à 20 m seulement dans la Manche, de 45 m sur les côtes de la Méditerranée, et paraît aller jusque vers 70-80 m dans certaines régions tropicales où les eaux sont particulièrement claires.

Les peuplements benthiques de l'étage infralittoral sont ceux qui, à l'échelle de l'ensemble du monde, montrent la diversité la plus extraordinaire.

Sur les substrats rocheux, il y a deux types principaux de peuplements : ceux qui sont à base d'Algues photophiles et ceux qui sont à base de « Coraux » constructeurs de récifs. Nous avons vu que, dans les premiers, la dominance des Algues est évidente; mais la faune n'est pas pour autant négligeable. La roche abritée par les Algues est riche à la fois d'espèces fixes (Éponges, Hydroïdes, Bryo-

zoaires, Bivalves fixes, Ascidies) ou sédentaires (Mollusques divers, Astéries, Oursins, Holothuries), mais aussi d'espèces capables de se déplacer rapidement (Crustacés, Céphalopodes, Poissons) qui marchent ou nagent au milieu des frondaisons. La présence même des Algues augmente la surface disponible pour la fixation des invertébrés, car le problème de la place disponible est pour eux aussi ardu que celui du parking pour l'automobiliste parisien; mais les espèces fixées sur les algues ne sont pas forcément les mêmes que celles qui sont fixées directement sur la roche. Lorsque les algues sont petites ou très souples, ce sont les formes les plus petites ou délicates que l'on y trouve de préférence. La question d'éclairement joue également. Quand la couverture végétale est dense, il arrive que la faune photophile soit limitée aux espèces fixées sur les algues, tandis que la faune fixée à l'ombre des algues peut être formée d'espèces aimant l'ombre, appartenant même à un étage différent.

Bien entendu, l'aspect de ces peuplements varie de façon importante en fonction des espèces d'algues dominantes. Aux latitudes moyennes ou élevées, on trouve souvent des Algues brunes et notamment des Laminariales, groupe dans lequel on trouve les plus grandes algues benthiques connues. Les champs de Laminaires des côtes bretonnes sont bien connus, et depuis des siècles les cultivateurs de ces régions viennent, à basse mer, faucher ces grandes algues dont ils ramènent de pleins doris pour engraisser leurs champs.

Aux basses latitudes, c'est-à-dire dans les régions tropicales, les Algues brunes sont généralement en minorité et sont remplacées par des Algues rouges ou par des Algues vertes. Les peuplements denses de ces dernières sont particulièrement importants sur les portions mortes des récifs de coraux, lesquelles se comportent vis-à-vis des espèces fixes animales ou végétales exactement comme une roche en place.

Les récifs de coraux

Les récifs de coraux représentent un ensemble floristique et faunistique gigantesque. Nous avons vu que la fraction végétale, si elle est discrète, n'en est pas moins largement dominante par rapport à la fraction animale. L'établissement des récifs de coraux exige des eaux chaudes (au moins 20-21° C), de salinité élevée et peu variable, pauvres en particules minérales en suspension, agitées. En gros, on peut dire que, sauf courants chauds montant en latitude, les récifs existent entre les latitudes

de 20° Nord et 20° Sud, et évitent toujours le voisinage immédiat des estuaires.

L'appellation courante de « récif de coraux » ne doit pas faire illusion. Tout d'abord on groupe sous le nom de « Coraux » des Cœlentérés anthozoaires très variés : de vrais Coraux, c'est-à-dire des Madréporaires (qui sont les plus nombreux), mais aussi des Hydrocoralliaires ou « Coraux de feu » (ainsi nommés à cause de leurs propriétés urticantes particulièrement déplaisantes), et des Alcyonaires à squelette cohérent comme les Tubipores et les Héliopores. Mais les Cœlentérés sont loin d'être les seuls constructeurs de récifs. Au sein de ceux-ci, les Algues calcaires, les Foraminifères, des Gastéropodes comme les Vermets, et bien d'autres, jouent un rôle parfois plus important que celui des Cœlentérés. L'édification d'un récif est une œuvre complexe dans laquelle même les Coraux ne jouent pas tous le même rôle ; l'essentiel de la construction est le fait surtout des formes massives, et beaucoup de Coraux ramifiés ou dressés se sont seulement développés sur le récif proprement dit construit par ces Madréporaires massifs.

Le récif type est évidemment l'atoll. Les récifs frangeants, barrières ou plates-formes, peuvent s'y rattacher assez facilement du point de vue biologique.

La faune des récifs

La faune des récifs est d'une richesse inouïe. C'est sans doute la faune la plus riche en espèces qui existe au monde, du moins pour les récifs indo-pacifiques, car ceux de l'Atlantique tropical sont beaucoup moins typiques. Tous les groupes zoologiques y sont représentés par des dizaines et parfois des centaines d'espèces, parmi lesquelles certaines formes très remarquables tels les Bivalves du groupe des Tridacnes ou Bénétières (les plus grands des Mollusques à coquille connus, qui peuvent atteindre 250 kg), les Actinies géantes dont le disque peut atteindre 1 m de diamètre, etc. Les poissons de Coraux sont appréciés dans le monde de l'aquariophilie par leurs formes et leurs couleurs admirables, mais bon nombre d'entre eux sont vénéneux, peut-être parce qu'ils broutent les coraux pourvus de cellules urticantes.

La richesse et la variété de cette faune de toute sorte paraissent dues à ce que les récifs (dont beaucoup sont riches en anfractuosités de toutes formes et de toutes dimensions) constituent, non pas un biotope, mais un complexe de biotopes d'une variété extraordinaire, et aussi à la masse fantastique de

matière organique élaborée par le récif et qui représente en définitive de la nourriture sous tous les états possibles : état végétal vivant, état animal vivant, détritiques.

Les herbiers

Si maintenant nous nous tournons vers les peuplements de substrat meuble de l'étage infralittoral, nous y trouvons encore une étonnante variété. Ils peuvent eux aussi, en schématisant à l'extrême, se répartir en deux groupes. Les fonds avec végétation et les fonds sans végétation. Cette végétation est essentiellement une végétation de Phanérogames encore que, dans les mers tropicales, il s'y mélange ou s'y substitue souvent des Algues vertes, notamment des Caulerpes ou des *Halimeda*. Les peuplements de Phanérogames Monocotylédones appartenant à la famille des Zostéracées (*Zostera*, *Posidonia*, *Cymodocea*, *Halophila*, *Thalassia*, etc.) constituent parfois d'immenses pelouses désignées par le terme général d'« herbiers ». Les espèces varient avec la région considérée, mais aussi avec la nature du sol et en particulier sa teneur en particules fines (vase) et en matières organiques. Par exemple, *Zostera* et *Posidonia* exigent un sable vaseux d'une composition assez précise, alors que les *Cymodocea* et notamment l'espèce méditerranéenne *Cymodocea nodosa* poussent aussi bien sur un fond de sable assez pur que sur des vases fines. Le peuplement animal de ces herbiers dépend largement de l'espèce de Zostéracée présente, mais aussi dans une certaine mesure de la densité du peuplement en Phanérogames. En principe, le peuplement du sédiment lui-même, la faune qui vit à son intérieur, n'est pas fondamentalement modifié par la présence des Phanérogames ; lorsque celles-ci ne sont pas trop abondantes, leur apport de matières organiques a plutôt pour conséquence une augmentation du nombre des individus dans le sédiment ; au contraire, lorsque le peuplement phanérogamique est très dense, il peut en résulter une véritable gêne (par manque de place) pour la faune du sédiment, qui peut alors diminuer fortement. Le peuplement en espèces fixes ou sédentaires des feuilles de Zostéracées, lui, dépend surtout de l'espèce envisagée et aussi du fait qu'il s'agit ou non d'une espèce à feuilles caduques. Lorsqu'il s'agit de Zostéracées qui possèdent des rhizomes dépassant du sédiment, ceux-ci sont généralement richement peuplés non seulement de formes fixes (Hydroïdes, Éponges, Bryozoaires, Ascidies), mais aussi de formes sédentaires (petites formes d'Annélides, de Crustacés, d'Ophiures, etc.) qui se

réfugient dans les irrégularités des rhizomes ou entre les écailles laissées sur ceux-ci par la chute des feuilles. Bien entendu, les herbiers sont aussi les lieux de refuge de bon nombre d'espèces qui marchent ou nagent au milieu de cette forêt de feuilles; cela est particulièrement vrai des herbiers de Posidonies de la Méditerranée où certaines espèces de poissons dits de « roche » vivent en permanence, mais où le printemps et l'été amènent les jeunes de beaucoup d'autres espèces dont les adultes vivent plus au large et plus profondément (les Rougets en particulier); pour ces espèces, l'herbier est une véritable pouponnière où les jeunes individus trouvent à la fois un refuge contre les prédateurs et un ravitaillement en proies de petite taille plus riche et plus varié que dans les fonds où vivent les adultes.

Les fonds sans végétation

Dans les fonds où la nature du sédiment est impropre à l'installation des Phanérogames, ou encore là où l'agitation de l'eau est trop vive, ou au contraire la circulation insuffisante, on observe des fonds meubles infralittoraux sans végétation, qui sont bien entendu extraordinairement variés. D'une manière générale, on peut dire que leur peuplement est à base de Bivalves. Ceux-ci sont tantôt des mangeurs de particules organiques vivantes ou mortes en suspension dans l'eau (surtout sur des fonds qui sont surmontés par des eaux assez renouvelées), tantôt des mangeurs de détritus couvrant le fond. Les Bivalves de ce dernier groupe ont un siphon dorsal allongé et souple, ressemblant un peu au tuyau d'un aspirateur, grâce auquel ils inhalent autour d'eux les particules d'une sorte de film couvrant le sédiment et qui est riche à la fois en détritus organiques de toutes sortes et en microflore et microfaune (Diatomées, Infusoires ciliés, Nématodes, petits Crustacés, petits Annélides, larves diverses, etc.).

Tous ces Bivalves, ainsi que les Annélides qui les accompagnent, jouent un rôle important dans la nourriture de beaucoup de poissons côtiers. Ils sont en somme les principaux transformateurs de la matière organique végétale, ou des détritus, en matière organique animale, utilisable justement par les poissons. Malheureusement ces Bivalves (et d'une manière générale tous les Invertébrés « transformateurs ») ont d'autres ennemis que les poissons, en l'espèce des invertébrés prédateurs qui peuvent être eux aussi la proie des poissons, mais ajoutent un maillon, un intermédiaire supplémentaire, à la chaîne ali-

mentaire, et par conséquent diminuent le rendement. Ces invertébrés prédateurs sont surtout des Décapodes marcheurs (Pagures, gros Crabes); des Gastéropodes, qui abondent surtout dans les mers chaudes (*Terebra*, *Voluta*, *Olivides*, Harpidés) quoique les *Natica* se rencontrent dans les mers tempérées; enfin des Échinodermes. Parmi ces derniers, les grandes Astérides, comme les *Astropecten*, se nourrissent de Mollusques adultes, mais les Oursins irréguliers (*Spatangus*, *Echinocardium*) et les Ophiures s'attaquent surtout aux larves âgées, descendues au voisinage du fond pour s'y métamorphoser... et ceci est encore plus catastrophique pour l'avenir des populations de Bivalves. Dans les mers tropicales les Bivalves mangeurs de plancton sont parfois remplacés par des peuplements de petits Crabes ou de petits Pagures.

Le dernier étage du système littoral

L'étage circalittoral, qui commence au-delà des dernières Phanérogames marines (ou Algues photophiles), se termine avec les dernières algues les plus tolérantes aux faibles éclaircissements. Il correspond, en gros, à toute la partie inférieure de la marge continentale.

Dans l'ensemble, les substrats rocheux en place n'y sont pas très nombreux, quoique l'on trouve, par exemple, des peuplements circalittoraux sur certains pieds de falaises lorsque celles-ci descendent d'un seul coup jusque vers 40-50 m de profondeur. On trouve aussi parfois des peuplements circalittoraux de substrat dur au voisinage de la rupture de pente du plateau continental, c'est-à-dire à l'endroit où débute le talus continental. En effet, il y a souvent à ce niveau une accélération des courants qui empêche le dépôt des sédiments et laisse par conséquent la roche à nu. Mais les substrats durs de l'étage circalittoral sont, en réalité, beaucoup moins rares que ne pourrait le faire croire la rareté relative de la roche en place, en raison des phénomènes de consolidation de certains fonds de graviers.

Parmi les algues qui caractérisent l'étage circalittoral, nous avons vu que beaucoup sont des Algues rouges dont le thalle est incrusté de calcaire. Certaines d'entre elles, et dans certaines conditions, restent libres au milieu des graviers et des fonds de coquilles brisées où elles peuvent d'ailleurs devenir largement dominantes par rapport à la fraction minérale du substrat; on a alors ce qu'on appelle les fonds de « maërl », constitués des petites branches roses et ramifiées des *Lithothamnium*. Mais dans certaines conditions (notamment lorsque les fonds ne



La seiche, à nageoire ondulante, véritable « caméléon » des eaux

sont pas remués par des courants violents, et aussi lorsqu'on a des algues dont le thalle calcifié est en lame ou en masse plutôt qu'en fins rameaux), la croissance des Algues calcaires arrive à produire un véritable concrétionnement qui agglomère non seulement les individus d'algues entre eux, mais aussi les graviers ou les coquilles brisées. Ainsi se constitue à partir d'un fond meuble (gravier grossier) un véritable fond rocheux.

Ces fonds durs, aussi bien de concrétionnement que de roche profonde en place montrent un peuplement désigné communément sous le nom de « coralligène » parce que le Corail rouge en est un des éléments les plus frappants (mais qui est loin d'être constant). Aux algues rouges calcifiées ou non s'ajoutent dans le peuplement coralligène de nombreux Cœlentérés : Gorgones diverses, petits Madréporaires, Alcyonaires (dont le *Corallium rubrum*), de nombreuses Éponges, et aussi bon nombre de Bryozoaires dont certains (*Myriozeugum*, *Porella*, *Hippodiplosia*, *Retepora*

ou « Dentelle de Neptune ») ajoutent leurs élaborations calcaires à celles des Algues. Les concrétionnements sont toujours riches en anfractuosités de toutes tailles dans lesquelles pullulent des Invertébrés de toutes sortes et notamment des Annélides, des Crustacés, des Echinodermes (surtout Ophiurides), etc.

Ces masses énormes de concrétionnement attirent bien entendu aussi les animaux foreurs de calcaire : Annélides du genre *Polydora*, Bivalves, et surtout les Éponges du genre *Cliona* (sœurs de celles qui, s'attaquant aux coquillages des Huîtres d'élevage, produisent la maladie dite du « pain d'épice » redoutée des ostréiculteurs). Dans le peuplement coralligène, comme au sein du peuplement des récifs, il y a en somme, d'une façon continue, une lutte entre les éléments constructeurs et les éléments destructeurs. Si les facteurs ambiants viennent à être modifiés et à rendre précaire la vie des êtres du peuplement coralligène, le travail des-

tructeur des foreurs de calcaire peut l'emporter et les masses concrétionnées sont peu à peu fragmentées en morceaux de plus en plus petits dont les dimensions finissent par devenir incompatibles avec la vie de ces espèces foreuses (et notamment des *Cliona*). Le fond de coralligène concrétionné retourne ainsi à un fond de gravier grossier. Le plateau continental des côtes de Provence, soumis au cours du quaternaire à des phases d'avancée ou de retrait de la mer qui sont maintenant assez bien connues, est riche d'exemples de ce genre d'évolution réversible.

Dans le peuplement coralligène proprement dit, la fraction végétale est surtout représentée par des algues calcaires et la fraction animale est majoritaire. Dans des biotopes où l'éclairement est moins franchement et moins constamment diminué, c'est au contraire la fraction végétale qui est majoritaire et les algues molles (*Peyssonnelia* non calcifiées, *Halimeda*, *Udotea*) l'emportent sur les algues calcaires; on a alors ce qu'on appelle le peuplement précoralligène.

Les fonds détritiques

Sur les substrats meubles de l'étage circalittoral, la végétation algale, si elle peut exister à l'état dispersé, ne joue en général qu'un rôle assez effacé dans le peuplement. La nature des fonds dépend largement de l'importance plus ou moins grande des apports fins d'origine fluviale. Là où un fleuve rejette à la mer des quantités importantes de limons et argiles, la marge continentale pourra être entièrement couverte de sédiments à grain très fin, argileux, c'est-à-dire de vases. Là où, au contraire, les apports argileux sont peu importants, la portion circalittorale de la marge continentale sera entièrement occupée par des fonds de graviers, de sables et de coquilles brisées, bref par des fonds détritiques grossiers dont les plus au large, d'ailleurs, peuvent avoir été formés à une époque de régression de la mer, c'est-à-dire à une époque où ces zones, situées aujourd'hui par 80 ou 100 m de profondeur, n'étaient couvertes que de quelques mètres d'eau, et par conséquent soumises alors à une sédimentation littorale.

Lorsque les apports fins sont présents mais peu importants, leur précipitation se produit au-delà de la zone où se forment les fonds détritiques grossiers actuels, c'est-à-dire au-delà de la zone où se trouvent entraînés, par exemple, les débris issus des formations coralligènes ou des formations de maërl. Mais ces particules fines ne sont pas

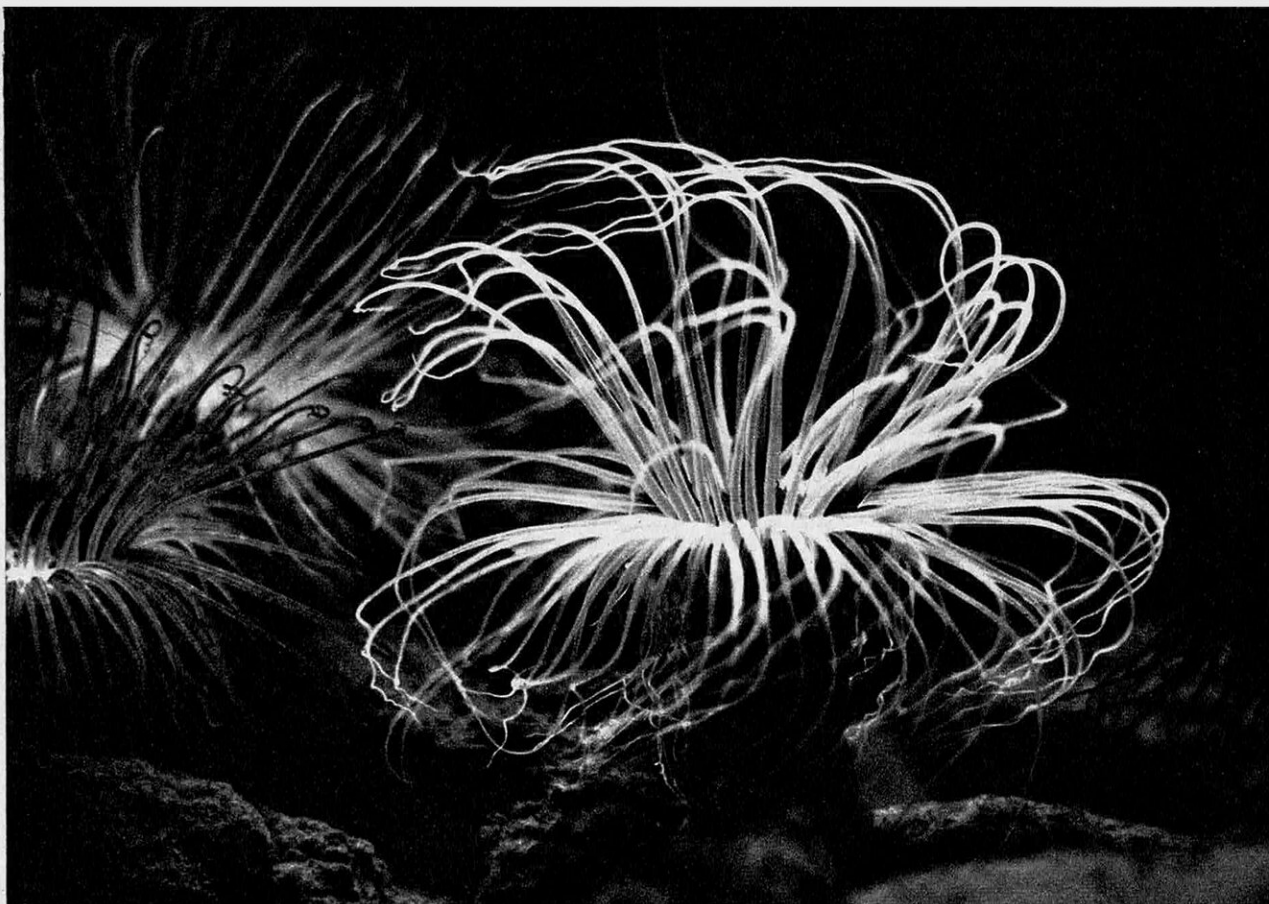
assez nombreuses et ne vont pas assez loin pour envaser les dépôts détritiques anciens situés près de l'actuelle rupture de pente de la marge continentale. On a alors une disposition très classique qui est celle d'une bande de vase côtière intercalée entre les fonds détritiques côtiers (actuels et récents) et les fonds détritiques du large (en rapport avec une ancienne ligne de rivage). La vase intercalaire ne forme d'ailleurs, en fait, qu'un placage, une sorte de recouvrement qui se traduit par une double irrégularité de la pente du fond.

Les peuplements des fonds détritiques, côtiers ou du large, assez clairsemés dans l'ensemble, sont à base de Mollusques (Bivalves et Scaphopodes caractéristiques), d'Echinodermes et de Cœlentérés du groupe des Pennatulaires, avec quelques Annélides et Crustacés; ils sont bien distincts les uns des autres, mais leur étude détaillée n'a pas sa place ici. Les fonds de vase côtière, eux, sont plus densément peuplés, mais la composition de la faune y dépend largement de la vitesse de la sédimentation. Lorsque la sédimentation est très rapide, on a des vases molles peuplées notamment d'Holothuries ou d'Echiurides (animaux apparentés aux Vers) et parfois de Gastéropodes mangeurs de détritiques; quand la vitesse de sédimentation est moyenne, l'élément dominant du peuplement est constitué par des Pennatulaires (les « Plumes de mer »), Cœlentérés qui vivent fichés dans le sédiment; enfin, lorsque le taux de sédimentation est faible, les escarbilles, les coquilles mortes, les fragments solides divers restent longtemps à la surface de la vase de sorte que des larves d'espèces fixes ont le temps de s'y installer. On a alors ce qu'on peut appeler, en Méditerranée et dans le proche Atlantique, les vases à *Alcyonium* et à *Ascidies*. Mais, malgré ces différences de détail, les fonds de vase côtière gardent une certaine unité faunistique affirmée par la présence d'un lot appréciable d'espèces communes.

Les fonds détritiques et de vase côtière du plateau continental sont le territoire de prédilection de la pêche artisanale au chalut. Les aires coralligènes ou les pointements rocheux qui peuvent les parsemer sont évidemment à éviter; si les poissons n'y sont pas moins nombreux, les risques de perte des engins y sont grands.

Le système profond

Au-delà de la rupture de pente du plateau continental commence le talus continental appelé aussi pente continentale, qui descend avec une inclinaison nettement plus accentuée



Des Anémones de mer épanouissant leurs tentacules dans l'attente d'une proie

L'Alcyon ou Main de mer, colonie de polypes qui dressent leurs couronnes tentaculaires



jusqu'à une profondeur variable (souvent de l'ordre de 1 500 à 2 000 m), au niveau de laquelle le pourcentage de la pente s'affaiblit de nouveau jusque vers 3 000 m environ où l'on peut considérer qu'on atteint la grande plaine abyssale. Le problème de l'étagement du benthos dans le système profond a fait couler beaucoup d'encre et il n'est pas sûr qu'il soit définitivement résolu, bien que les explorations méthodiques du navires danois « Galathea » et surtout du navire soviétique « Vityaz » dans le nord-ouest du Pacifique aient donné ces dernières années une somme de résultats dépassant largement tout ce qui avait été acquis entre 1876 (fin de la célèbre expédition britannique du « Challenger ») et 1950.

On admet généralement, à l'heure actuelle, que le système profond peut être subdivisé en trois étages : bathyal, abyssal, et hadal. Les critères invoqués pour différencier ces étages tiennent essentiellement à la faune. On s'est basé surtout sur les profondeurs maximum atteintes par les représentants des principaux groupes zoologiques, et aussi sur les profondeurs auxquelles se produisent les renouvellements les plus radicaux de la composition des peuplements.

L'étage « bathyal »

L'étage bathyal correspond, en gros, au talus continental et à tous les fonds en pente plus douce qui sont situés au pied de celui-ci. La limite entre l'étage bathyal et l'étage abyssal est malaisée à fixer, mais on peut admettre qu'elle est caractérisée par trois ordres de faits :

— La disparition de la presque totalité des espèces circalittorales dites « eurybathes », c'est-à-dire des espèces qui, assez tolérantes quant à la profondeur, ont dépassé la rupture de pente du plateau continental et se sont étendues sur le talus.

— Un renouvellement radical de la faune de Mollusques et d'Echinodermes. Parmi ces derniers, les Holothuries appartenant à l'ordre des Elapodés, ordre qui comprend presque exclusivement des formes profondes, prennent une importance beaucoup plus grande quand on passe de l'étage bathyal à l'étage abyssal ; au large des côtes européennes de l'Atlantique, par exemple, on voit entre 3 000 et 4 000 m de profondeur les Elapodés des genres *Laetmogone*, *Benthogone*, *Peniagone*, remplacées par des espèces des genres *Oneirophanta*, *Psychropotes*, *Bentbodytes*...

— Un appauvrissement qualitatif et quantitatif très marqué du peuplement, dû, entre autres, au fait que l'on s'est éloigné consi-

dérablement de la marge continentale dont les peuplements benthiques et pélagiques, beaucoup plus riches que ceux du système aphytal, fonctionnent comme source de matières organiques.

Dans l'étage bathyal, la nature du substrat est encore susceptible de variations assez importantes. Lorsque la pente est très forte (ce qui arrive notamment sur les parois de certains canyons sous-marins), ou lorsqu'il y a des courants assez vifs, la roche peut être à nu, et on a alors un peuplement tout à fait particulier et mal connu comme celui des coraux profonds ou « coraux blancs » qui est assez commun entre 300 et 1 500 m de profondeur en Atlantique au large de l'Europe Occidentale. Il s'agit là de Madréporaires ramifiés dépourvus de Zooxanthelles (puisque'il n'y a pas de lumière) et de couleurs pâles (blanc, rose, jaune-orangé, terne) mais qui semblent pouvoir former des édifices arborescents et ramifiés considérables sur lesquels on a peu de renseignements car les dragues n'en remontent que des fragments

**Ophiures et
araignée de
mer de 30 cm
de diamètre
à 2 700 m
au fond de
l'Atlantique**

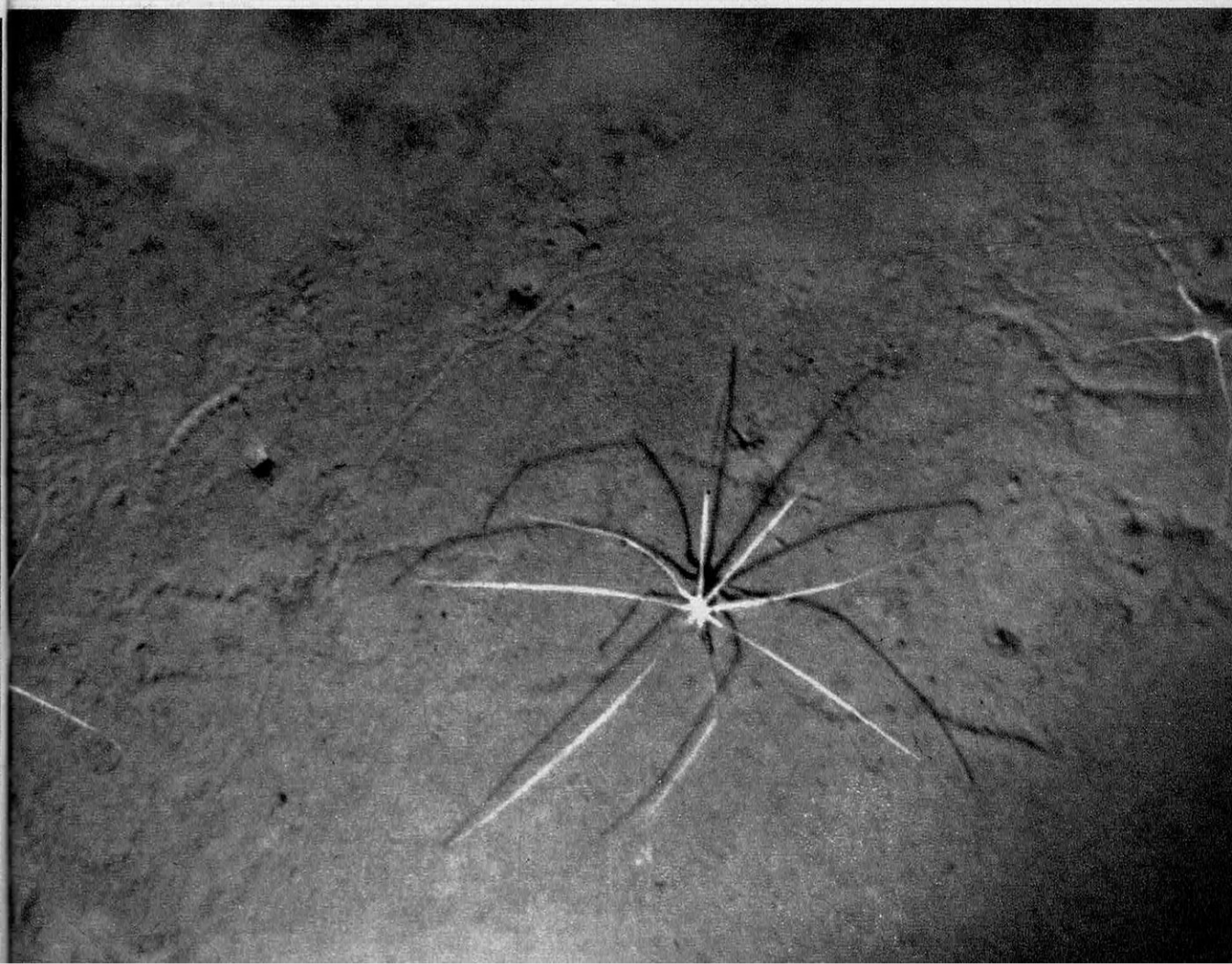


Ph. Owen, Woods Hole

et qu'ils n'ont pu être ni photographiés, ni observés de visu à partir d'un bathyscaphe. Les massifs sont assez localisés, donc difficiles à retrouver avec certitude avec des engins dont la mobilité horizontale est réduite; de plus, les risques d'accrocher irrémédiablement le bathyscaphe au fond sont réels, car il semble que certains de ces coraux profonds forment de véritables troncs dont la solidité dépasse largement les ressources de flottabilité positive des bathyscaphes. Cette faune des coraux profonds est, pour une faune bathyale, d'une remarquable richesse. Astérides, Ophiures, Annélides, Crustacés y abondent, ainsi que des Éponges, divers Bivalves fixés, des Bryozoaires, etc.

En ce qui concerne les substrats meubles, il y a surtout des vases. Les sables, assez localisés, n'existent que dans des zones où il y a d'énergiques courants descendants et leur faune, sans doute très pauvre d'ailleurs, est pratiquement inconnue. Au large de l'Europe occidentale, à la partie supérieure du talus, on a souvent des peuplements de vase carac-

térisés par le grand Pennatulaire *Funicula quadrangularis*, dont la hampe arquée et souple porte des rangées de petits polypes serrés. Un peu plus profondément, et surtout là où la roche affleure localement au milieu de la vase, ou encore là où la couverture vaseuse est mince, on trouve de vastes prairies d'une Gorgone articulée *Isidella elongata*. Ces peuplements à Funiculines et à Isides sont d'un intérêt économique certain car ils sont le biotope de prédilection, non seulement de certains poissons comestibles, mais surtout de grandes crevettes Pénaeïdes dont les plus communes sont les *Aristeus* et les *Aristeomorpha* et dont la pêche est d'un excellent rapport en raison de leur prix élevé. Ailleurs encore, il y a des régions, correspondant sans doute à des zones de décantation abondante de détritus organiques provenant des profondeurs moindres, où dominent les grandes éponges Hexactinelles au squelette formé d'un délicat réseau de spicules siliceux maillés les uns avec les autres. Il semble que localement, dans les mers de l'Europe boréale, cette



faune des vases bathyales s'appauvrit jusqu'à n'être plus constituée que de Foraminifères, ce qui avait fait croire, vers 1860, lorsqu'on découvrit ces fonds à l'occasion de la pose des premiers câbles transatlantiques, qu'à partir d'une certaine profondeur ne pouvaient plus vivre que des Protozoaires.

Dans la nuit des abysses

L'étage abyssal correspond aux immenses étendues, souvent à pente extrêmement faible et relief assez uniforme, qui s'étendent approximativement entre 3 000 et 6 000 — 7 000 m. Il y règne une obscurité totale (les lumières d'origine animale exceptées), une température basse (puisque dans les océans la température s'abaisse quand la profondeur augmente) et constante à l'échelle annuelle, une pression élevée (300 à 600 atmosphères). Les eaux y sont moins parfaitement immobiles qu'on ne le croyait autrefois, mais sont dans l'ensemble relativement calmes. Le fond est généralement constitué de « boues » argileuses, pures ou mêlées de squelettes d'organismes pélagiques, et habituellement pauvres en matières organiques. Nos connaissances sur l'étage abyssal sont encore trop incomplètes pour qu'on puisse vraiment traiter de ces peuplements. La plupart des grands groupes zoologiques sont encore représentés et, parmi eux, on peut dire que, d'une façon générale, les Holothuries Elasipodes l'emportent le plus souvent sur le reste de la faune. Parmi les Invertébrés benthiques, il y a une nette diminution du pourcentage des mangeurs de matières en suspension, ce qui est normal puisque les particules organiques en provenance des couches d'eaux superficielles doivent descendre sur plusieurs milliers de mètres avant d'atteindre le fond, et que le plancton des eaux profondes est généralement pauvre. En revanche, les mangeurs de film et surtout les limivores et les prédateurs sont nombreux. Les poissons sont encore assez abondants, quoique moins variés que ceux de l'étage bathyal et sont, bien entendu, tous carnivores.

Les fosses profondes

Vers 6 000 — 7 000 m, là où existent des profondeurs supérieures, la pente redevient forte et nous entrons dans le dernier étage du domaine benthique, l'étage *hadal* qui correspond aux grands ravins et aux grandes fosses dont la profondeur maximum dépasse certainement 11 000 m. Cet étage est caractérisé par un brusque appauvrissement qualitatif de la faune. Vers 6 000 — 7 000 m dis-

paraissent pratiquement les Crustacés Décapodes Marcheurs (notamment les derniers Crabes), les Pycnogonides, les Oursins, les Astéries, les Poissons, etc., et, d'une façon générale, le nombre des espèces des autres groupes diminue brutalement (sauf en ce qui concerne les Holothuries Elasipodes). L'appauvrissement quantitatif est également marqué, sauf circonstances locales favorables à des transports importants de matières organiques dans un ravin donné. D'autre part, le bactériologiste américain Zo Bell a montré qu'il existe, dans ces boues de l'étage hadal, une flore de bactéries qui sont adaptées à la vie sous des pressions élevées et qu'il qualifie pour cette raison de « barophiles ». Cultivées à la pression ordinaire ou sous des pressions faibles (de quelque dizaines à 100 — 200 atmosphères) ces bactéries végètent; en revanche, les cultures se développent parfaitement si on les soumet à des pressions très élevées, de 700 à 1 000 atmosphères, correspondant à la profondeur à laquelle elles vivent normalement. Il y a donc eu une adaptation de ces microorganismes à la vie dans les plus grandes profondeurs. L'adaptation existe d'ailleurs aussi pour certains invertébrés, qui sont incapables de vivre dans les profondeurs abyssales, et qui sont littéralement enfermés dans un ravin déterminé; ceci est prouvé par le fait que, pour le genre d'Actinie *Galatheanthemum*, on a trouvé dans les ravins voisins des espèces différentes, la différenciation spécifique impliquant dans ce cas l'isolement des populations d'Actinies des deux ravins voisins qui se reproduisent chacune de façon autonome. L'abondance des bactéries barophiles (de 1 à 10 millions au moins par gramme de vase humide) est d'une grande importance pour la faune hadale car ces bactéries transforment avec un excellent rendement (30 à 40 % environ) les détritiques organiques en matière vivante utilisée par les invertébrés limivores qui sont largement dominants. Dans les pêches-record (faites au-delà de 10 000 m par la « Galathea » et le « Vitjaz »), les Holothuries Elasipodes sont largement dominantes, mais on trouve aussi des Annélides (*Macellicephalo*), des Echiurides, des Crustacés Isopodes, etc...

La chaîne alimentaire

L'intérêt que portent actuellement les nations civilisées à l'océanographie est très loin d'être désintéressé. L'étude des mers profondes (et notamment de leur circulation) vient principalement de l'espoir qu'ont eu certains de s'y débarrasser des déchets des usines atomiques, ce qui a d'ailleurs déjà été

fait. Du fait de l'absorption sélective de certains radioéléments par divers êtres vivants, cette pratique est de nature à mettre en danger toute la vie marine et par là la vie de l'humanité. L'autre mobile d'intérêt est d'ordre alimentaire. L'accroissement vertigineux de la population du globe pose le problème de sa nourriture de demain et motive l'action de l'U.N.E.S.C.O. et de divers pays, non seulement en faveur de la mise en valeur des zones arides, mais aussi d'une exploitation rationnelle des océans.

A vrai dire, cette exploitation rationnelle vise d'abord et avant tout le domaine pélagique. Il se trouve que la chaîne alimentaire qui conduit de l'algue microscopique (utilisée des sels minéraux et de l'énergie solaire) à un thon en passant par le Crustacé Copépode qui a mangé l'algue et par le petit poisson qui a mangé le Copépode et sera à son tour dévoré par le thon, est une chaîne dont le rendement, du point de vue énergétique, n'est pas bien élevé (10 % environ à chaque maillon) mais qui est assez sûre; il y a peu de fuites latérales, c'est-à-dire, aux divers échelons, peu de prédateurs concurrents, bref le minimum de gaspillage énergétique. Dans le domaine benthique, il n'en est malheureusement pas de même et le pourcentage des éléments utiles à l'homme par rapport à l'ensemble des peuplements est beaucoup plus faible. Par exemple, le Bivalve mangeur de détritus se nourrit des restes d'algues benthiques et des bactéries qui prolifèrent aux dépens des matières végétales en décomposition. Si tout va bien, ce petit Bivalve sera mangé, par exemple, par une plie qui, à son tour, sera pêchée et consommée par l'homme. Malheureusement le Bivalve (même ayant surmonté les risques de la vie larvaire) peut aussi être mangé par un crabe, ou par une astérie, ou même par un poisson inutile à l'homme, ce qui, du point de vue énergétique, allonge la chaîne alimentaire ou la conduit dans une impasse.

De plus, la partie de la faune benthique qui est consommable par les poissons est relativement faible (contrairement à ce qui se passe dans le domaine pélagique) et la plus grande partie de la production végétale est donc détournée par des espèces inutiles ou même concurrentes.

Une chimère capturée à 1 500 m →

Les chimères de ce genre (*Rhinochimaera Harriotta*), à rostre allongé et pointu, sont assez rares. Les chimères se rencontrent sur le talus continental qui cerne les divers océans, entre 300 et 2 000 m de profondeur et se nourrissent uniquement d'animaux de fond.



Ph. Hahn, Woods Hole

Malgré ces difficultés et ces incertitudes, on s'est beaucoup préoccupé d'apprécier la production des fonds marins de façon à essayer de prévoir les ressources en poissons benthiques qu'on en peut escompter.

La production des fonds marins

Dans le domaine benthique, la mesure de la production végétale n'est pas accessible comme elle l'est dans le domaine pélagique. On ne peut guère apprécier que la production animale, et encore celle-ci exige-t-elle qu'on suive aux diverses saisons et parfois sur plusieurs années les variations de la biomasse. En fait, dans l'immense majorité des travaux qui ont été faits, on s'est borné à mesurer cette biomasse exprimée en poids frais, c'est-à-dire le poids d'animaux vivants (débarassés de l'eau qui les imbibe), par unité de surface. Les chiffres trouvés varient énormément avec les peuplements. Dans les peuplements infralittoraux à base de Moules (beaucoup plus riches que les moulières médiolittorales) on arrive à 80 kg/m², et certaines ceintures d'algues brunes de l'étage médiolittoral donnent des valeurs de 15 — 20 kg/m². Sur les fonds meubles infralittoraux sans végétation, la biomasse moyenne s'établit aux environs de quelques centaines de grammes au mètre carré, mais peut atteindre 2 — 3 kg/m² dans certains peuplements riches en Bivalves de grande taille, tandis que sur les sables et vases circalittorales, les chiffres varient généralement entre quelques dizaines et quelques centaines de grammes.

D'une façon générale, on peut dire que, dans le système littoral, les peuplements de substrats rocheux ont généralement une biomasse supérieure à ceux des substrats meubles. D'autre part, il est indiscutable que, dans l'ensemble, la biomasse diminue quand la profondeur augmente. Par exemple, pour l'étage abyssal, on relève en moyenne de 0,2 à 1 g/m² avec des chiffres particulièrement bas (inférieurs à 0,05 g/m² dans certaines portions tropicales des océans).

Il y a bien entendu des exceptions, notamment lorsque des ravins se trouvent au voisinage immédiat du plateau continental. En effet, il y a alors des apports de débris des peuplements du système littoral jusqu'au fond des ravins, tandis que les plaines abyssales situées plus au large reçoivent moins de matières organiques et ont, par conséquent, un peuplement quantitativement plus pauvre.

Pour apprécier la production animale, on essaye de connaître la longévité des diverses espèces. Il est bien évident que si l'on envisage, par exemple, deux peuplements ayant la

même biomasse de 150 g/m² en rapport avec la pullulation de deux espèces différentes de Bivalves, dont celle du peuplement A a une longévité de 2 ans et l'autre, celle du peuplement B, une longévité de 5 ans, le peuplement A aura une production plus forte que le peuplement B, puisque, dans ce dernier, le temps nécessaire à l'édification de la biomasse, en supposant qu'on parte d'un fond dépeuplé, sera 2,5 fois plus grand.

La production est donc très difficile à évaluer correctement. Faute de mieux, la biomasse moyenne d'une mer donne au moins une approximation, comme le prouve le tableau ci-dessous.

	Biomasse moyenne en g/m ²	Capture de poissons en kg/hectare
Mer d'Azov	321	80
Mer du Japon	175	28,8
Mer du Nord	346	24,5
Mer Baltique	33	6
Mer de Barentz	100	4,5
Mer Blanche	20	1,2
Méditerranée	10	1,5

Lorsqu'on étudie les problèmes de la production benthique, d'ailleurs, il ne faut pas oublier que le fond ne saurait en aucune façon être étudié séparément des eaux qui le surmontent. Si on examine, par exemple, les chiffres relatifs à la Mer d'Azov, à la Mer du Japon et à la Mer de Barentz, on est frappé du fait que le rendement en poisson pêché n'est pas proportionnel à la biomasse benthique. Mais si on examine la biomasse du plancton existant entre la surface et 25 m dans ces trois mers (exprimée en g/m³ d'eau), on trouve respectivement 106 — 270 pour la Mer d'Azov, 1,2 pour la Mer du Japon, 0,05 pour la Mer de Barentz. La production planctonique est donc un élément qu'on ne peut négliger quand on étudie les peuplements benthiques.

Cet exemple illustre combien sont délicates les recherches océanographiques, puisque celui qui s'est attaqué à un problème donné ne peut espérer arriver à une solution valable s'il néglige les problèmes voisins, parfois hors de sa compétence. L'Océanographie, science complexe faisant appel à toutes les disciplines, est par excellence le domaine du travail en équipe.

J.-M. PERES

Professeur d'Océanographie à la
Faculté des Sciences de Marseille

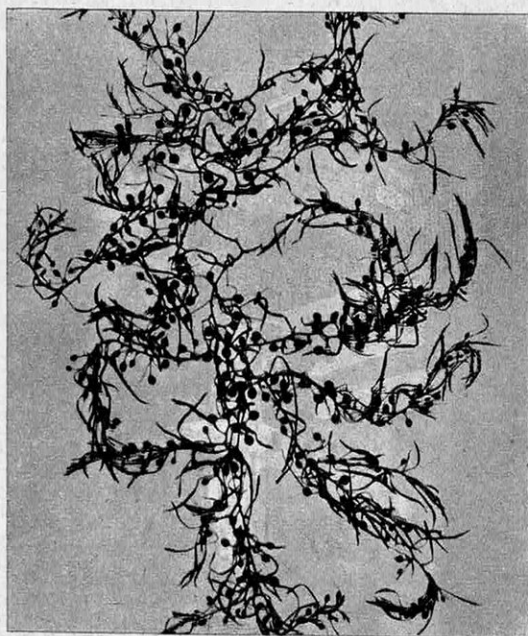
Une immense prairie marine dans l'Atlantique

La Mer des Sargasses

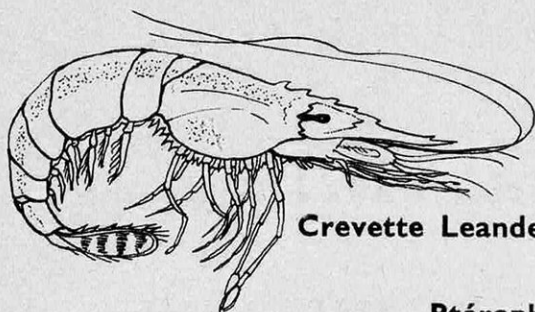
LA mer est recouverte à perte de vue d'une végétation si épaisse qu'on croirait de la glace verte», écrivait Christophe Colomb sur son livre de bord en septembre 1492. Encore l'illustre navigateur était-il passé sur la bordure Sud de la mer des Sargasses plutôt qu'en plein milieu de celle-ci. A vrai dire, il est probable que quelque dix-huit siècles plus tôt les navigateurs puniques avaient été les premiers hommes de l'Ancien Monde à voir la mer couverte d'algues flottantes ; mais le désir qu'ils avaient de décourager l'éventuelle vocation maritime des nations rivales de Carthage pour préserver leurs intérêts commerciaux

les poussa à inventer de terrifiantes légendes de navires paralysés par la végétation et entraînés par un tourbillon vers le centre de cette zone maudite. L'homme de l'antiquité et du Moyen Age, qui n'était que médiocrement porté vers les exploits nautiques, prit cela pour argent comptant et la transmission orale se chargea d'amplifier les vieilles légendes des Punique jusqu'à ce que Christophe Colomb en fit justice.

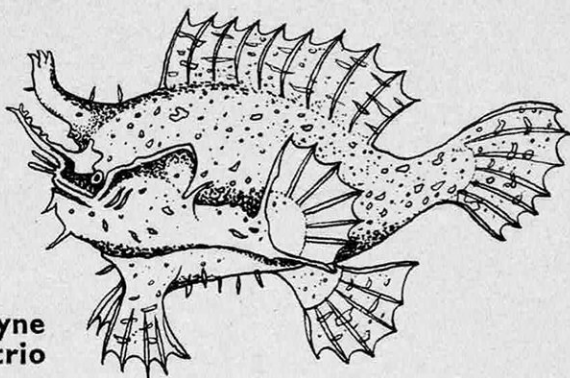
Entre le 20^e et le 35^e degré de latitude Nord et du 40^e au 75^e degré de longitude Ouest, c'est sur près de 4 400 000 km² (environ 8 fois la superficie de la France) que s'étend la mer des Sargasses, dont la pro-



SARGASSUM NATANS, une des espèces présentes dans la mer des Sargasses, existe sous deux formes, dont l'une a des feuilles plus larges que l'autre. C'est une algue brune qui peut atteindre plusieurs dizaines de mètres de longueur et qui se maintient à la surface de l'océan grâce à ses vésicules remplies d'air.

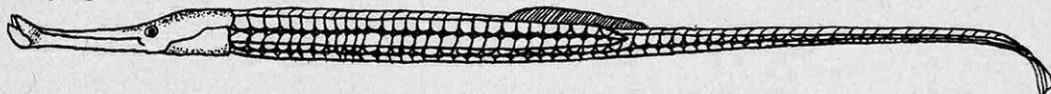


Crevette Leander



Pterophryne
histrio

Syngnathe



fondeur moyenne est de l'ordre de 4 000 m. Les eaux y sont chaudes (20° à 25° en février contre 25-28° en août) et salées (de 37,3 à 38 ‰) et surtout la température reste élevée en profondeur où, de 150 m à 400 m, on trouve des températures de 19° à 17° C. Mais la grande caractéristique de la mer des Sargasses c'est qu'elle est en quelque sorte enfermée dans un courant circulaire, gigantesque tourbillon détaché du courant de Floride (qui prendra plus loin le nom de Gulf Stream) et qui vient se refermer sur le courant nord-équatorial.

Les Sargasses flottantes

Les Sargasses flottantes appartiennent à deux espèces : *Sargassum natans* et *S. hystrix* var. *fluitans*. Mais on connaît, surtout dans les mers chaudes et tempérées-chaudes, de nombreuses autres espèces de ce genre qui mènent la vie benthique, vie normale pour toutes les Algues brunes multicellulaires. Les Sargasses flottantes sont remarquables par leur gigantisme (parfois plusieurs dizaines de mètres de long), gigantisme qui a pour conséquence une multiplication asexuée, un véritable bouturage en somme. Du même coup, la reproduction sexuée est absente ; où d'ailleurs les œufs fécondés pourraient-ils se fixer en pleine eau ? La flottation est assurée par du gaz accumulé dans les vésicules du thalle. Cependant, les Sargasses peuvent, dans certains cas, lorsque soufflent des vents égaux ou supérieurs à la force 3 de l'échelle de Beaufort, se grouper peu à peu en lits parallèles à la direction du vent et, par « convergence » des eaux superficielles, s'enfoncer jusqu'à une profondeur de l'ordre de 100 m sous l'influence du mouvement des eaux.

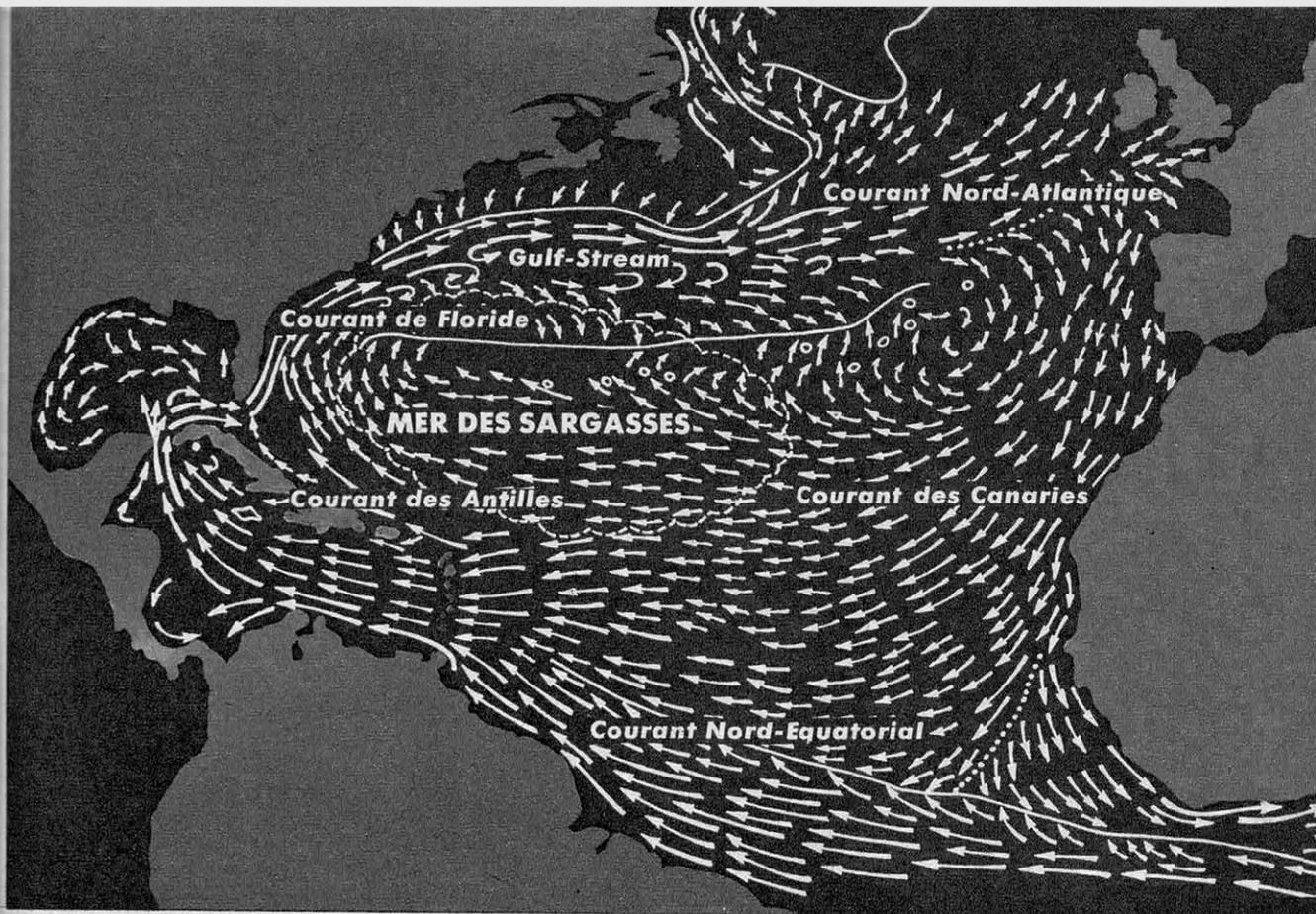
On a avancé parfois que les Sargasses seraient de lointains descendants des ceintures

littorales d'Algues brunes d'un continent aujourd'hui disparu, autre Atlantide en somme ; mais rien dans la topographie du fond ne vient à l'appui de cette hypothèse. Actuellement, on admet que les Sargasses dériveraient de formes benthiques du genre *Sargassum* qui seraient arrachées du fond lors des ouragans qui dévastent périodiquement les Antilles et la mer des Caraïbes, et, entraînées par le courant de Floride, finiraient par être rejetées à l'extérieur de celui-ci puis « enfermées » dans le circuit de la mer des Sargasses. A l'appui de cette hypothèse, il faut mentionner qu'on trouve parfois, dans les parties les plus occidentales de la mer des Sargasses (donc les plus proches du courant de Floride) des individus qui montrent des restes d'organes reproducteurs, ce qui est dû au fait qu'ils ont été détachés récemment, et que la physiologie de l'algue flottante, avec accroissement végétatif démesuré et multiplication asexuée, ne s'est pas encore substituée complètement à la physiologie classique des *Sargassum* fixés : croissance limitée et reproduction sexuée.

La fluctuation saisonnière de l'abondance des algues marque un net maximum en été, dû à la fois à l'arrivée de « nouvelles vagues » d'individus récemment arrachés, et à l'accroissement des individus flottants. Ce dernier phénomène doit être d'une ampleur extraordinaire, car, malgré la surface relativement réduite des fonds où sont susceptibles de se trouver les formes « souches » fixées, on évalue le poids frais des Sargasses flottantes entre 4 et 11 millions de tonnes.

La faune des Sargasses

Les Sargasses portent diverses Algues épiphytes, toutes de petite taille d'ailleurs. Leur peuplement animal est beaucoup plus



intéressant, quoique très pauvre en espèces, car, évidemment, de toutes les espèces benthiques littorales, il n'y en a qu'un petit nombre qui soient capables de s'accommoder du curieux compromis entre la vie benthique et la vie pélagique que représentent les algues flottantes.

On y relève tout d'abord une vingtaine de formes fixées environ, qui sont en majorité des Hydroïdes (*Laomedea*, *Clytia*) mais aussi des Bryozoaires (*Membranipora*), des *Spirorbis* (Annélides) et des Anatifes. Il y a quelques formes sédentaires : un Gastéropode nudibranche, un Crustacé isopode, un petit Crabe, etc. qui paraissent ne pouvoir « tenir » sur les Sargasses que grâce à une sorte de film de substance grasse, émis par celles-ci, et qui atténuerait les mouvements de l'eau, un peu comme l'huile filée par le navire pris dans une tempête. Quand on éloigne ces animaux sédentaires à quelques centimètres de l'algue sur laquelle ils rampaient, donc en dehors de ce film, ils sont incapables de la rejoindre et se noient littéralement. Enfin, il y a des espèces qui nagent au milieu des Sargasses : une Crevette du genre *Leander*, et surtout des poissons étroitement apparentés aux Hippocampes (*Pterophryne histrio*, *Syngnathus pelagicus*).

Ces derniers présentent une remarquable homochromie avec les Sargasses (teinte générale brune tachée de blanc), et parfois même des appendices ou des filaments rappelant les dichotomies des algues au milieu desquelles ils nagent.

Cette faune des Sargasses est nettement dérivée de la faune associée aux algues benthiques de la mer des Caraïbes. Mais son origine est extrêmement ancienne, ce qui explique à la fois que les espèces se soient différenciées des espèces-souches, et qu'il y ait des adaptations à ce milieu si particulier. Actuellement, il n'y a sûrement pas émigration de formes du benthos littoral ; c'est d'ailleurs dans le centre et l'est de la mer des Sargasses (donc au plus loin des « sources » possibles d'espèces benthiques) que la faune des algues flottantes a son maximum de richesse qualitative et quantitative.

Il faut rappeler enfin que c'est dans la mer des Sargasses, en eaux profondes d'ailleurs, que se reproduisent les Anguilles d'Europe et d'Amérique du Nord. Mais ceci est une autre histoire, et qui n'a rien à voir avec les Algues flottantes.

J.-M. PERES

*Poissons
et
Climats
marins*



APHRODITE, déesse de l'amour et de la fécondité, naquit de l'écume de la mer. Ce beau symbole de la mythologie grecque a été, bien des siècles plus tard, confirmé par les doctrines scientifiques : la vie est sortie des océans, et depuis lors la masse des eaux marines demeure une réserve inépuisable de matière vivante. De la surface aux profondeurs abyssales, du littoral jusqu'au grand large, on ne saurait prélever un bocal d'eau de mer sans y trouver quelques organismes microscopiques, ou un Copépode, ou une larve, ou une Méduse. Par places, on rencontre un extraordinaire grouillement vital; des bancs de poissons collés les uns contre les autres couvrant d'immenses étendues, avec un poids global de plusieurs milliers de tonnes, de véritables nuages de crustacés planctoniques formant une nappe profonde si compacte qu'elle se révèle comme une barrière aux ultrasons, des accumulations en surface de petites crevettes si serrées qu'elles donnent à la mer une teinte rougeâtre, le « krill » des baleiniers. Et ce n'est pas seulement dans le vaste domaine pélagique que se révèle cet intense peuplement des eaux. Tous les fonds qui ceinturent l'énorme cuvette océanique, de la surface aux grandes profondeurs, présentent des groupements plus ou moins denses d'êtres vivants dont la biologie est en rapport avec les conditions fondamentales du niveau qu'ils occupent.

Les caractères du milieu marin

Les animaux marins, en dépit des apparences, ne jouissent d'aucune liberté, non seulement individuelle, mais encore et surtout spécifique. Ils sont en effet dominés par un déterminisme implacable : ils doivent s'adapter aux lois du milieu marin ou disparaître. Les innombrables espèces doivent s'y conformer strictement en se maintenant dans le cadre exclusif qui permet leur existence. Si d'importants changements se produisent dans leur ambiance obligatoire, les animaux meurent, et ces formes disparues vont accroître l'immense cimetière du monde fossile dans le passé géologique.

Les physiciens, les chimistes, les hydrologistes, ont déterminé par des mesures nombreuses les variations de composition de l'eau de mer et ils en ont déduit des lois auxquelles obéirait la circulation générale des Océans. Mais ils ne se sont jamais préoccupés des réactions de la matière vivante. Or la biologie des êtres marins, animaux et végétaux, qu'ils appartiennent au benthos, au plancton ou au nekton, constitue le facteur expérimental de l'océanographie physique.

Des lois conçues par le seul raisonnement mathématique n'ont de valeur que si elles sont confirmées par le comportement des espèces. Autrement elles restent d'ingénieuses hypothèses qui font sourire les naturalistes ayant fait des observations à la mer. L'océanographie physique doit garder un caractère empirique et se baser sur la réalité des faits et non pas sur des conceptions théoriques. Nombreux sont les hydrographes qui aiment à inscrire sur les cartes le trajet précis de certains courants, mais que représentent ces déplacements d'eau marine si on ne trouve pas une faune pélagique identique dans toute leur masse et sur tout leur parcours ? L'existence d'un courant n'est valable que si elle est confirmée par l'homogénéité de son plancton.

Salinité et température

Les caractères physico-chimiques essentiels sont la *salinité* et la *température*.

La salinité normale des Océans est voisine de 35 ‰, c'est-à-dire qu'on trouve 35 g de sels dissous dans un litre d'eau de mer, mais cette salure est extrêmement variable suivant les localités; elle peut être très faible à proximité des grands fleuves, dans les couches superficielles lors de la saison des pluies en zone tropicale, dans les mers polaires par suite de la fusion des glaces, ou dans les mers fermées où ne pénètre pas l'influx océanique (comme en Baltique, 5 ‰ au fond du golfe de Botnie). Par contre, sous le soleil, de fortes évaporations dans des mers formant des bassins clos, comme la mer Rouge ou la Méditerranée orientale, peuvent lui donner une teneur allant jusqu'à 39 et même 41 ‰.

Les variations de la température sont aussi extrêmement fortes dans les couches océaniques. Dans les grandes profondeurs, la température moyenne est voisine de + 2°, mais dans les régions polaires elle peut descendre sur le fond à - 1°. J'ai trouvé dans un prélèvement en baie de Plaisance, au sud de Terre-Neuve, dans le courant du Labrador, une température de - 3° qui laissait supposer de l'eau de mer en surfusion par suite de la pression des couches superficielles. En zone équatoriale, la température de surface oscille le plus souvent entre + 20° et + 25°, mais dans des bassins restreints comme la Mer Rouge et le Golfe Persique, elle peut atteindre + 33° et même + 35°.

On sait depuis longtemps que la température décroît avec la profondeur et aussi qu'elle décroît de l'équateur aux pôles. En conséquence, dans la région équatoriale, il faut aller en profondeur pour trouver des

eaux ayant la température des couches superficielles en zone polaire. Ainsi des eaux à $+4^{\circ}$ en surface au 60° de latitude Nord se retrouvent sous l'Équateur entre 1 000 et 2 000 m de profondeur; les eaux superficielles à $+8^{\circ}$ du 50° Nord sont situées sous les Tropiques vers 400 m de profondeur. Il en résulte que, dans les grands bassins océaniques du Pacifique ou de l'Atlantique, les isothermes relevés dans les régions polaires s'infléchissent vers le fond en zone équatoriale et que les eaux de même température se présentent comme une série de cuvettes emboîtées les unes dans les autres, les couches les plus froides étant dominées par les eaux les plus chaudes. Cette disposition des couches isothermiques a une importance considérable pour la distribution des espèces animales.

Une autre loi bien établie est que, d'une façon générale, la salinité décroît avec la température: il y a le plus souvent parallélisme entre les isothermes et les « isohalines ». Au large des côtes, les eaux d'une salinité de 37‰ ont une température souvent supérieure à $+20^{\circ}$; celles à 36‰ à environ $+15^{\circ}$; la moyenne thermique des eaux à $35,5\text{‰}$ est en général au-dessus de $+10^{\circ}$. Les eaux froides des régions polaires et abyssales ont une salure variant de 34 à 35‰ .

En ce qui concerne la quantité d'oxygène dissous dans l'eau de mer, entre la surface et 1 500 m, elle croît de façon générale avec la latitude. Dans l'Atlantique, les travaux de Brennecke et des océanographes du « Dana » et du « Meteor » ont montré que, dans la zone

équatoriale, la quantité d'oxygène dissous est supérieure à 6 cm^3 par litre; le minimum entre le 15° Nord et le 5° Sud entre 250 et 600 m correspond à des quantités inférieures à $1,5\text{ cm}^3$ par litre. Contre la côte africaine se trouvent deux mers presque absolument privées d'oxygène. Une autre mer sans oxygène a été trouvée dans le Pacifique contre la côte équatoriale de l'Amérique du Sud par le « Carnegie ». Par contre, dans les régions polaires, la quantité d'oxygène dissous est supérieure à 6 cm^3 .

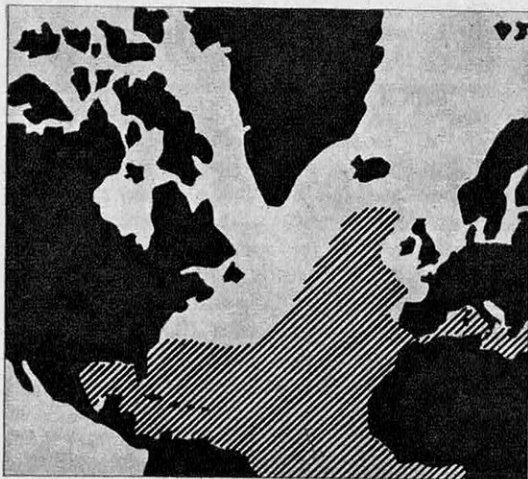
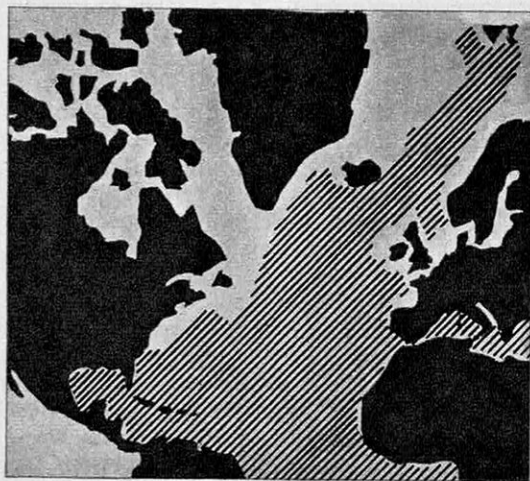
La classification des eaux marines

Nous basant sur les travaux de Nansen, de Helland-Hansen, d'Otto Pettersson, de J.-M. Sandström, nous avons, en 1923, distingué deux catégories fondamentales dans les eaux des Océans :

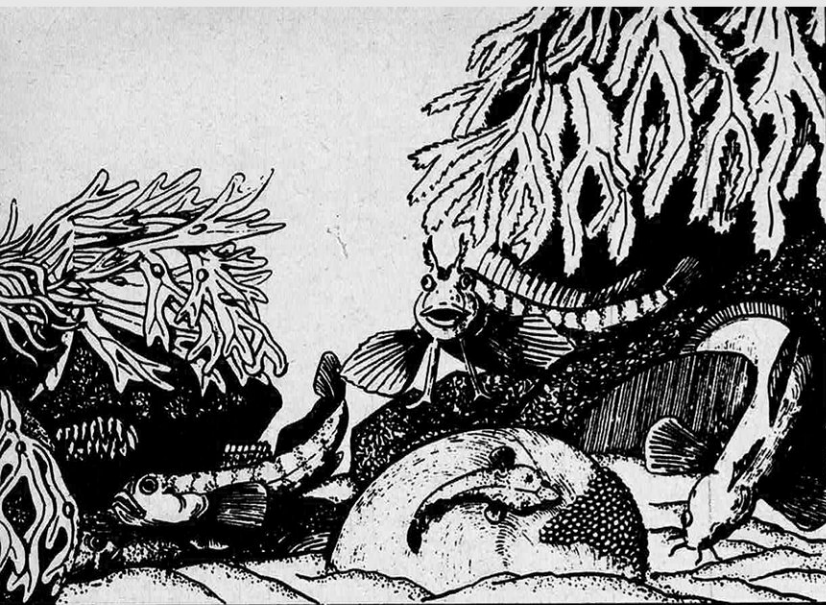
1^o les eaux d'origine polaire, froides, d'une salinité inférieure à 35‰ ; ces eaux sont lourdes, passives, et très riches en plancton végétal et animal; elles peuvent de ce fait fournir une nourriture abondante à des bancs énormes de poissons, comme les Harengs ou les Morues.

2^o les eaux d'origine équatoriale, chaudes, de salure élevée, supérieure à 35‰ ; ces eaux sont légères, actives, mobiles, claires, mais assez pauvres en organismes pélagiques. Les espèces animales y sont nombreuses mais ne forment que rarement des bancs compacts.

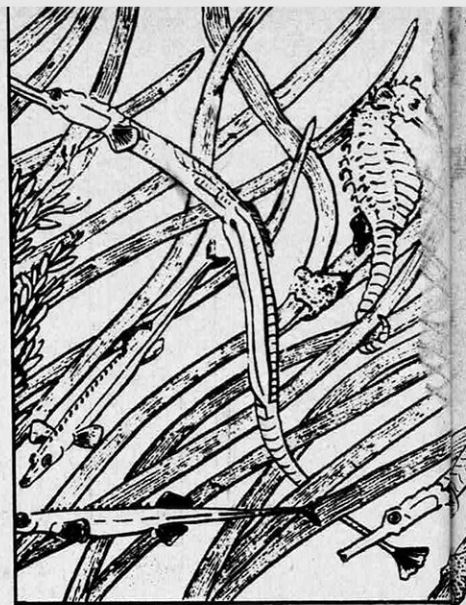
Les recherches du « Meteor » et en particulier de G. Wüst ont confirmé cette classification. Elles ont montré que les eaux d'origine polaire comprennent les eaux arctiques et antarctiques (de 33 à $34,8\text{‰}$) et



TRANSGRESSION ET RÉGRESSION (à gauche et à droite) constituent un mouvement périodique des eaux d'origine tropicale qui empiètent momentanément sur celles d'origine polaire et les eaux continentales.



DANS LA ZONE DES FUCUS, parmi les galets et rochers, à gauche un couple de *Gobius paganellus* avec leur ponte, au centre le *Blennius gat-torugine* et le *Lepadogaster Gouanii* avec ses œufs, à droite une Motelle.



DANS L'HERBIER DE ZOSTÈRES, à gau-
che un *Syngnathes*, dont le mâle montre sa poche
à droite, au-dessous d'une *Aplysie*, *Limace*

les eaux abyssales d'origine arctique ou antarctique (de 34,6 à 34,9 ‰). On peut en rapprocher les eaux continentales de salinité variable.

Dans les eaux d'origine équatoriale, on peut reconnaître les eaux de la zone équatoriale dont la salinité est toujours supérieure à 35,5 ou à 36 ‰ et les eaux de la zone tempérée dont la salure varie de 35 à 35,5 ‰.

Les eaux d'origine polaire et les eaux d'origine équatoriale gardent leur individualité. En 1868, les savants anglais Wyville-Thompson et Carpenter ont établi le principe de l'*immixibilité des eaux*: des eaux de températures et de salinités différentes ne se mélangent pas quand elles sont en grande masse.

Les eaux d'origine polaire entraînées par leur poids ont occupé les abysses; de même, elles obéissent passivement à la rotation de la Terre, dérivent vers l'ouest et se collent contre les masses continentales. Dans l'Atlantique Nord, le Courant du Labrador, issu de la Grande Banquise, vient s'appliquer sur la côte du Groenland, les Bancs de Terre-Neuve, la côte américaine jusqu'au Cap Hatteras. Dans l'Atlantique Sud, le Courant des Malouines entraîne les eaux froides de l'Océan austral contre la Patagonie, l'Argentine jusqu'au Brésil. Dans le Pacifique Nord, le courant froid de l'Oya-shivo sort du détroit de Behring, remplit la Mer d'Okhotsk, baigne les Kouriles et l'île japonaise d'Hokkaïdo.

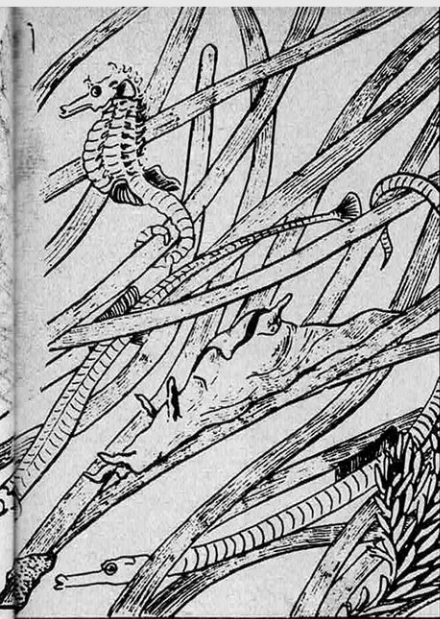
Ces dérivés vers l'ouest des eaux d'origine polaire laissent libre la partie orientale des océans, et avec leur grande mobilité, les eaux chaudes d'origine équatoriale y pénètrent, en-

traînant dans leurs nappes limpides et bleues une faune de poissons rapides et brillants vers le nord ou vers le sud.

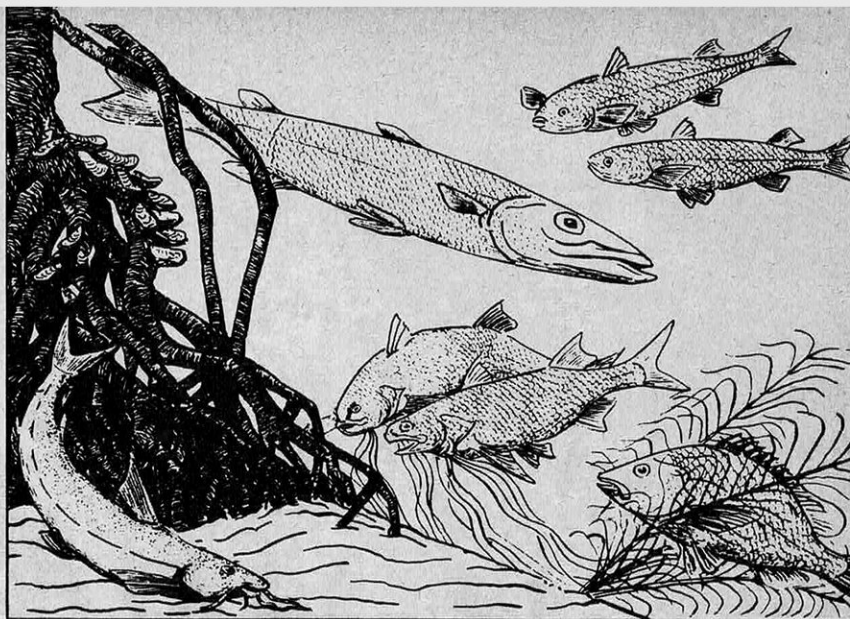
Les transgressions océaniques

A la suite d'observations à la mer, basées sur les mouvements des poissons migrateurs et en particulier des thons blancs ou germons, j'ai défini en 1921-1923 cette expansion des eaux d'origine équatoriale sous le nom de *transgressions océaniques*. Une transgression est un mouvement périodique d'amplitude variée des eaux d'origine équatoriale, 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 ‰.

Dans l'Atlantique, le mouvement transgressif prend naissance près de l'Équateur, se marque en hiver au large du Maroc, double la péninsule ibérique au printemps, pénètre en été dans le Golfe de Gascogne, contourne les Îles Britanniques pour entrer en Mer du Nord de juillet à septembre, longe les côtes de Scandinavie et arrive en Mer de Barentz au début de l'hiver suivant. Ce ne sont évidemment pas les mêmes eaux qui, parties de Dakar, arrivent au Cap Nord, mais il se produit, sous l'influence de la transgression, un déplacement successif des nappes marines en direction du Nord. Quand le grand mouvement annuel est terminé, les eaux transgressives reculent graduellement pour reprendre la position primitive des nappes qui les composent: c'est la phase de régression



u
a
che deux Epinoches-de-mer; au centre deux incubatrice, et un couple d'Hippocampes; ou Lièvre-de-mer, Entellerus aequoreus.



DANS LES RACINES DES PALÉTUVIERS, à gauche le Poisson-chat; au centre un Barracuda ou Sphyrène et au-dessous deux Capitaines; à droite, dans les algues, un Snapper et au-dessus deux Muges.

ou de stabilisation hivernale, Le Professeur Otto Pettersson avait remarqué dès 1901 ces phénomènes et les avait comparés à la *diastole* et à la *systole* de la mer.

Le même phénomène se produit dans le Pacifique Nord et j'ai pu, en 1923, assister au large des côtes de la Californie et de l'Oregon à la montée des eaux transgressives accompagnées de leurs hôtes habituels, les Thonides.

Dans le Pacifique Sud et dans l'Atlantique Sud, les transgressions viennent se heurter à la grande dérive polaire de l'océan austral qui fait le tour de la Terre d'ouest en est, mais sous la pression des eaux équatoriales le front antarctique se trouve refoulé au moment de la période hivernale, vers février par suite de l'intervention des saisons dans l'hémisphère sud. La régression se produit au contraire vers le mois d'août.

Pour se faire une idée de la disposition relative des eaux transgressives et des eaux polaires, continentales et abyssales, on peut imaginer que ces dernières forment dans chaque Océan une immense cuvette au centre de laquelle surnage une vaste tache d'huile aux contours sans cesse variables et fluctuants et qui représente les eaux d'origine équatoriale. Dans l'Atlantique, entre le 20° et le 40° de latitude Nord se situe la partie la plus profonde de la masse des eaux d'origine équatoriale qui descendent jusque vers 2 000 m. Notons que cette zone de prépondérance des eaux chaudes tropicales inclut la totalité de la Mer des Sargasses. Dans le Pacifique Nord, la région correspondante se situe à l'ouest des Îles Hawaï.

Quand la transgression vient se heurter au bord du plateau continental, elle commence par l'envahir en profondeur et elle se sert dans cet empiètement des vallées les plus profondes, notamment des fjords de la falaise ou des anciens thalwegs des fleuves dont les vallées ont été submergées au cours des effondrements géologiques. Dans ce mouvement, les eaux transgressives agissent comme des eaux lourdes en profitant de leur forte salinité. On peut donc établir le principe que sur le plateau continental une transgression chaude superficielle est précédée d'une transgression profonde de salure élevée.

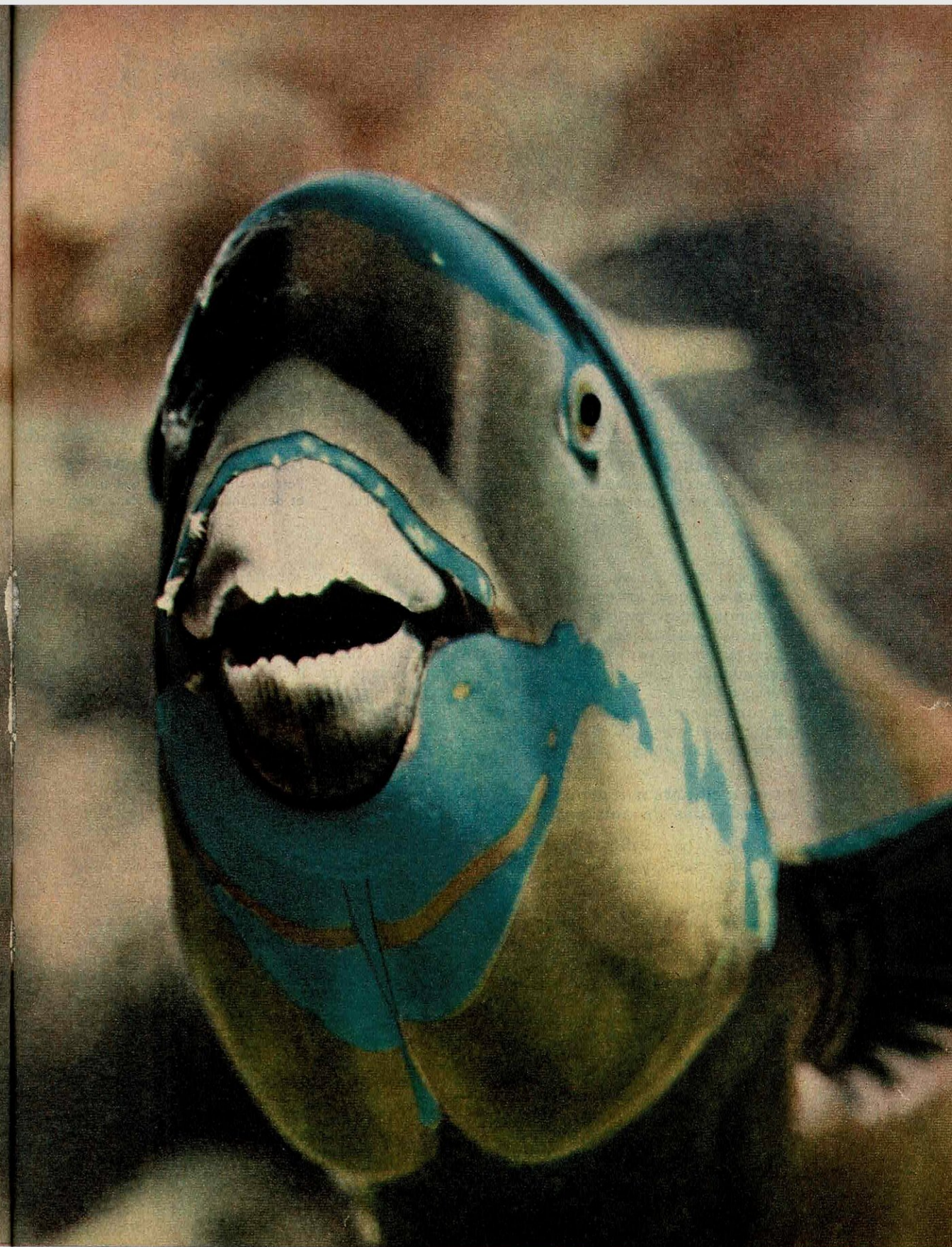
Comme les transgressions de surface suivent la route tracée par les transgressions de profondeur, elles arrivent à se conformer dans leur parcours aux trajets des vallées et des dépressions du relief sous-marin continental. C'est ainsi, par exemple, qu'en Mer Celtique la transgression s'oriente dans la fosse du Banc de la Grande Sole qui correspond à l'ancien thalweg de la Severn, et plus tard un autre empiètement se produit au large de la Bretagne, près du Banc de la Chapelle, en suivant la vallée géologique de la Seine. Il en est de même en Mer du Nord où l'invasion des eaux chaudes débute dans la partie septentrionale de cette mer épicontinentale après que les eaux équatoriales aient contourné les Îles Britanniques par le nord, et l'axe transgressif suit le vieux thalweg du Rhin sur toute sa longueur en direction du sud jusqu'au large des côtes de Belgique et du Pas-de-Calais.

Dans ce qui va suivre, nous ferons fré-



Photos R. Catala - Aquarium de Nouméa

Spongiaires du lagon de Nouméa ramenés d'environ 40 m de fond



Un « perroquet de mer » à qui son bec permet de brouter les pointes de coraux



DANS LES ALGUES FLOTTANTES de la mer des Sargasses, on trouve à gauche, le petit Plectognathe Monacanthus ; au centre, en haut, un couple d'Entennarius marmoratus et en bas le Syngnathus pelagicus.



DANS LES CORAUX DES TROPIQUES Poisson-ange, Holacanthus ciliaris, et des Zancles, Zancus canescens, puis de

queument appel à ce mécanisme des transgressions pour expliquer les déplacements et migrations de nombreuses espèces de poissons. Ces explications sont simples, aussi furent-elles adoptées facilement par les professionnels de la pêche auxquels elles fournissaient une solution aisée de certains problèmes, mais le meilleur argument en faveur de cette théorie a été fourni par les poissons eux-mêmes qui veulent bien s'y conformer.

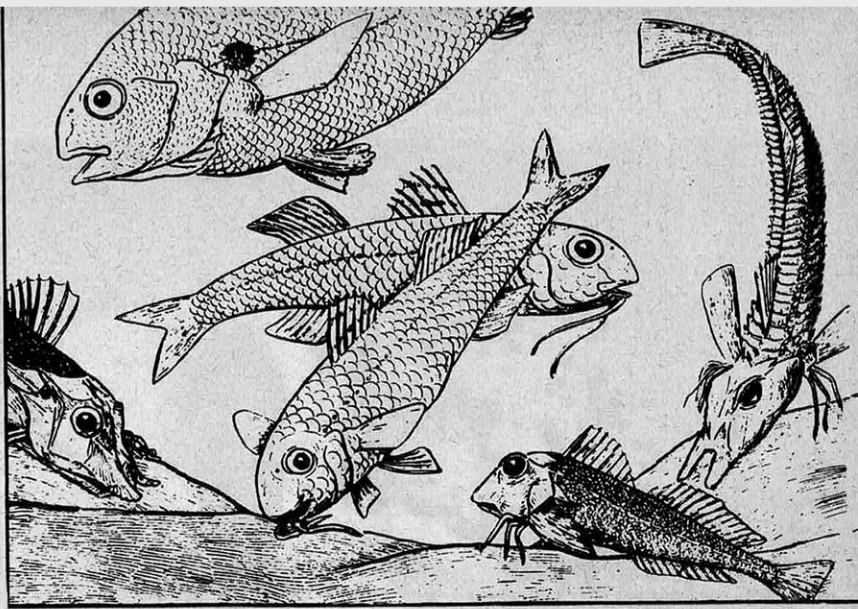
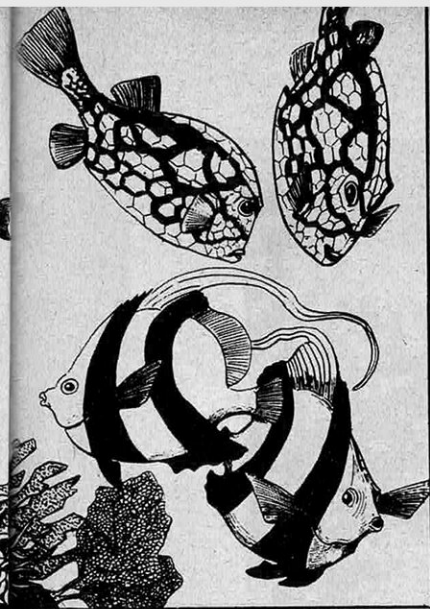
Les « climats » marins et les types de poissons

La profondeur, la nature du sol, la salinité, la température déterminent de véritables « climats marins ». C'est l'adaptation des espèces vivantes à ces climats qui permet l'existence des communautés biologiques de la faune fixée. Au-dessus des fonds, on peut distinguer aussi dans la masse des eaux des *climats hydrologiques* caractérisés par leur température et leur salinité. Dans ce cadre océanique aux aspects multiples les poissons se sont différenciés en types dits « écologiques » c'est-à-dire correspondant au milieu qu'ils habitent. La répartition de la faune ichthyologique suivant son habitat ne correspond que rarement à la classification systématique. En général, les animaux d'une même famille n'ont pas la même biologie; ils ne sont pas restés groupés dans un même climat; ils se sont dispersés dans l'immense domaine des eaux douces et salées; leurs mœurs et même leur morphologie se sont modifiées par suite de leurs conditions de vie. Par contre, ils se sont

trouvés entraînés à partager leurs vicissitudes biologiques avec d'autres espèces n'ayant avec eux aucune parenté. Des rapports nécessaires se sont imposés entre ces êtres différents dans leur commune ambiance; ils ont partagé une même nourriture, ont dû se défendre contre les mêmes ennemis, ont subi les mêmes variations des nappes marines ou des cours d'eau; leurs caractères distinctifs héréditaires se sont atténués et les éléments de convergence se sont renforcés. Certes les Poissons ont gardé la personnalité fondamentale de leurs familles; les grands caractères anatomiques sont restés les mêmes, mais dans chaque climat ils ont acquis une communauté d'aspect qui les rapproche de leurs voisins. On établit une classification systématique par la dissection des cadavres; la description des types écologiques est basée sur des animaux bien vivants, groupés dans l'ardeur de la lutte, dans la poursuite implacable de la nourriture, dans la terreur des grands prédateurs; la concordance des colorations ajoute une unité tangible à leur spécialisation biologique.

Le type littoral : Poisson marbré

Les poissons littoraux sont ceux qui vivent le long de la côte, dans la zone des marées et aussi un peu au-delà, en zone herbacée, dans les champs des Laminaires, dans les herbiers de Zostères ou de Posidonies et jusqu'au trottoir d'Algues calcaires de la Méditerranée. Leur aspect est très variable et comporte un certain mimétisme; unissant dans leur robe



ES, de haut en bas et de gauche à droite: un Perroquets-de-mer, une Murène, Echinida, couples de Coffres et de Poissons-papillons.

POISSONS NAGEURS de la Méditerranée: à gauche, un Grondin, Tigra lyra; au centre deux Rougets et au-dessus une Dorade; à droite, sur le fond, le petit Cavillone, Trigla aspera, et un Marmoré.

les teintes des graviers, des algues ou du sable, leur coloration offre un ensemble de taches claires et de zones sombres, aussi peut-on les appeler « poisson marbré »; mais le mimétisme n'exclut pas une livrée spécifique qui peut être riche et brillante, en particulier dans les nombreuses espèces offrant un dimorphisme sexuel et où les mâles, à la période des amours, étalent une parure de noces aux couleurs intenses. L'aspect de certains poissons littoraux paraît à première vue redoutable car leur grosse tête est hérissée d'épines comme chez les Cottides, ou munie de crêtes et d'appendices cutanés comme chez les Blenniides. Cette apparence ne correspond pas à leur caractère, car ce sont des poissons timides et pacifiques.

Les œufs sont en général déposés sur le fond et fixés. Les parents en assurent la garde, et en particulier les mâles chez qui l'instinct familial est spécialement développé. Les œufs sont pondus en tas sur le gravier (*Cottus*) ou en couche sur des pierres (*Blennius*); certaines pontes sont très volumineuses, comme par exemple celles des Cycloptères. De nombreuses espèces construisent des nids: les Vieilles ou Labres les bâtissent avec des débris d'algues enfoncés dans des cavités rocheuses; les Épinoces de mer enlacent des rameaux avec une sécrétion visqueuse. La garde des œufs est poussée à l'extrême chez les Phthinobranchés car ils sont fixés aux parents eux-mêmes. Chez les Vipères de mer (*Nerophis*, *Entelurus*) les femelles collent leurs œufs sur l'abdomen du mâle; chez les Syngnathes et les Hippocampes, ils sont abrités dans une poche incubatrice et le mâle surveille les

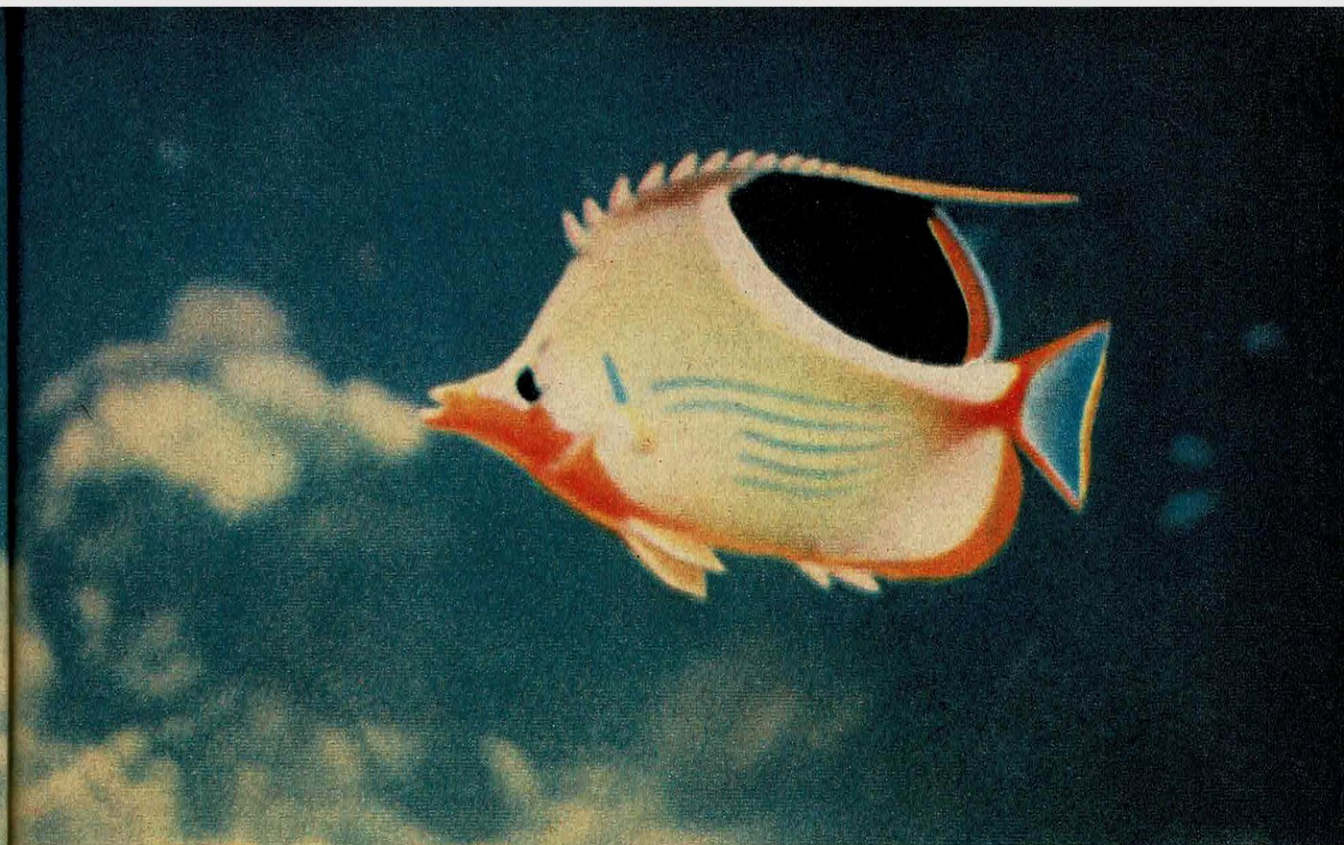
jeunes à leur sortie. Sur les côtes sableuses on trouve dans les mares, à marée basse, ou dans les eaux de faible profondeur, des *Gobius* qui font leur nid sous des coquilles renversées et d'innombrables petits poissons plats, ou Pleuronectes, qui viennent passer leur enfance dans les eaux ensoleillées; les mêmes parages abritent des Vives aux piqures dangereuses.

Dans la région équatoriale, la chaleur solaire et les grands rouleaux de la houle excluent la possibilité de ces mares tranquilles; les poissons littoraux s'abritent dans les vases des estuaires ou sous les racines des palétuviers de la mangrove. C'est dans la boue fluviale que pullulent les Capitaines aux nageoires filamenteuses et les Machoirans ou Silures au museau garni de longs barbillons. Un hôte indésirable des eaux littorales des tropiques est la Sphyrène ou Barracuda qui peut atteindre 2 m et a la férocité d'un Requin. C'est aussi à la faune littorale tropicale qu'appartiennent les poissons des massifs coralliens de l'ordre des Orbiculates. Ce groupe étrange comprend les Diodontes et Tetraodontes se gonflant en cas de danger en hérissant leurs piquants, et les Coffres enveloppés dans leur carapace rigide évoquant les silhouettes archaïques des poissons fossiles.

Les poissons littoraux doivent supporter de très grandes variations dans la température des eaux où ils vivent; ils sont donc *eurythermes*. Les espèces de nos côtes peuvent subir entre l'été et l'hiver des différences de 25° à 30°; aussi dans la mauvaise saison, se mettent-ils à l'abri en descendant à quelques mètres de profondeur. Les variations de



Englués en un ruban spiralé, les œufs d'une limace de mer (Ceratosoma)



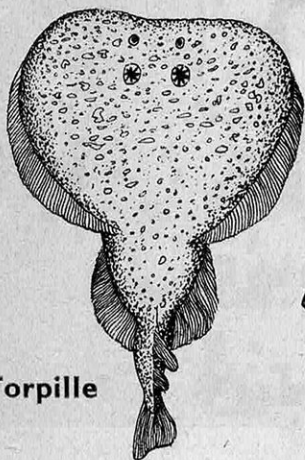
Un *Chaetodon benetti* qui habite les récifs de madrépores

Lienardella fasciata, poisson rare de la Nouvelle-Calédonie

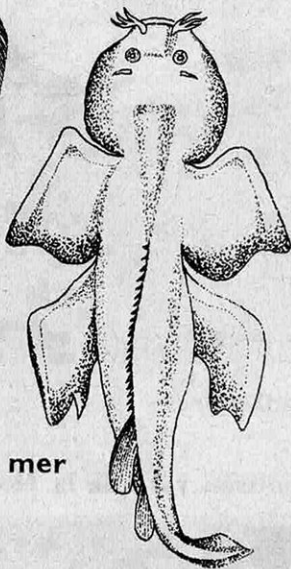


Quelques types de raies

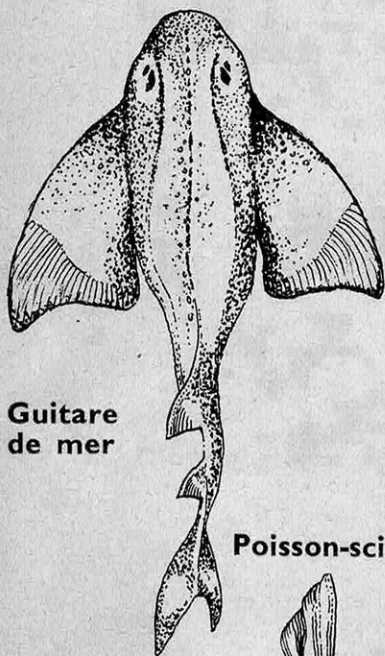
Ce sont, comme les espèces figurées ci-dessous et aussi les Squales et les Chimères, des poissons au squelette cartilagineux avec des fentes branchiales apparentes. Les raies sont adaptées à la vie sur le fond, où elles se nourrissent de tout ce qui y vit : poissons, mollusques, crustacés, etc. Certaines sont venimeuses, surtout dans les mers tropicales.



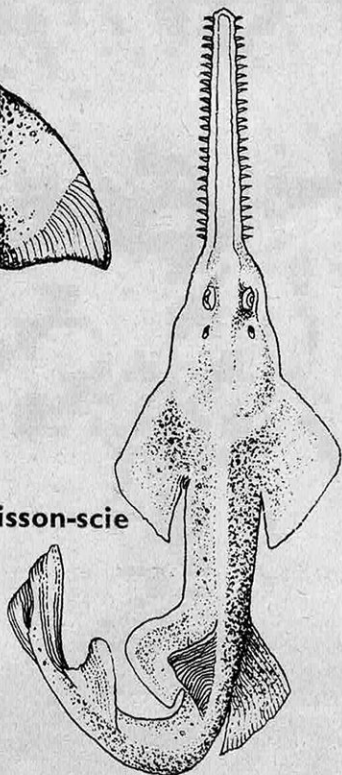
Torpille



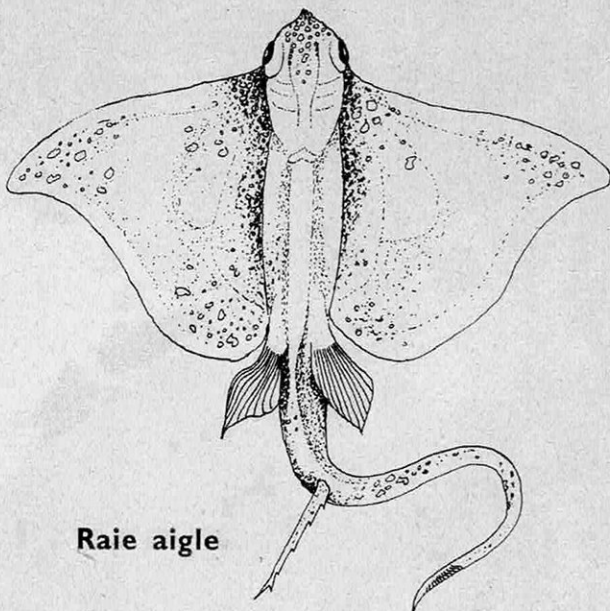
Ange de mer



Guitare de mer



Poisson-scie

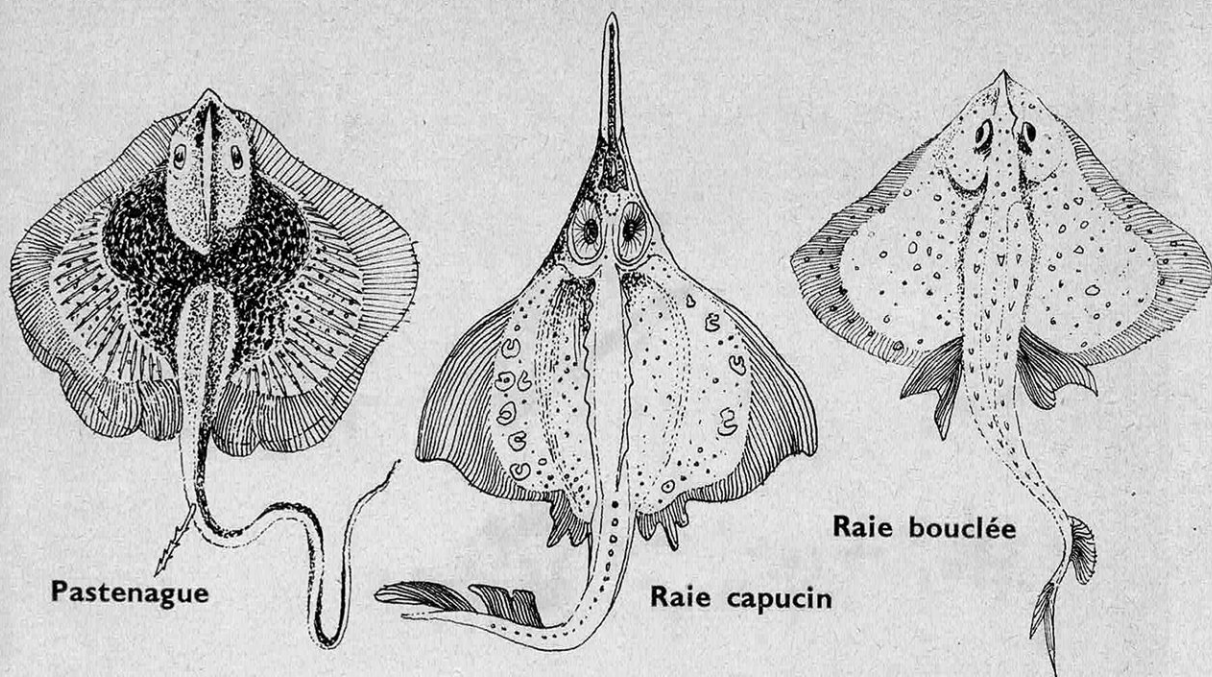


Raie aigle

salinité sont plus redoutables, car après des pluies massives amenant une dilution brutale des eaux du rivage, il arrive qu'on trouve des quantités de poissons morts, n'ayant pu supporter ce contraste.

Il peut paraître paradoxal d'inclure dans les poissons littoraux des espèces vivant au grand large, loin de toute terre, et au-dessus de profondeurs pouvant atteindre 6 000 m. Tel est le cas étrange de la faune ichthyologique de la Mer des Sargasses. Entre les 20° et 40° de latitude Nord et les 35° et 60° de longitude Ouest, des algues flottantes forment des groupes compacts dans une zone calme, non troublée par les courants. On trouve dans ce paysage côtier isolé en pleine mer des poissons de type littoral tels que des Phthinobranches des genres *Syngnathes* et *Hippocampes*, mais les animaux caractéristiques sont sans aucun doute de petits Antennaires, du groupe des *Pédiculates*, marbrés et tachetés, brandissant au-dessus de leur museau des prolongements mobiles dans le but d'attirer des proies. Ces Antennaires présentent un mimétisme remarquable qui les fait se confondre absolument avec les colorations des Sargasses. Leur dimorphisme sexuel est très marqué. On trouve dans l'Océan Pacifique et dans l'Océan Indien des mers de Sargasses (kelp) avec une faune littorale analogue.

En résumé, on peut définir les poissons littoraux proprement dits comme des espèces des eaux salées, sédentaires, eurythermes, (tolérant les variations de température), mimétiques, peu voraces, présentant souvent un dimorphisme sexuel, dotés d'instinct familial,



Pastenague

Raie capucin

Raie bouclée

se reproduisant par œufs déposés sur le fond et habituellement gardés par les parents, avec ou sans formation de nid.

Le type nageur néritique : Poisson rouge

Au-dessous des faibles profondeurs de la plate-forme, entre 0 et 200 m, au sein des mers épicontinentales, se déplace la faune des poissons nageurs néritiques. Beaucoup d'entre eux offrent la forme classique du poisson osseux. C'est le domaine des Serranides et notamment des grands Méroux (*Epinephelus*) qui peuvent, comme le Jew-fish (*Promicrops*) américain, dépasser 2 m. Des formes plus petites circulent autour d'eux, comme les Grunts (*Haemulon*) et l'énorme famille des Sparides comprenant toutes les espèces de Pagres, de Dorades, de Sargues, de Pageots, de Dentés, d'Oblades, etc., très estimés dans les deux continents par la qualité de leur chair, bien qu'ils soient surpassés à ce point de vue par les Rougets-barbets ou Surmulets (*Mullus*). Aux mêmes niveaux nagent en bancs assez importants les Courbines (*Sciaena*), les Ombrines (*Umbrina*), les Corbs (*Corvina*), les Croakers américains (*Micropogon*) de la famille des Sciaenides. Non loin du fond descendent les Grondins ou Trigles à tête cuirassée, avec leur parent recouvert d'une armure, le Malmarmat (*Peristedion*).

Tous ces nageurs néritiques étalent des livrées brillantes. Par suite de la couleur dominante, on peut les désigner du nom de « poisson rouge ».

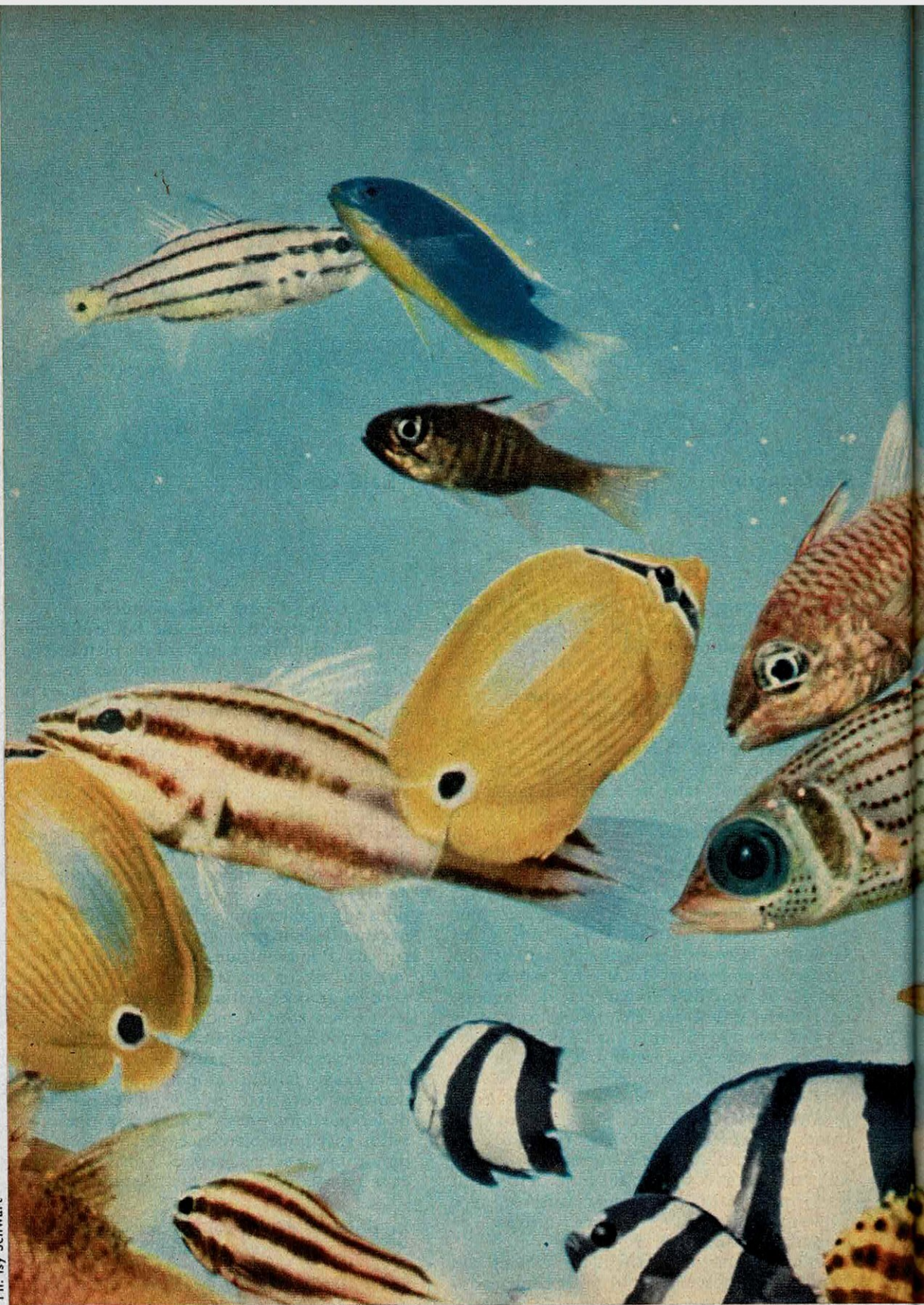
Beaucoup d'entre eux effectuent au moment de la reproduction une faible descente en profondeur jusqu'au bord du plateau continental. Leurs œufs sont pélagiques.

C'est parmi les nageurs néritiques que l'on doit placer les poissons du Corail. Dans les eaux claires de la zone tropicale, les massifs de Polypiers offrent une véritable féerie de couleurs et la plupart des poissons qui s'y abritent présentent des contrastes de teintes brillantes caractéristiques de leur espèce. C'est là que nagent les Scarides ou Perroquets de mer, les Choletodontes ou Poissons-papillons, les Acanthurides que leurs grandes nageoires ont fait comparer à des anges, les Balistides aux écailles rudes dressant la pointe menaçante de leur première dorsale, et enfin ces curieux Pomacentrides (*Amphiprion*, *Dascyllus*) qui vivent en communauté biologique avec les grandes Actinies Héliantopsides dont les toxines sont si redoutables.

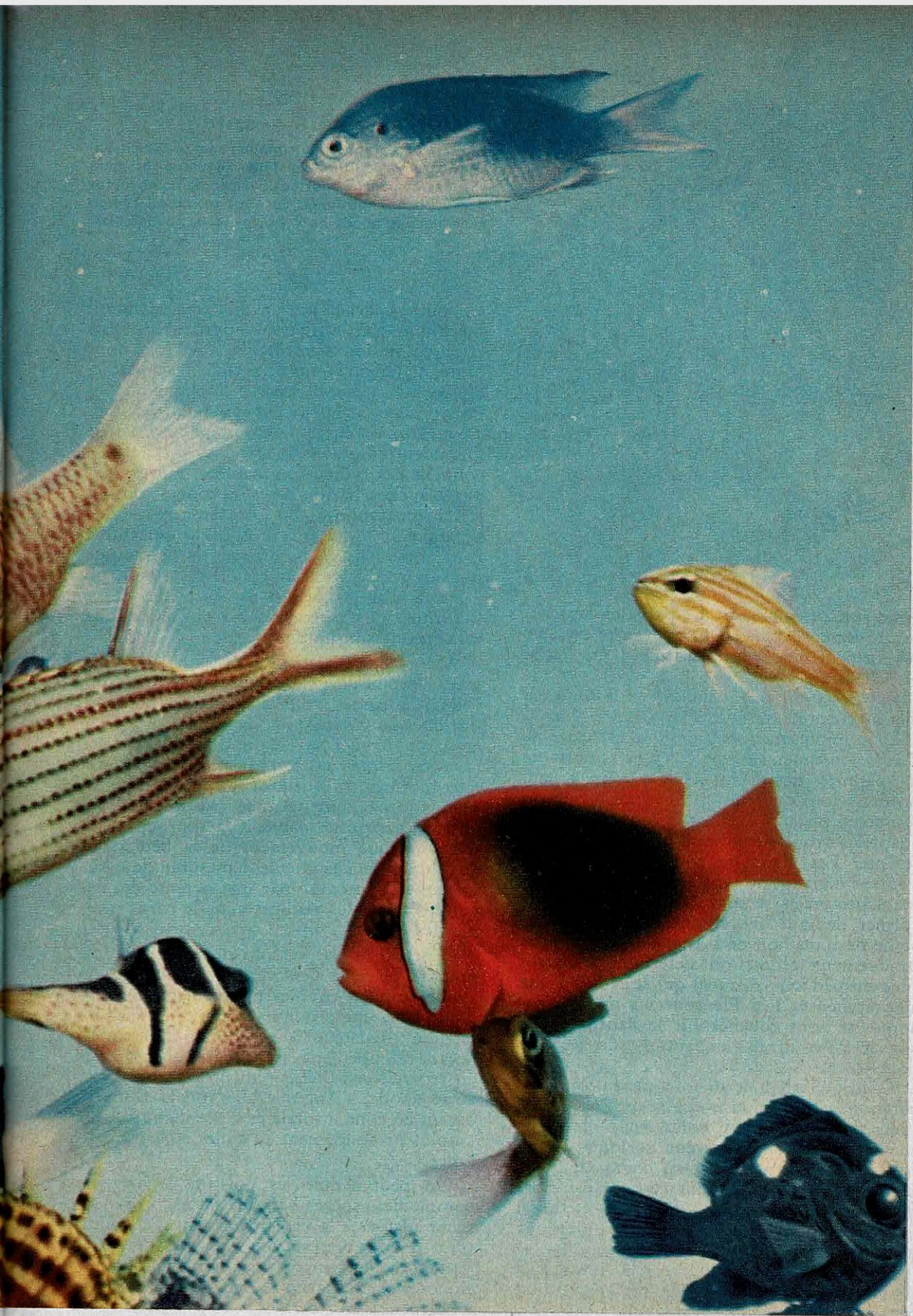
En résumé, les poissons nageurs néritiques sont des espèces des eaux salées, vivant entre deux eaux à faible profondeur, à peu près sédentaires, ne tolérant que de faibles variations de température, présentant souvent une coloration spécifique bien fixée, peu voraces, sans dimorphisme sexuel, dénuées d'instinct familial et se reproduisant par œufs pélagiques.

Le poisson démersal et semi-démersal : Poisson blanc

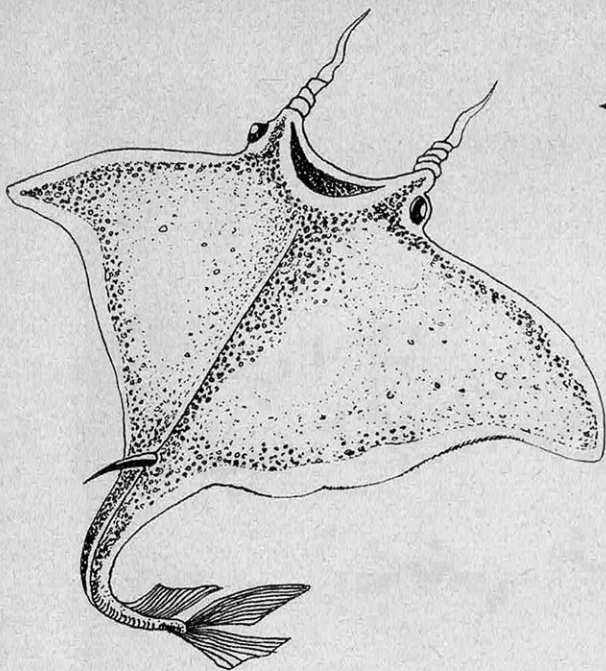
Le terme de « poisson blanc » est employé depuis longtemps par les pêcheurs de chalutiers. En effet, quand le chalut remonte char-



Un groupe de poissons des coraux des mers du Sud, poissons-clowns et poissons-p



papillons entre autres, tels qu'on en trouve dans les lagons au voisinage de Tahiti.



← La mante, raie géante

C'est la plus grande raie connue ; son poids, dit-on, peut atteindre 2 000 kg ; elle fréquente les mers chaudes. Sa bouche énorme et armée de nombreuses dents à la mâchoire inférieure est terminale et non ventrale. Ses bonds hors de l'eau sont redoutables.

gé en surface, la plupart des poissons capturés sur le fond se présentent le ventre en l'air et forment dans le filet une large tache blanche.

Ces poissons vivent collés sur le fond du plateau continental ou s'en éloignent peu.

Leur importance économique est extrême car ils constituent la partie la plus importante des captures des chalutiers. En premier lieu, on doit citer les Raies et les Pleuronectes ou Poissons plats. Ces deux groupes se sont adaptés à la vie sur le fond de façon fort différente. Les Raies se sont aplaties sur le ventre : dérivant du type arrondi des Squales, leurs pectorales se sont élargies au point de former des ailerons comme le témoigne le stade de transition de l'Ange de mer, et leurs mouvements réduits ont déterminé une atrophie du pédoncule caudal qui se réduit à une tige épineuse. Les Pleuronectes ou Hétérosomes se sont couchés sur le flanc, les uns sur le côté droit, les autres sur le côté gauche.

Celui qui adhère au sol a perdu toute coloration ; c'est le côté aveugle, car l'œil de ce côté s'est déplacé et, contournant la ligne médiane du crâne, est venu se loger à côté de son symétrique ; c'est au cours du développement que se produit cette transformation assez paradoxale. La bouche a été aussi influencée dans sa structure et est devenue asymétrique.

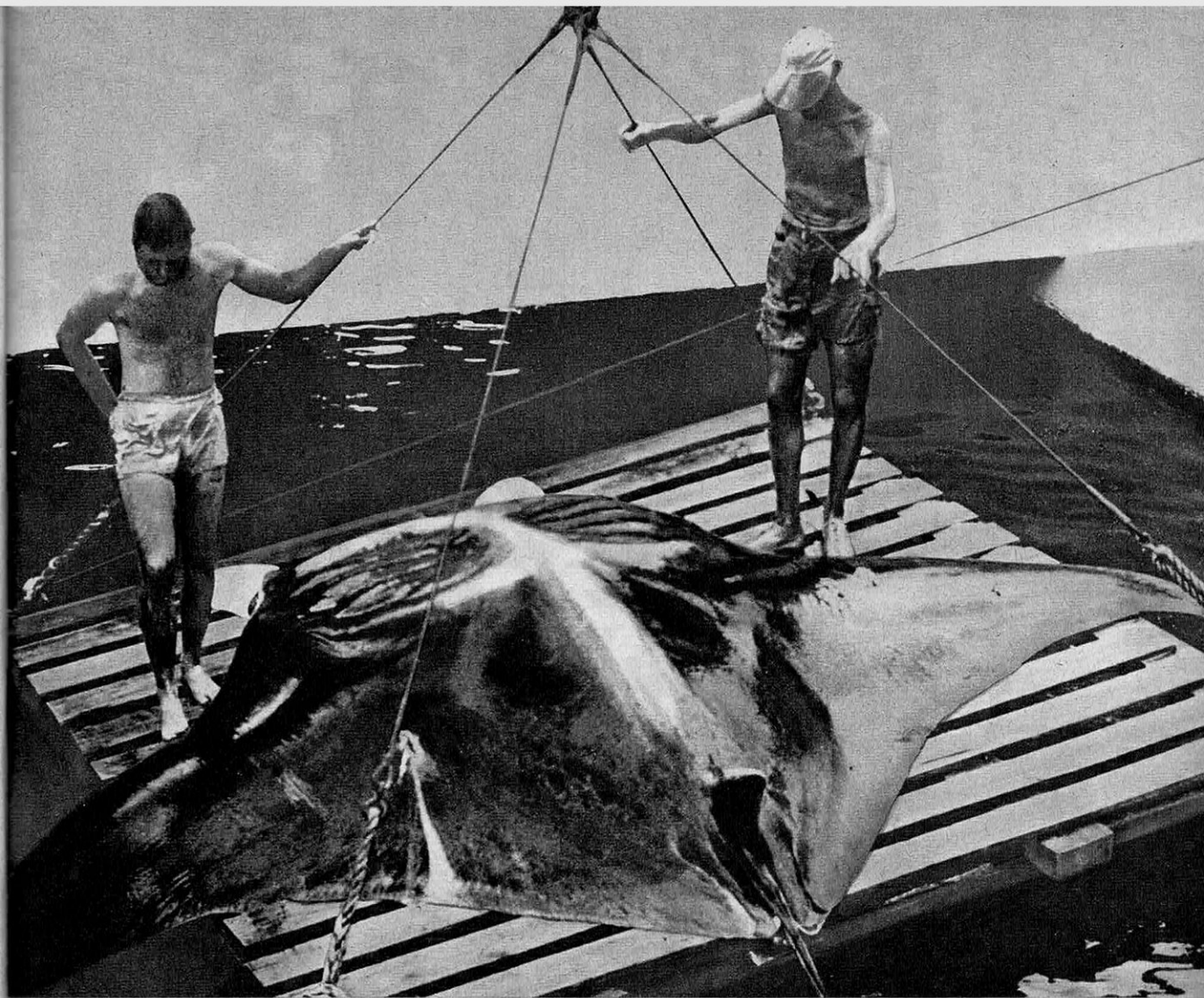
Les poissons démersaux sont mimétiques et arrivent à se confondre admirablement avec le fond sur lequel ils sont collés. Une première forme de ce mimétisme est fournie par

les Raies ; celles-ci ont en effet une coloration spécifique, sans variations appréciables, mais cette coloration s'est établie une fois pour toutes en tenant compte des tonalités du sable, de la vase ou des graviers et implique que les Poissons ne changent pas d'habitat. La deuxième forme plus perfectionnée est celle de l'homochromie des Pleuronectes. La peau contient des cellules pigmentées, noires, jaunes, blanches, parfois roses ou rouges ; ce sont les chromatophores. Ils sont susceptibles de s'élargir ou de se rétrécir et, par cette faculté, leurs combinaisons permettent au poisson de reproduire très exactement la coloration du fond. Si l'animal est transplanté, il modifie sa formule de chromatophores et s'adapte aux tonalités de son nouveau milieu.

À côté des Plagiostomes (Raies, Anges de mer, Torpilles) et des Pleuronectes (Flétans, Plies, Limandes, Flets, Turbots, Barbuets, Cardines ou Gélins, Fausses-limandes, Soles, etc.), on trouve sur le fond des Baudroies (*Lophius piscatorius*) ; on sait que ce poisson à tête énorme et à queue fort courte, agit un rayon de nageoire terminé par un lambeau charnu ; des proies naïves s'en approchent et, d'un brusque mouvement de la bête, sont englouties dans la gueule démesurée ; le mouvement est accentué par une détente des nageoires ventrales repliées sous le corps comme des pattes.

C'est parmi les poissons du fond que doit prendre place le Congre. Ce grand poisson apode se meut par des mouvements de reptation avec une prodigieuse rapidité ; c'est un terrible prédateur à mâchoires puissantes. Son développement est très particulier et nous en reparlerons ultérieurement à propos d'un autre apode, l'Anguille. Les petits Congres vivent en zone littorale et descendent de plus en plus profondément au cours de leur croissance.

On peut définir les poissons démersaux comme des espèces des eaux salées, profondément adaptés à la vie sur le fond, sédentaires (sauf de rares exceptions), tolérant de fortes variations de température, nettement mimétiques avec une partie du corps non pigmentée et blanche, très voraces, se reproduisant de façons variées.



Une mante de 4 m d'envergure à l'«oceanarium» de St-Augustine en Floride

C'est au type dit « semi-démersal » qu'appartiennent des formes nageuses se déplaçant à peu de distance du fond mais n'ayant pas subi d'adaptations morphologiques profondes comme les poissons « démersaux ». On peut ranger dans ce type un grand nombre de Squales, Roussettes et Chiens de mer, mais les formes les plus caractéristiques appartiennent à la vaste famille des Gades.

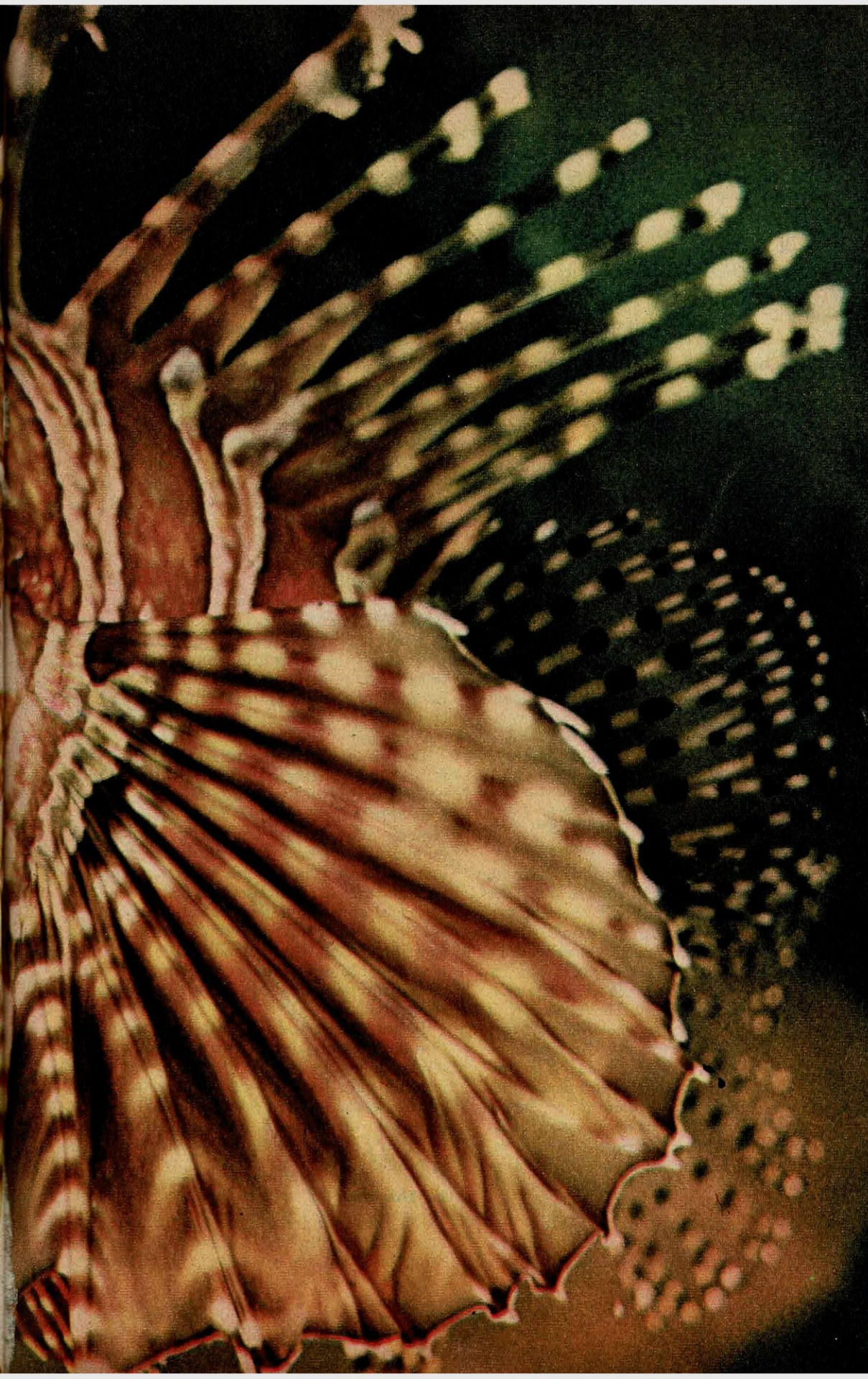
La Morue

La Morue (*Gadus callarias*) est la forme essentielle semi-démersale. Elle vit par bancs considérables dans l'Atlantique Nord, le Golfe du Maine, sur les Bancs de Terre-Neuve, autour du Groenland et de l'Islande, en Mer de Barentz, en Mer de Norvège, en Mer du Nord et jusqu'en Manche et en Mer Celtique. On a pu distinguer dans l'espèce plusieurs races en se basant sur leur formule vertébrale

qui varie suivant les localités de 51 à 55 vertèbres. La Morue est un poisson extrêmement vorace et sa puissante dentition lui permet de broyer les tests des Oursins et les coquilles résistantes de Mollusques comme celles des Buccins. La biologie de la Morue est entièrement dominée par des facteurs physiques, la température et la salinité. Chaque race a un optimum thermique qui est de 0° à $+4^{\circ}$ sur les côtes américaines et l'Océan Arctique, de $+4^{\circ}$ à $+6^{\circ}$ en Mer du Nord et même au-delà dans la partie méridionale de son aire géographique. Les anciens pêcheurs, se basant sur leur expérience, recherchaient les « fonds à Morues », mais ils n'existent pas, il y a seulement des « eaux à Morues », d'une température et d'une salinité définies, constituant de véritables « facies hydrologiques ». Suivant les variations d'amplitude des transgressions et suivant le volume de la dérive polai-

**Brachypterus
zebra,
de la famille
des rascasses:
les piqûres de
ses rayons sont
douloureuses.**





Ph. R. Catala - Aquarium de Nouméa

re du Courant du Labrador, les eaux à Morues changent de place. Plusieurs campagnes sur les Bancs de Terre-Neuve et la collaboration du Commandant Beugé m'ont permis de préciser ces variations. Quand la transgression est faible, les eaux froides polaires occupent la totalité des Bancs, et la saison est bonne pour la pêche à la Morue; les transgressions moyennes envahissent les nappes superficielles des Bancs, la Morue reste sur le fond mais peut être encore aisément capturée; dans les années de transgression forte, les eaux chaudes recouvrent tous les Bancs et les Morues s'enfoncent en profondeur: c'étaient les mauvaises années de pêche du temps des voiliers et elles sont encore médiocres pour les chalutiers. En se basant sur la périodicité des transgressions, nous avons pu prévoir ces variations des eaux à Morues et entraîner dans les années chaudes la pêche plus au nord vers le Groenland. Le réchauffement actuel de l'Arctique a déterminé un déplacement graduel de la Morue vers le Grand Nord.

Les Morues ont une fécondité prodigieuse: le nombre des œufs s'accroît avec la taille des femelles et peut atteindre 5 à 6 millions; la croissance est rapide; 1 m vers 10 ans, 1,50 m vers 20 ans, et on connaît des Morues de 2 m.

Les Eglefins (*Gadus aeglefinus*), les Haddocks des Anglais, ont une biologie comparable mais, plus localisée aux eaux de température entre + 2° et + 8°. La taille n'excède pas 90 cm et la longévité est de 15 ans.

Le type pélagique et migrateur : Poisson bleu

Les poissons pélagiques ont pour domaine les eaux de surface des Océans; ce sont des nageurs de haute mer que leur biologie entraîne parfois à proximité des côtes; ils se déplacent par bancs compacts et serrés dans les nappes superficielles jusque vers 200 m. On leur a donné à juste titre le nom de « poisson bleu » car presque toutes les espèces ont un dos glauque à reflets métalliques, alors que la partie inférieure du corps est blanche ou irisée; la couleur bleue est due à la présence de cristaux de guanine, produit d'excrétion du sang, qui a la propriété de refléter la lumière. La forme du corps des poissons pélagiques est spécialement adaptée à la nage rapide et s'est perfectionnée au cours de l'évolution des espèces. Dans le type Clupe, le corps a la forme d'un fuseau légèrement comprimé latéralement, les nageoires impaires réduites se bornent à un rôle de stabilité verticale, les ventrales rejetées en ar-

rière n'offrent aucun obstacle à l'écoulement de l'eau sur les flancs et le ventre. Dans le type Scombre, et en particulier chez les Thons, cette disposition s'est remarquablement améliorée: le poisson a pris la forme d'une torpille extrêmement effilée vers la queue; au contraire, l'extrémité antérieure s'est renflée et le maître-couple se trouve fortement avancé; en arrière de la tête, qui reste en continuité de lignes avec le corps, la connexion des pectorales et des ventrales précise une condensation des forces en avant et la percée faite par cette masse puissante ne trouve plus d'obstacles en arrière. L'écoulement des eaux est facilité par leur division en petits courants par suite du morcellement des nageoires impaires; la queue, très forte, joue le rôle d'un puissant gouvernail. Quelques familles de poissons pélagiques ont acquis un bec formant éperon, mais ce développement antérieur paraît compliquer les mouvements de rotation de l'animal.

Les poissons pélagiques accomplissent deux catégories de mouvements: un mouvement de dispersion au cours duquel ils s'égaillent sur toute l'étendue de leur aire géographique pour chercher de la nourriture sans se faire concurrence en un même lieu, c'est le *mouvement de nutrition*; un mouvement de concentration au moment de la saison des amours où ils se réunissent en un même lieu pour faciliter la fécondation, c'est le *mouvement de reproduction*.

Dans ces différentes phases de leur vie, les pélagiques restent entièrement subordonnés aux conditions hydrologiques; ils exigent tous une température et une salinité déterminées, mais, suivant leur état physiologique ou leur âge, il peut y avoir des variations dans leur optimum physico-chimique. Les nageurs de haute mer se répartissent en deux groupes: ceux qui sont les hôtes des eaux polaires et continentales et qui reculent devant les transgressions; ceux qui vivent dans les eaux chaudes et salées et qui accompagnent l'avance transgressive et reculent au moment de la régression.

Il faut noter que la migration de reproduction des poissons des eaux froides indique une tendance anadromique, c'est-à-dire une remontée vers les eaux de faible salure; par contre, beaucoup de poissons des eaux transgressives obéissent à une catadromie partielle en s'enfonçant en profondeur lors de la ponte.

Le Hareng

On peut prendre comme types des espèces pélagiques polaires et continentales: le Hareng, le Sprat et un petit Gade, le Merlan.

Le Hareng est le poisson qui présente la plus grande importance économique : il a joué et joue encore un rôle important dans l'histoire des peuples et des guerres. Les bancs de Harengs représentent une formidable accumulation de matière vivante dans l'hémisphère boréal. Ceux de l'Atlantique appartiennent à l'espèce *Clupea harengus*, ceux du Pacifique à l'espèce *C. Pallasii*. En ce qui concerne l'espèce atlantique, on a cru longtemps qu'elle accomplissait d'énormes migrations par suite de ses dates d'apparitions successives au large des diverses côtes. Mais les travaux de Heincke et de Hjort ont ruiné cette théorie en reconnaissant des races locales, en se basant sur le nombre des vertèbres qui varie de 55 à 58. Les formules vertébrales croissent d'une part avec la latitude, et d'autre part avec la salinité. Les Harengs polaires ont plus de vertèbres que les Harengs de la Manche, et ceux qui vivent dans les eaux dessalées des estuaires ont moins de vertèbres que ceux du large.

Dans la période hivernale, les Harengs séjournent au bord du plateau continental, non loin de la ligne des vases, mais, quand cette région est atteinte par les transgressions salées profondes, les Harengs commencent à reculer vers les hauts-fonds. Fuyant devant les eaux chaudes, chaque population de Harengs gagne son lieu de ponte; le mouvement de fuite correspond à leur maturité sexuelle et ils déposent leurs œufs sur les algues et les graviers. Après quoi, les Harengs vidés, les « Harengs guais », commencent leur migration de nutrition et se repaissent de Diatomées et de Copépodes. Il peut arriver, lors des années de grande amplitude transgressive, que ces Harengs ne trouvent pas leur nourriture habituelle et se réfugient au plus près des côtes pour tâcher de s'alimenter. Ils s'enfoncent dans les fjords de Scandinavie en masses compactes; ce sont les années de « pêche miraculeuse » qui correspondent aux grandes transgressions des marées séculaires de 111 ans.

Les Harengs peuvent atteindre une taille de 35 cm et leur longévité peut être de 20 ans.

Le Maquereau

Les poissons pélagiques qui accompagnent dans l'Atlantique la montée des transgressions sont notamment les Maquereaux et les Sardines.

Le Maquereau réalise par sa forme le type du nageur de haute mer. On le trouve dans tous les Océans et la fixité de sa morphologie, et en particulier de sa formule vertébrale, empêche de reconnaître des races locales en se basant sur l'anatomie. On ne peut différencier les Maquereaux d'Europe et d'Amé-

rique ou ceux de la Méditerranée que par les différences de croissance. Le type de nos côtes atteint 40 à 45 cm, celui de la Méditerranée ne dépasse guère 30 cm, mais les formes américaines de Nouvelle Ecosse et du Maine peuvent atteindre plus de 55 cm. Les bancs de Maquereaux peuvent être considérables et s'étendre sur plusieurs milles de longueur; leurs ennemis sont nombreux, tant au sein des eaux, Dauphins, Requins, Thons, Crabes, que dans les airs et ils sont la proie des Oiseaux de mer et notamment des Fous-de-Bassan. Les Maquereaux descendent en hiver au bord du plateau continental vers 200 m, en suivant le retrait des eaux transgressives. Au printemps, ils sont les meilleurs indicateurs des axes de la transgression superficielle; ils s'élèvent en masse vers 10 ou 20 m de profondeur et le réchauffement printanier en surface détermine la ponte. Sur la côte américaine, les grands Maquereaux de Nouvelle Ecosse ne peuvent descendre aussi profondément au bord du plateau continental car celui-ci reste recouvert par les eaux froides du Courant du Labrador; ils doivent donc gagner les latitudes plus basses, dans la région du Cap Hatteras, mais ils remontent au printemps vers le Nord et pondent comme ceux d'Europe en mai et juin. La migration de nutrition s'accompagne d'une plus grande tolérance thermique et les Maquereaux se risquent pour se nourrir dans les eaux polaires et continentales.

La Sardine

La Sardine (*Clupanodon pilchardus*) ne joua de rôle dans la consommation qu'au début du XIX^e siècle, quand fut mise au point l'industrie des conserves; cette technique lui a donné depuis une importance économique considérable. Le domaine géographique de la Sardine s'étend de la Mer du Nord à la Mauritanie. Les travaux de L. Fage, puis de J. Furnestin ont permis la distinction des races locales basées sur les moyennes vertébrales. On peut reconnaître quatre races : la race atlantique septentrionale, de la Mer du Nord à la côte cantabrique; la race atlantique méridionale, de la côte cantabrique à la Baie d'Espagne; la race marocaine, Maroc, Rio de Oro; et enfin la race maurétanienne, s'étendant jusqu'à Dakar et dont les bancs peu nombreux furent d'abord signalés par Th. Monod. Pour chaque race, les Sardines âgées se tiennent dans la partie septentrionale de leur secteur géographique. Les grands pilchards de Northumberland, qui ont de 6 à 10 ans, mesurant 25 ou 27 cm, ne quittent guère la Mer du Nord; ce sont les « céjans » de Boulogne-sur-Mer. Les adultes plus jeunes,

de 2 à 5 ans, entourent les côtes de Bretagne; dans le Golfe de Gascogne on ne trouve plus que des immatures de 10 à 12 cm. Les Sardines adultes présentent une catadromie partielle et s'enfoncent pour pondre assez profondément; l'arrivée des transgressions a une grande influence sur la reproduction qui s'effectue suivant la latitude entre $+ 10^{\circ}$ ou $+ 17^{\circ}$: sur la côte ibérique de novembre à juin; de Santander à Arcachon de novembre à avril; sur la côte bretonne de février à juillet; en Manche et Mer du Nord d'avril à novembre.

Dans la race septentrionale, J. Furnestin a reconnu deux populations: la population aquitaine, dont les jeunes nés dans le Golfe de Gascogne y passent leurs deux premières années puis, après avoir pondu, remontent vers le Nord et ne reviennent plus dans leur contrée d'origine; la population armoricaine, éclore en Bretagne, vient faire un séjour près de St. Jean-de-Luz en automne et en hiver, puis remonte vers ses eaux natales.

Il existe d'autres Clupes très voisins de la Sardine parmi lesquels on doit citer le *Clupanodon fallax* ou *coeruleus*, le Pilchard de Californie. Il obéit aux transgressions du Pacifique oriental, et récemment des variations du régime transgressif ont amené son éloignement des côtes pendant 9 années; mais les Pilchards sont revenus depuis 1958, tout au moins dans la région de San Diego.

Une autre Sardine, sans doute de la même espèce, commence à faire en Afrique du Sud l'objet d'une importante industrie. Citons encore pour mémoire le *Clupanodon pseudohispanicus* de la Mer Caraïbe, exploité au Vénézuéla.

Poissons des mers tropicales

On ne peut songer à décrire ou même simplement à citer les innombrables Poissons pélagiques des mers tropicales: c'est dans leurs eaux bleues et ensoleillées que bondissent les Tarpons géants dépassant 2 m et que circulent les bancs de Blue-fishes, les Tassergals marocains (*Temnodon saltator*) qui peuvent compter parmi les plus voraces et les plus cruels des poissons; leurs déplacements ont une certaine envergure, mais ils s'éloignent cependant assez peu des plateaux continentaux d'Afrique et d'Amérique; le *Temnodon* habite aussi en Méditerranée orientale, c'est le « lufar » des Turcs.

Sur toutes les côtes tropicales abondent les multiples espèces des Carangues et aussi les Sardinelles ou Allaches. Au grand large passent les bancs de Balaous (*Scombrosox saurus*) avec leur bec pointu, sans cesse poursuivis par les Thons et les Coryphènes aux belles couleurs. La zone équatoriale est le domaine

des poissons volants (*Exocoetus*, *Cypsilurus*) et aussi des grands Voiliers (*Histiophorus*) qui dressent sur leur dos leur grande nageoire noire étarquée par de hauts rayons. Enfin, on ne saurait oublier que c'est parmi les poissons pélagiques que doivent être placés les grands Requins, sans cesse en quête de proies nouvelles.

Les Poissons pélagiques sont des espèces des eaux salées, vivant dans les eaux de surface de température et de salinité nettement déterminées, susceptibles de grands déplacements, doués d'une tendance grégaire à vivre par bancs, possédant un mimétisme spécial avec un dos bleu et glauque, sans dimorphisme sexuel ni instinct familial, se reproduisant en général par œufs pélagiques et adaptés morphologiquement à la nage rapide.

Les migrateurs pélagiques

On doit réserver le nom de *migrateurs pélagiques* à quelques poissons bleus dont les déplacements sont d'une si grande amplitude qu'ils peuvent s'étendre sur toute la largeur d'un océan. Ils sont représentés par les Thons et les Espadons.

Le Thon

Les Thons tiennent une place à part parmi les autres poissons par la disposition particulière de leur système vasculaire sous-cutané leur fournissant une réserve sanguine qui leur évite tout épuisement. De plus, leur température n'est pas conforme à celle de leur milieu ambiant, mais la dépasse d'environ 8° . Comme les Thons ne vivent que dans des eaux chaudes dont la température varie de $+ 14^{\circ}$ à $+ 24^{\circ}$ il en résulte que leur chair est constamment maintenue entre $+ 22^{\circ}$ et $+ 32^{\circ}$ et,

Pêche au chalut au → large des îles Shetland

CE coup de chalut du chalutier Paul Corbin des pêcheries Delpierre de Boulogne a rapporté 10 tonnes de poissons, pour la plupart des maquereaux au premier plan. Cette pêche au maquereau n'a pas pour les pêcheurs boulonnais l'ampleur de la pêche au hareng, mais elle en est en quelque sorte l'activité complémentaire. Elle se pratique de mars à juillet, au moment où le hareng échappe à la pêche dérivante, mais, là aussi, le chalutage a pris, depuis un certain temps, une grande importance. Pas plus que le hareng, le maquereau ne forme une population unique et les facteurs physiques qui peuvent affecter une population dans son aire propre sont sans effet sur les autres.



de fait, il est plus logique de l'appeler « viande de Thon ».

Les Thons rouges (*Thunnus Thynnus*) ont été observés depuis des siècles en Méditerranée et Aristote mentionne déjà leurs mouvements entre la Mer Egée et la Mer Noire. C'est sur les côtes de Libye, de Tunisie et de Sicile que se place la phase reproductrice. Les gros Thons génétiques d'un poids de 150 à 300 kg fréquentent ces parages en avril, mai, juin, quand la température des eaux s'élève à + 18° avec une salinité de 38 ‰, et en arrièresaïson quand les eaux sont encore plus chaudes et plus salées, arrivent d'autres poissons plus petits et qui sont eux aussi en état de maturité sexuelle.

Des capitaines de madragues, les raïs, déclarent avoir observé la fraye, qui se passe presque en surface : le mâle et la femelle se frôlent et lâchent simultanément leurs produits sexuels. La larve sort de l'œuf au bout de deux jours et mesure 3 mm. La croissance est rapide : 1 m à 3 ans, 2 m vers 10 ans ; on connaît des Thons de 400 kg et on cite sur la côte américaine la capture d'un poisson de 720 kg.

Un autre centre de pêche se situe en Baie d'Espagne, de Cadix au Maroc.

Les migrations du Thon rouge

Après la reproduction commence la grande migration de nutrition. Les jeunes voyagent peu, mais les vieux Thons se risquent fort loin à toute vitesse ; doublant le Cap Ortegal ils apparaissent devant St. Jean-de-Luz, en Baie de Douarnenez, en Manche, en Mer du Nord, jusque sur les côtes de Norvège, effectuant en un mois un voyage de 2 500 milles. Un Thon en pleine nage peut soutenir une allure de 20 milles à l'heure et traverser un océan en même temps qu'un grand paquebot. Pendant leur migration, les Thons rouges tolèrent un peu mieux les variations de température, mais ils n'abandonnent jamais les eaux à 35 ‰ et se maintiennent dans les transgressions atlantiques. Ils avalent une nourriture prodigieuse : Anchois, Sardines, Maquereaux, Crustacés, Encornets, et même d'autres petits Thons.

Dans l'Atlantique occidental, au sud des Bermudes, sans doute en Mer des Sargasses, se trouve un autre centre de reproduction, et la migration de nutrition conduit ces Thons américains vers le Nord jusque sur les Bancs de Terre-Neuve.

Dans le Pacifique, la biologie est la même. Ils montent pour se nourrir avec la transgression au large de la Californie et se concentrent pour pondre près de l'Amérique centrale ou des Galapagos. Du côté du Japon, le Thon rouge se reproduit près des Riou-Kiou et, de

juillet à novembre, se dirige au Nord vers Hondo et Hokkaïdo. Dans l'hémisphère austral, le Thon rouge fréquente les côtes de l'Afrique du Sud, de l'Australie et aussi l'archipel Juan Fernandez où semble se situer un lieu de ponte.

Le Thon blanc ou Germon (*Thunnus alalunga*) peut être considéré comme le type du poisson migrateur pélagique. J'ai quelque peu contribué à préciser sa biologie qui resta longtemps incertaine. En 1921, il me servit de guide pour l'étude des transgressions et je pus établir la loi suivante : le Germon au large des côtes de France vit toujours dans des eaux dont la température à 50 m est supérieure à + 14° et dont la salinité est au-dessus de 35 ‰ ; cette loi n'a jamais été démentie par les faits, mais elle ne concerne que les Germons immatures.

La biologie du Thon blanc

C'est trente ans plus tard, au cours d'une mission au Vénézuëla et en Mer Caraïbe, en 1950, que j'ai pu fixer le lieu de ponte et en déduire les phases principales de la biologie du Thon blanc. Il faut noter qu'en 1924, Ehrenbaum avait attribué au Germon des larves de 5 à 13 mm, recueillies en Mer des Sargasses par l'océanographe danois Johs. Schmidt. En 1925, le Professeur Gruvel et Conseil déclaraient avoir trouvé près des Antilles françaises des Germons en état de maturité sexuelle. Ma découverte d'un petit Thon blanc de 32 cm dans les parages des Iles-sous-le-Vent confirmait entièrement les remarques de ces savants. On peut donc déclarer que le lieu de ponte du Germon se situe en Mer des Sargasses et se place sans doute vers 500 m de profondeur, au point maximum d'enfoncement de l'isotherme + 14°. Les Germons génétiques ne quittent pas la grande nappe marine qui s'étend transversalement en zone tropicale, du Golfe du Mexique à l'entrée de la Méditerranée, et que définissent des salinités de 36 à 36,5 ‰ et des températures de + 16° à + 24°. La migration de nutrition s'opère vers l'est et J. Furnestin a signalé, non loin de Mazagan un Germon de 1,10 m venant de pondre.

Ce trajet de la Mer des Sargasses au Maroc ne demande que peu de temps pour ces grands nageurs rapides.

La croissance de l'espèce est mal connue ; les alevins de 20 cm restent sans doute sur place ; c'est vers 2 ans qu'ils atteignent 30 ou 35 cm et se risquent jusqu'aux Antilles : puis vers 45 cm, les jeunes poissons commencent à suivre vers le nord-est les eaux transgressives ; ils ont sans doute 4 ou 5 ans et mesurent de 55 à 70 cm quand ils nagent au

large des côtes d'Europe : en avril et mai à quelque distance de la côte ibérique, en juin dans le Golfe de Gascogne, en septembre et octobre jusqu'au sud de l'Irlande. Quand la température se rafraîchit, ils font route vers le Sud-Ouest, soit en surface, soit en profondeur suivant la position de l'isotherme $+ 14^{\circ}$, et ils passent la mauvaise saison autour des archipels atlantiques. La maturité sexuelle doit se produire vers l'âge de 6 ans quand ils mesurent 75 cm; leurs migrations se réduisent alors d'amplitude. Des Thons blancs de 80 cm, 90 cm et 1 m ont respectivement 8, 10 ou 12 ans.

En 1923, lors d'une croisière dans le Pacifique Nord, entre Vancouver et les Iles Hawai j'avais relevé la présence en juin de Germons montant vers le Nord avec la transgression du Pacifique oriental. En 1925, Kishinouye trouva de petits Thons blancs de 30 cm dans l'estomac d'autres poissons près des îles Ogasawara; en 1937 le navire japonais « Fujimaru » capturait à l'ouest des îles Midway, par 30° Nord et 170° Ouest des Thons blancs de toute taille, de 20 cm à 1 m. Cette découverte situait le lieu de ponte du Germon dans le Pacifique et, en 1943, Vernon Brock précisait la biologie du Thon blanc de cet Océan.

La Méditerranée paraît posséder une population spéciale de Germons; le lieu de ponte se situerait entre la Sicile et la Grèce et L. Sanzo a décrit des larves. La migration de nutrition s'effectue en Mer Egée et jusqu'en Mer Noire.

Il existe sans doute un centre de ponte au large du Brésil et les Germons se déplacent vers l'Angola et l'Afrique du Sud. Dans l'Océan Indien, près de l'Australie et de la Réunion, se trouvent des Germons dont on ignore la biologie.

Les migrations de l'Albacore, le « yellow-fin-tuna » des Américains, (*Thunnus albacores*) étudiées dans l'Atlantique et dans le Pacifique, rappellent celles des autres Thons, mais sont de plus faible amplitude.

L'Espadon

L'Espadon est un grand coureur des mers tout à fait cosmopolite; il circule dans les trois océans et remonte jusque dans les glaces polaires. Sa silhouette est très spéciale avec son long bec et son absence de ventrales; deux petites pinnules sont placées en avant de sa forte caudale. On a raconté bien des légendes sur son compte, mais il semble que ce soit un poisson doux et craintif, sauf quand il est attaqué. Il ne vit pas par bancs, mais sans doute par couples; ses migrations sont inconnues. En Méditerranée orientale et en Mer Noire existe une population spéciale

d'Espadons. Ces poissons, dans les océans, peuvent dépasser 5 m avec des poids de 350 à 400 kg.

Les migrateurs anadromes

L'anadromie est la forme migratoire de nombreuses espèces de poissons : la migration de nutrition et la migration de reproduction correspondent à un changement de milieu, entraînant chez les individus génétiques une recherche d'eaux de moindre salinité. On trouve dans l'anadromie divers degrés, mais dans tous les cas elle se traduit par une remontée des reproducteurs vers des eaux plus diluées.

Le premier terme se traduit par l'anadromie des Gades; ils remontent des profondeurs vers les hauts fonds à la recherche d'eaux moins denses dont le caractère superficiel diminue la pression.

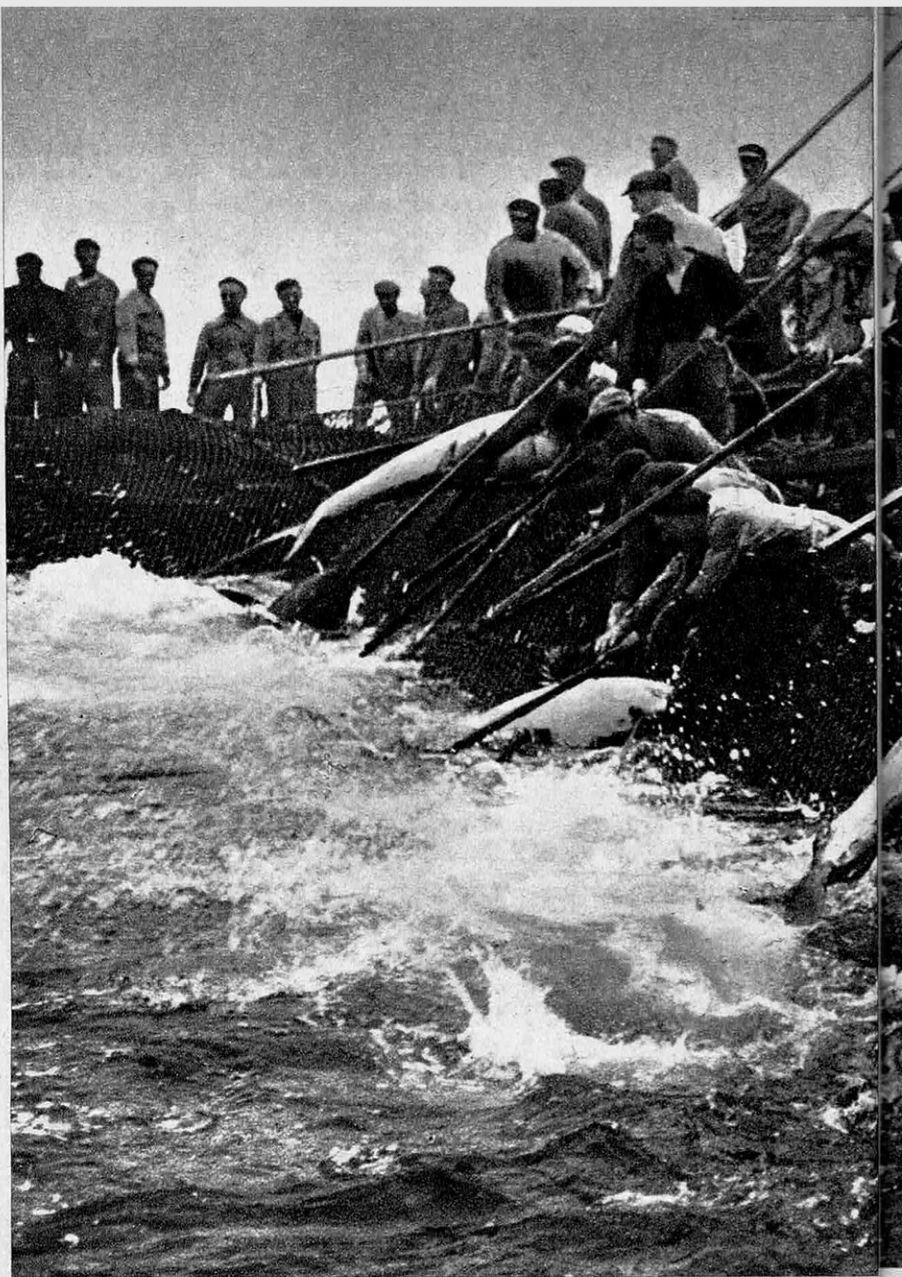
Le deuxième terme correspond à l'anadromie du Hareng que nous avons déjà décrite. Ce mouvement est accéléré par l'approche des eaux salées profondes de forte densité et les Harengs remontent le plus loin possible pour les éviter. L'Anchois présente une anadromie analogue, mais dans son mouvement intervient de plus une question thermique. Il recherche pour pondre, près des côtes, des eaux plus légères où il trouvera une température de $+ 17^{\circ}$, son optimum pour la reproduction. Cette condition est impérative et on a pu s'en rendre compte quand les travaux de clôture du Zuydersee bouchèrent l'un des lieux de ponte favori de l'Anchois; les poissons mûrs et gonflés de produits sexuels, affolés, cherchèrent un autre site favorable, et les plus heureux le trouvèrent à l'embouchure de l'Elbe.

Un troisième degré anadromique caractérise les Capelans (*Mallotus villosus*), les Orphies (*Ramphistoma belone*), les Lançons et Equilles (*g. Ammodytes*) et les Athérines ou Prêtres (*g. Atherina*). Ces espèces quittent les profondeurs moyennes où elles vivent habituellement pour venir se précipiter en bancs importants le plus près possible des côtes et même dans la zone des marées. Elles abandonnent sur les sables du rivage leurs œufs qui sont visqueux ou garnis de filaments adhésifs et se fixent sur place. Aucune de ces espèces n'abandonne les eaux salées et ne pénètre en eau douce.

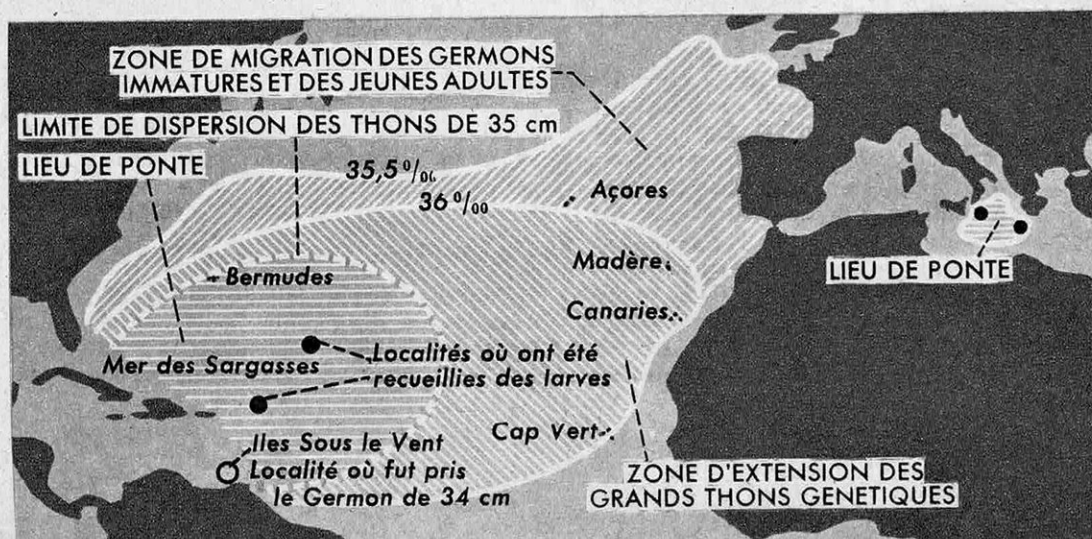
L'anadromie totale type Saumon

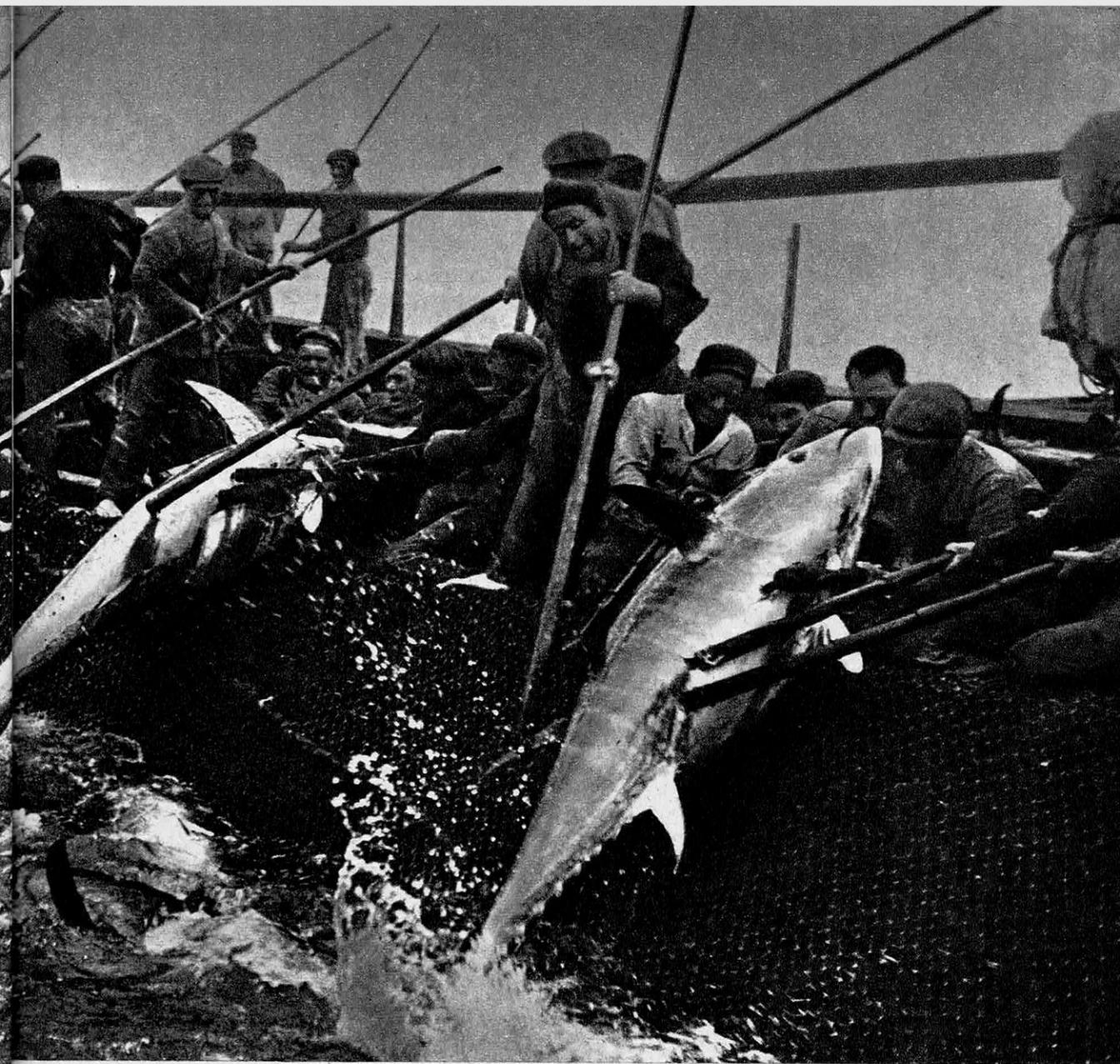
Les trois formes anadromiques que nous venons de décrire ne marquent en réalité qu'une tendance vers l'anadromie totale. Celle-ci est essentiellement caractérisée par la re-

Migration des thons blancs ou germons des côtes d'Europe



La capture des thons telle qu'on la pratique toujours en Mé





diterranée, ici au large de l'île de Favignana à l'ouest du port de Trapani, en Sicile

LE Germon ou Thon blanc est le type du poisson migrateur pélagique. Le lieu de ponte du Germon de l'Atlantique Nord se situe dans les parages de la Mer des Sargasses où ont été recueillies et identifiées des larves de l'espèce. La ponte s'effectue sans doute en profondeur dans la cuvette océanique de l'Atlantique occidental où l'isotherme $+ 14^{\circ}$ et l'isohaline 36‰ s'enfoncent jusque vers 500 m. C'est là que se rassemblent les grands Thons blancs génétiques qui s'égaillent ensuite à la recherche d'une nourriture abondante. Les alevins grandissent sur place, puis vers 2 ans se risquent jusqu'aux Antilles et quand ils mesurent 45 cm suivent vers le nord-est les eaux des trans-

gressions pour atteindre les côtes d'Europe âgés d'environ 5 ans; la première maturité sexuelle se produit vers 6 ans. Le Germon de la Méditerranée paraît représenter une population spéciale à cette mer, avec un lieu de ponte entre la Sicile et la Grèce et une migration de nutrition en Méditerranée orientale. Le Thon présente un intérêt économique considérable. Dans l'Atlantique, il est pêché à la ligne par l'armement de Saint-Jean-de-Luz et l'armement breton. Les pêcheurs de Provence utilisent des filets divers dont certains emprisonnent les poissons et les concentrent dans une poche terminale; ils sont alors saisis par les ouïes ou harponnés et hissés dans les embarcations des pêcheurs.

montée vers les eaux douces, au moment de la reproduction, de poissons qui ont accompli leur phase de nutrition dans les eaux marines. La vie d'un anadrome typique comporte quatre périodes :

1^o après l'éclosion, les alevins vivent en eau douce et y accomplissent leur première croissance; ils présentent souvent des couleurs très vives;

2^o descente à la mer; en général la coloration change et devient argentée et semblable à la livrée des poissons pélagiques;

3^o croissance en mer jusqu'à l'âge adulte, sur le plateau continental jusqu'à 200 m;

4^o remontée en eau douce et ponte.

Les œufs des anadromes sont presque toujours, soit fixés sur le fond, soit suffisamment lourds pour y rester.

Les plus connus des poissons anadromes sont les Lamproies, les Esturgeons, les Aloses et les Gaspereaux, et la plus grande partie des Salmonides. Nous ne pouvons entrer ici dans le détail de leurs mœurs; la vie des Saumons est en particulier si bien connue que les livres qui s'y rapportent constitueraient à eux seuls une bibliothèque.

Les théories sur l'anadromie

Les causes de l'anadromie ont fait l'objet de nombreuses théories. Elles se classent en deux groupes : celles qui donnent le rôle principal aux facteurs externes, et celles qui en recherchent la cause dans des facteurs internes, c'est-à-dire dans l'organisme même du poisson.

Pendant très longtemps, on a considéré que les reproducteurs ayant le ventre distendu par les œufs et les laitances se mouvaient avec peine dans les eaux denses et salées et cherchaient des eaux plus légères pour évoluer sans effort. Cette supposition est valable, mais on peut se demander pourquoi tous les poissons ne sont pas devenus anadromes. On a aussi attribué l'origine de l'anadromie à la concurrence vitale et au besoin de sécurité; les poissons, trop nombreux aux temps géologiques sur un étroit plateau continental, recherchèrent dans les eaux douces un supplément de nourriture et y échappaient en outre à de dangereux prédateurs. Les partisans de l'influence des facteurs externes remarquent à juste titre que, sauf peut-être la Lamproie, tous les poissons à anadromie totale appartiennent à la faune des régions boréales. Dans celles-ci, les apports des grands fleuves, la fonte des glaces diluent largement les couches superficielles et le passage peut se faire aisément de ces eaux marines à faible salure vers les eaux douces. Ce serait peut-être l'arrivée périodique des eaux transgressives dans

les mers septentrionales qui auraient incité certaines espèces à se réfugier en eau douce. Cette théorie s'appliquerait à la fois à l'anadromie totale et partielle, l'amplitude du déplacement étant fonction de la tolérance de l'espèce aux variations de salinité.

Le Professeur Roule a mis en valeur le fait que les Saumons recherchaient avant tout les cours d'eau contenant beaucoup d'oxygène, et a fourni d'excellents exemples à ce sujet, mais on a objecté qu'il était bien étrange qu'un Saumon arrivé au pied d'une cascade où l'eau est à son maximum d'oxygénation fasse des efforts pour la franchir et pénétrer dans une partie du bassin fluvial où l'oxygène dissous est en quantité plus faible. Beaucoup de frayères se trouvent dans des endroits moins aérés que ceux que les Saumons ont traversés pour y parvenir.

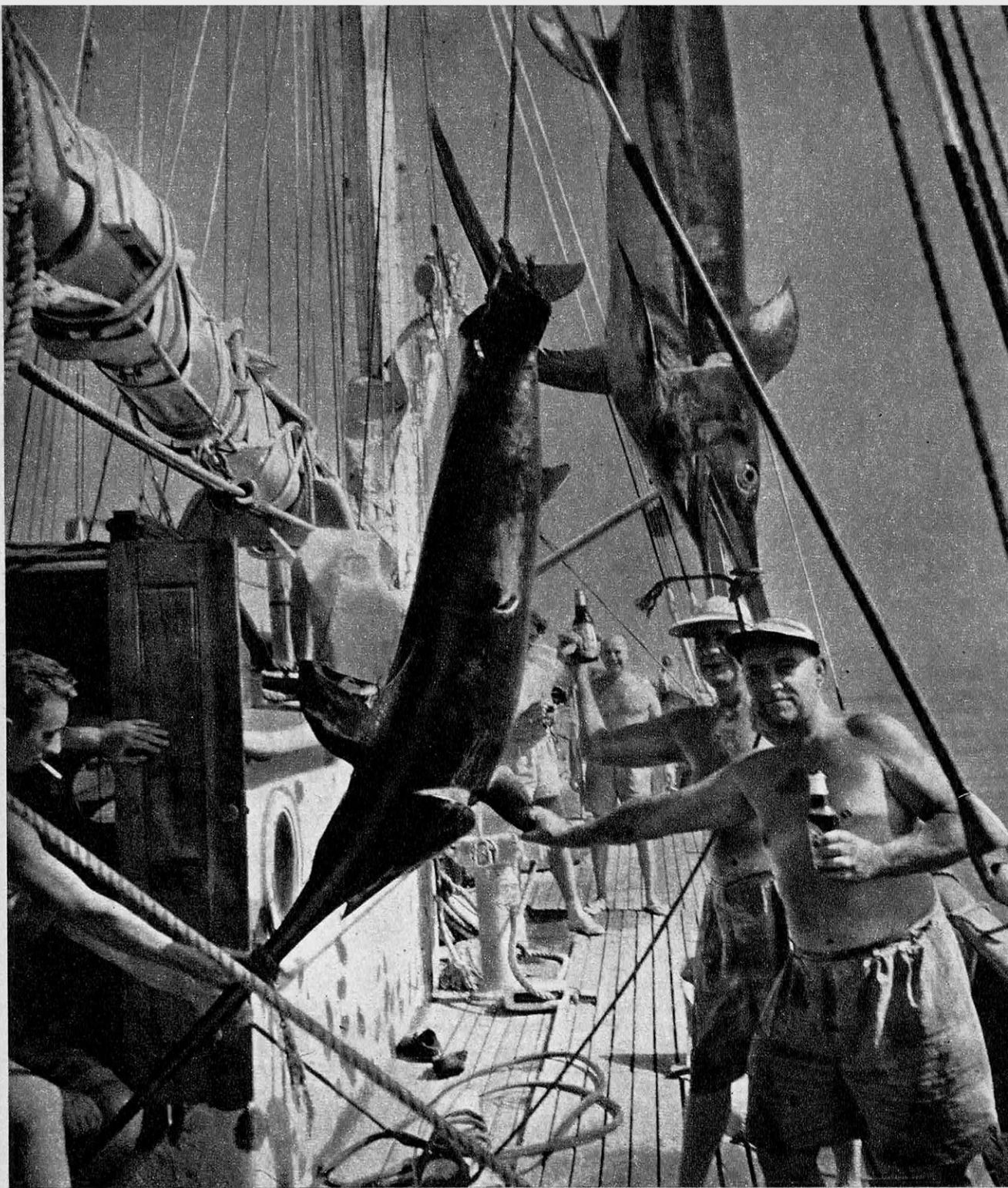
C'est au Professeur Fontaine surtout que l'on doit des études qui ont donné toute leur valeur aux facteurs internes, c'est-à-dire aux variations physiologiques du poisson. Au moment de la maturation sexuelle, les anadromes présentent une augmentation de concentration moléculaire de leur milieu intérieur qui les entraîne à rechercher un milieu hypotonique. Dans les eaux marines, ils sont littéralement déshydratés et hyperminéralisés; ils doivent rechercher les eaux douces. Fontaine suppose que cette perturbation dépend d'un mécanisme hormonal dérivant d'un complexe endocrinien. Arrivés en eau saumâtre, les poissons reprennent leur équilibre, mais subissent encore un dynamisme exagéré et c'est à cette énergie étrange qu'ils obéissent en luttant contre les courants, en sautant les cascades. Arrivés dans un milieu hypotonique il se produit un nouveau déséquilibre hydrominéral. Le poisson s'épuise en outre lors des actes sexuels, et cet épuisement peut aller jusqu'à la mort.

La valeur de la théorie des facteurs internes est indiscutable : mais il convient toutefois de considérer que les facteurs externes tels que les conditions physico-chimiques de l'eau de mer jouent aussi leur rôle pour déterminer la remontée anadromique.

Les migrateurs catadromes

La catadromie représente la forme migratoire de poissons passant leur phase de nutrition dans les eaux douces ou de faible salure et leur phase de reproduction dans des nappes marines de salinité élevée.

La catadromie partielle se rencontre dans de nombreuses espèces appartenant au type côtier ou au type néritique, par exemple le Rouget-barbet et la Dorade, ainsi que l'a



Deux espadons capturés près de Gibraltar

L'ESPADON est un des plus grands poissons actuellement connus ; il peut atteindre 6 m de long et peser plus de 500 kg. Il est pourvu d'un long rostre aplati comme une lame d'épée et de section ovale ; le poisson adulte ne possède pas de dents. L'espadon se rencontre dans toutes les mers tropicales et tempérées du globe ; les jeunes sont très abondants au large de la Sicile et l'espadon fait l'objet d'une pêche active, en général au harpon, tant en Méditerranée que sur les côtes est et ouest de l'Atlantique car sa chair est très appréciée.

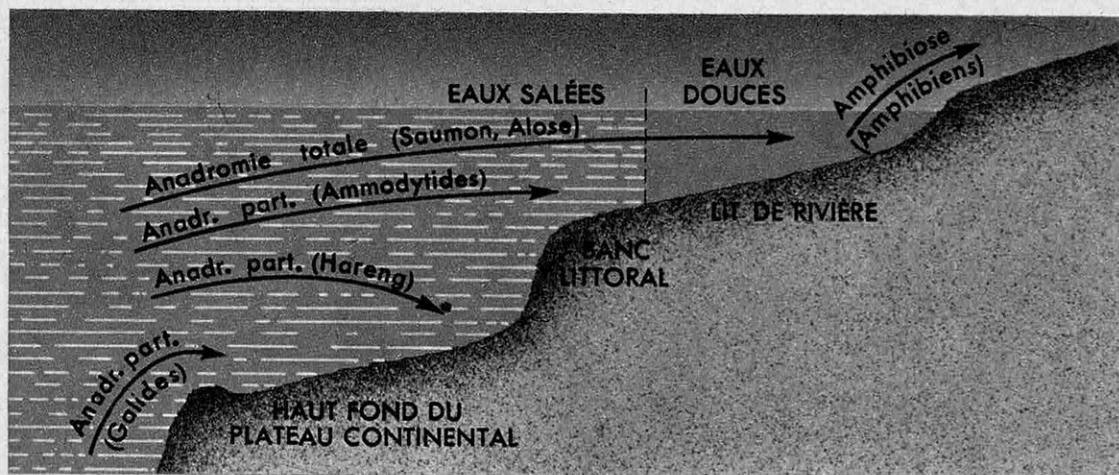


Schéma des variations anadromiques

La phase de nutrition prend place en principe dans la mer et la phase sexuelle en eau douce. Certaines espèces manifestent une tendance anadromique partielle, se rapprochant seulement des côtes pour pondre. Du point de vue général de l'évolution du règne animal, on peut rapprocher de l'anadromie l'amphibiose, considérée comme l'étape fondamentale de la conquête de la terre ferme par les vertébrés abandonnant le milieu aquatique.

montré P. Desbrosses, et plusieurs Pleuronectes, notamment la Plie. Les Sardines présentent aussi une catadromie partielle.

Les exemples de catadromie totale sont assez rares. Il faut cependant citer les Muges ou Mulets qui, en certains endroits, quittent les estuaires pour aller pondre en mer. Un poisson de Nouvelle-Zélande, le *Galaxias attenuatus*, effectue une catadromie annuelle et régulière : il quitte les rivières de janvier à mars pour aller se reproduire dans les eaux marines.

La biologie de l'Anguille

Mais le poisson catadrome par excellence est l'Anguille. A la suite des remarquables recherches de l'océanographe danois Johs. Schmidt, la biologie de ce poisson, longtemps mystérieuse, a été élucidée définitivement. On a construit un véritable roman de l'Anguille qui a passionné le monde scientifique et même le grand public ; la catadromie y joue un rôle important, mais elle ne représente qu'un chapitre de ce roman dans lequel on peut reconnaître plusieurs éléments.

Les Anguilles, poissons très voraces, vivent dans les eaux douces et arrivent à y atteindre de grandes tailles. Les mâles ne dépassent pas 50 cm, mais les femelles peuvent mesurer 1,50 m. Le besoin de quitter leur centre de nutrition se fait sentir après cinq ou sept années de vie passées dans les eaux douces.

Alors commence la descente catadro-

mique. Par tous les moyens, les Anguilles veulent gagner la mer ; le plus mince filet d'eau, la rosée du matin dans les champs, leur servent à gagner un cours d'eau. Dans les lagunes littorales se produit une transformation morphologique. Les Anguilles deviennent argentées et prennent la livrée pélagique avec un dos sombre et un ventre brillant ; les yeux grandissent ainsi que les narines ; les pectorales s'allongent. Il se produit une dégénérescence du tube digestif. Fontaine et Mlle Calamand ont montré que la raison physiologique de cette transformation était une sorte de déminéralisation. Pour procurer des ressources salines à son organisme, l'Anguille devient un poisson de mer.

Le grand voyage nuptial vers les profondeurs est un phénomène migratoire absolument comparable à celui que nous avons décrit dans la biologie du Thon blanc. Il se produit dans la même direction, vers la Mer des Sargasses ; tandis que les Germons suivent l'isotherme $+ 14^{\circ}$, les Anguilles doivent être guidées par un autre isotherme de température plus basse, tout au moins celles qui viennent du nord de l'Europe, peut-être l'isotherme $+ 8^{\circ}$ ou $+ 9^{\circ}$. C'est sans doute à quelques centaines de mètres au-dessous des Thons blancs que les Anguilles se reproduisent et meurent.

De l'œuf sort une larve très primitive, transparente, au corps aplati, chevronné par la succession des myomères, le *leptocephale*.

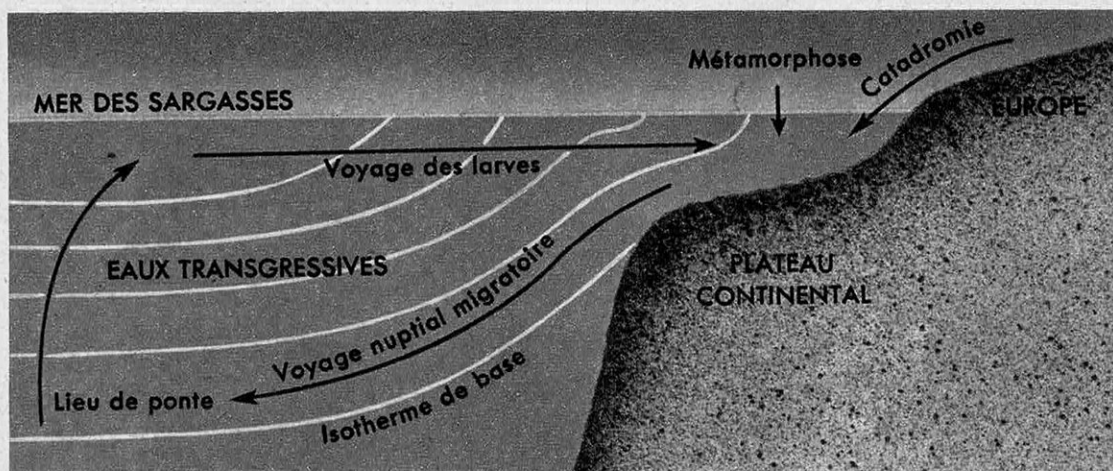


Schéma de la catadromie de l'anguille

La phase de nutrition a lieu dans les eaux douces et la phase sexuelle s'effectue dans la mer profonde ; le voyage obéit en outre à des lois biologiques strictes. La descente en eaux profondes suit une couche isotherme ou d'égale température. Les larves, dites leptocéphales, effectuent leur retour aidées par le mouvement des transgressions océaniques et se métamorphosent profondément dès leur arrivée sur le plateau continental.

C'est au Professeur Yves Delage que revient le mérite d'avoir découvert, en 1886, que les leptocéphales étaient les larves des Anguilles et des Congres. D'autres espèces de poissons possèdent des larves comparables, notamment les Tarpons et les Albulides. En Mer des Sargasses se reproduisent au même endroit l'Anguille d'Europe (*Anguilla anguilla*) et l'Anguille américaine (*A. rostrata*).

Du leptocéphale à l'Anguille

Il faut maintenant que ces leptocéphales regagnent les continents d'où leurs espèces sont originaires ; le trajet est assez court pour ceux de l'Anguille américaine et ils sont aidés dans leur voyage par le Courant de Floride. Mais les leptocéphales de l'Anguille d'Europe sont bien loin de leur destination et il faut que leur durée d'existence soit en rapport avec la longueur de cet immense parcours. Fage a insisté sur l'importance de cette durée de la vie larvaire en fonction de la distance entre l'aire de ponte et le lointain plateau continental où s'accomplit la transformation vers la forme adulte. Il faut qu'il y ait coïncidence au moment où se produit cette métamorphose avec l'arrivée sur le fond. La prolongation de l'existence larvaire détermine un métabolisme ralenti.

C'est en arrivant sur le plateau continental, au large des côtes d'Europe, que le leptocéphale change de forme. Au cours de son voyage, il avait lentement grandi et passé

des 15 à 20 mm qu'il avait en Mer des Sargasses à 75 mm. Il comptait alors déjà plusieurs années ; son transport avait été facilité par le mouvement des transgressions océaniques. En se transformant en *civelle* ou *pibale*, le leptocéphale perd 20 % de sa longueur et 80 % de son poids par suite d'un phénomène de déshydratation qu'a précisé Mlle Calamand. En masses énormes, les Civelles pénètrent, dans les nuits d'hiver par temps couvert ou orageux, dans les estuaires des fleuves. Les Civelles qui sont destinées à devenir des mâles ne s'éloignent guère de l'embouchure des rivières, ainsi que l'a démontré Gandolfi-Hornoyold, tandis que les futures femelles continuent leur montée dans le cours d'eau.

Les deux modes migratoires de reproduction, anadromie et catadromie, paraissent être en opposition formelle ; mais le but essentiel de ces formes de perpétuation des espèces est d'assurer la sécurité des œufs et surtout de placer l'alevin nouvellement éclos dans un site où il effectuera son développement dans les conditions les plus favorables, avec de l'oxygène et du soleil. Dans les poissons marins, présentant une anadromie partielle, ce résultat est atteint par le grand effort que font les reproducteurs pour remonter près des côtes et venir pondre leurs œufs sur le fond dans les eaux claires et légères de faible profondeur. Dans les espèces à catadromie partielle, les parents descendent un peu vers le fond, mais leurs œufs sont pélagiques et



Quelques formes curieuses de poissons vivant da

LE *Nemichthys* (1) est un poisson aux mâchoires formant un bec grêle, qu'on trouve vers 1 000 m. Le *Chauliodus* (2) vit sur le fond vers 500 m; le premier rayon de sa nageoire dorsale est un organe tactile. L'*Argyropelecus* (3), de la même famille

que le *Sternoptyx* (4), a des yeux télescopiques et de grandes écailles verticales. L'*Idiacanthus* (5), vit vers 1 800 m dans l'Atlantique. Le *Stomias* (6) se trouve dans les golfes de Panama et de Guinée. Le *Linophryne* (7), poisson abyssal comme le *Lasio-*



ns les eaux profondes

gnathus (8) possède un barbillon très ramifié. L'Eustomias (9) porte un barbillon allongé et, comme plusieurs des espèces précédentes, des organes lumineux. L'Eurypharynx (10) a la gueule béante comme un gouffre où s'engloutissent des proies parfois énormes.

remontent en surface pour trouver lumière et chaleur. Ainsi le résultat désiré est obtenu par ces deux comportements si différents.

Les poissons des grandes profondeurs : Poisson violet et noir

Les poissons dits bathydémersaux mènent une existence analogue à ceux du type démersal, mais plus profondément sur la pente continentale et dans les plaines océaniques. Ils vivent près du fond et leur coloration générale s'allie à la couleur des vases dans un violet brunâtre. En zone semi-abyssale, jusque vers 1 000 m, la majorité des espèces possède des yeux bien développés, parfois même télescopiques.

Plus profondément, on trouve des formes aveugles mais dotées par contre de longs appendices tactiles, filamenteux, qui prolongent les nageoires. Nous citerons en particulier pour cette zone les étranges Poissons Holocéphales, les Chimères, à museau gélatineux proéminent et à queue effilée; ce sont des ovipares avec un dimorphisme sexuel bien marqué. La famille la plus importante est celle des Macroures dont la silhouette rappelle vaguement celle des Chimères, mais ce sont des poissons osseux apparentés aux Gades.

Les poissons dits « bathypélagiques » occupent la masse des eaux profondes; leur coloration est sombre, presque noire; leur corps est dépourvu d'écailles; sur la tête et sur les flancs brillent des organes lumineux ou photophores dont la disposition est caractéristique des espèces. Par suite de la quantité très limitée de calcaire dans les eaux profondes, le squelette des formes bathypélagiques a pris une consistance fibreuse. Les Myctophides, répandus dans toutes les mers, ont la forme de poissons pélagiques et vivent par bancs serrés et nombreux. La famille des Stomiatides est célèbre par les proportions inusitées de leur gueule énorme. Les Cératides, qui pourraient être considérées comme parents des Baudroies, sont remarquables par le grand filament qu'ils portent en avant des yeux et à l'extrémité duquel se trouve un organe lumineux de grande taille.

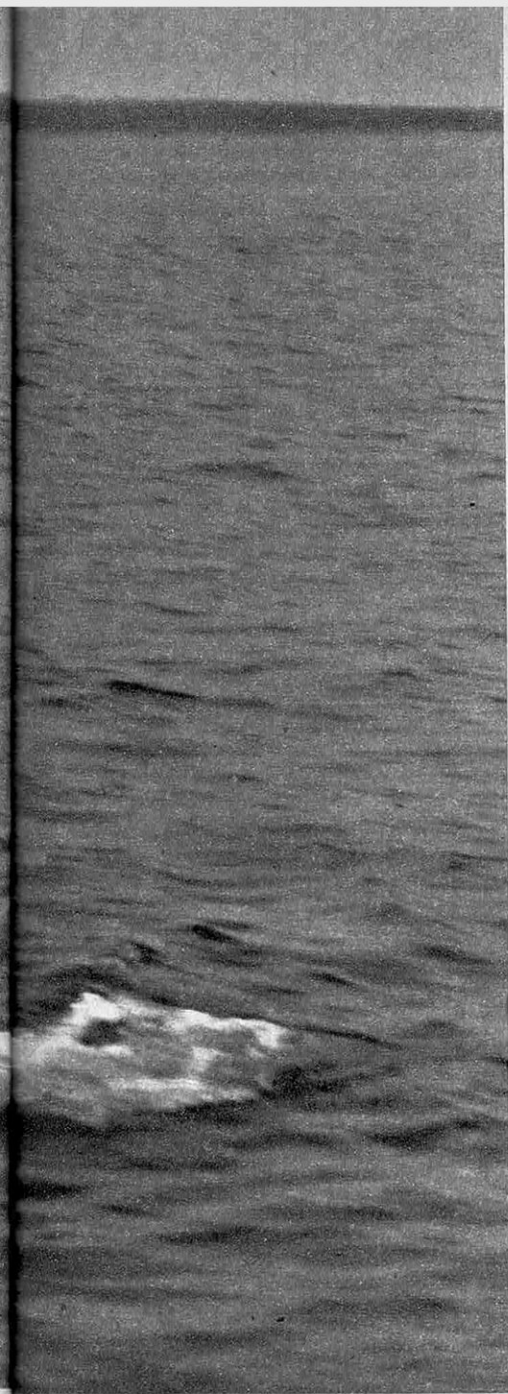
La faune des profondeurs révélée par les grandes croisières océanographiques de la fin du XIX^e siècle est de mieux en mieux connue et les explorations futures des bathyscaphes rendront familières ces formes étranges des poissons qui vivent dans la nuit froide des abysses.

Ed. LE DANOIS
de l'Académie de Marine



Ph. Hahn, Woods Hole

On commence à peine à connaître
Migrations des



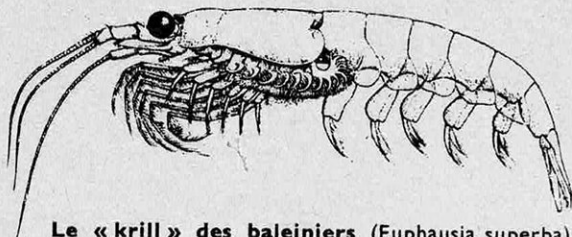
← Ayant respiré en surface, un Mégaptère « sonde », ainsi dit-on quand il plonge, agitant dans l'air sa large nageoire caudale

NOS connaissances relatives aux migrations effectuées par les grands Cétacés, et particulièrement par les Baleines, sont d'acquisition récente. Elles ne remontent pas au-delà d'une cinquantaine d'années, et ont commencé à se développer lorsque les moyens de l'industrie baleinière moderne, canon lance-harpon et navire-usine, ont remplacé les vieilles techniques décrites dans « Moby-Dick », et que l'on utilise encore, d'ailleurs, aux Açores. En fait, l'invention du canon lance-harpon par le Norvégien Svend Foyn, en 1869, marque le début de l'ère baleinière moderne, et aussi celui des études et des recherches grâce auxquelles Baleines et Cachalots ont quelque peu perdu du mystère qui enveloppait jusque-là leur existence. Tous les problèmes ne sont pas encore résolus, bien loin de là. Mais on a commencé à élucider quelques-uns d'entre eux. Celui des déplacements réguliers, ou migrations, est de ceux-là.

Il existe une carte, établie en 1875-76 par la U.S. Fish Commission Report, qui indique les terrains de chasse baleiniers (whaling grounds) fréquentés en 1875, et ceux qui ont été abandonnés avant cette date. Les anciens baleiniers à voiles recherchaient les Cachalots, les Baleines franches, et les Mégaptères ou Jubartes; aussi ce document montre-t-il précisément que les voiliers de Nantucket et de New-Bedford fréquentaient régulièrement les régions tropicales pour les Cachalots et les Mégaptères, et que dans l'Arctique: Groenland, détroit de Bering, ils allaient chercher les Baleines franches. L'Antarctique n'était à peu

entre les

grands cétacés



Le « krill » des baleiniers (*Euphausia superba*), crustacé d'environ 5 cm, dont se nourrissent à peu près exclusivement les Cétacés de l'Antarctique.

près pas fréquenté, sauf la région des Kerguelen, des Crozet, et un peu au sud du Cap Horn, mais presque à le toucher. Les Américains n'étaient pas seuls, d'ailleurs, à connaître ce dernier lieu de chasse, comme en témoigne la vieille chanson à hisser qui, avant de retentir à bord de nos derniers long-courriers, avait sûrement été entonnée maintes fois par les baleiniers du « pèr' Lancelot » :

Au Cap Horn il ne fera pas chaud
Haul away, hé ! Oula tchalez !

A faire la pêche au cachalot...

Nous verrons tout-à-l'heure pourquoi on chassait le Cachalot, Cétacé des mers chaudes, dans les parages glacés du Cap Horn.

Cette recherche du « gibier » : Cachalot, Baleine franche, Mégaptère, ne se faisait pas tout à fait au hasard ; les capitaines baleiniers savaient, d'expérience, que telle Baleine pouvait se trouver à tel endroit, qu'il rencontrerait des Cachalots aux Açores, par exemple, et des Baleines franches dans l'Arctique. Mais il y avait, dans le succès d'une expédition baleinière, une très large part de hasard. Aussi les campagnes des baleiniers à voiles étaient-elles souvent fort longues : jusqu'à quatre ans avant que le navire, ayant fait son plein d'huile, ne rentre à son port d'attache. C'est ce qui contribuait à faire des baleiniers, capitaines, officiers, harponneurs et matelots, une population maritime vraiment à part et remarquablement pittoresque.

La transformation radicale de l'exploitation des grands Cétacés est due aux marins norvégiens, qui sont les véritables créateurs de l'industrie baleinière moderne. C'est à eux que l'on doit d'abord la mise au point du matériel de capture et d'exploitation ; c'est leur canon lance-harpon qui a permis de s'attaquer aux grands Baleinoptères qui étaient jusque-là restés hors de la portée du harpon à main. Enfin, ils ont placé l'industrie baleinière sur son plan actuel en prospectant l'Antarctique, et en faisant de cette région peu connue des baleiniers du XIX^e siècle le véritable centre de capture des grands Cétacés. Tous ces progrès techniques ont été accompagnés de progrès scientifiques, et

c'est grâce au développement de la chasse que la biologie des Baleines et des Cachalots commence à être connue, et que l'on a pu dévoiler nombre de faits que ne pouvaient connaître les contemporains de Melville.

La Baleine n'erre pas à l'aventure

Tout d'abord, il faut abandonner l'idée que les Baleines errent dans les Sept-Mers un peu à l'aventure, et qu'un individu donné peut, au gré de sa fantaisie, traverser l'Atlantique du Groenland à la Terre de Feu, et si cela le tente, se rendre ensuite en Australie ou au Japon. Rien n'est plus faux, et l'une des constatations les plus surprenantes qui aient été faites au cours de ces dernières années est justement que les Baleines restent, toute leur vie, fidèles à des régions bien délimitées, dont elles ne sortent que très exceptionnellement. Ce sont naturellement des régions très vastes, à l'échelle planétaire, et dont nous allons, à grands traits, prendre la mesure.

On a cru longtemps que, d'abord pourchassées par les baleiniers dans l'hémisphère Nord, les Baleines s'étaient réfugiées dans l'Antarctique — où les hommes du harpon n'avaient pas tardé à les retrouver.

Il apparaît maintenant, qu'il existe deux populations, l'une appartenant à l'hémisphère Nord, l'autre à l'hémisphère Sud, et que ces deux groupes ne se mélangent pas. La population baleinière antarctique peut y être considérée comme autochtone en quelque sorte, et de toutes façons elle ne représente nullement la descendance d'individus nordiques ayant émigré il y a une cinquantaine ou une soixantaine d'années pour fuir les eaux groenlandaises ou norvégiennes. Il y a toujours eu des Baleinoptères dans l'Antarctique ; mais comme cette région (que nous définirons tout à l'heure) est infiniment plus vaste que l'Arctique et plus difficilement accessible, il a fallu attendre le développement du navire-usine baleinier de très gros tonnage pour pouvoir en entreprendre l'exploitation. L'industrie a alors pu apporter à la recherche scientifique tous les puissants moyens dont elle disposait ; de plus, les océanographes ont été en mesure, grâce à des navires spécialisés, tels que les deux *Discovery*, le *William Scoresby*, ou occasionnellement des chasseurs-baleiniers (l'*Enern*) spécialement affectés à ce travail, d'effectuer des campagnes scientifiques qui sont venues ajouter leurs résultats à ceux des biologistes et physiciens embarqués sur les navires-usines.

Il suffit de regarder un planisphère ou un globe terrestre pour constater que l'hémisphère Austral est l'hémisphère marin par

Les zones baleinières →

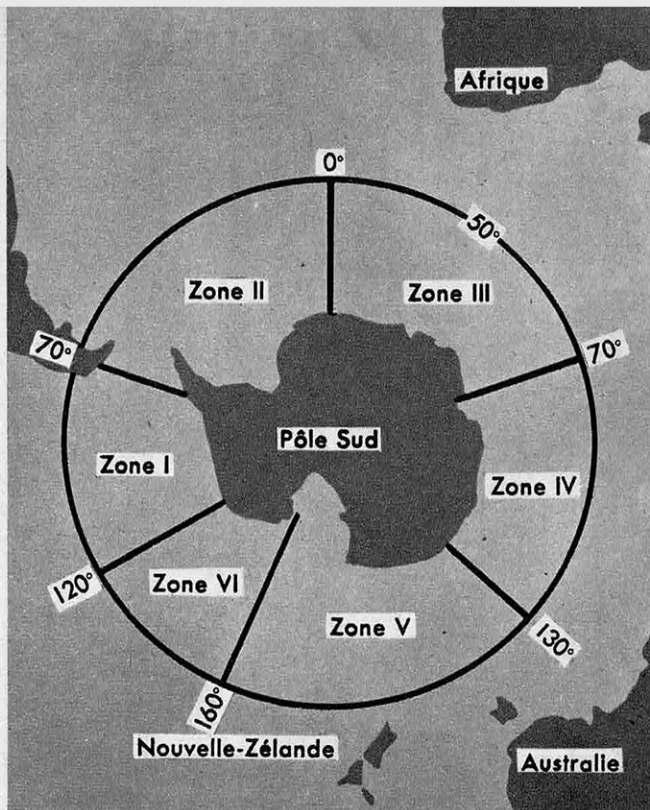
L'étude des migrations des Baleines a amené les biologistes à diviser l'Antarctique en zones où les mêmes troupeaux reviennent se concentrer pendant l'été austral après la migration de reproduction. Le passage d'une zone à l'autre est exceptionnel.

excellence, et qu'il se prête ainsi merveilleusement à l'étude des déplacements des grands Baleinoptères, dont la liberté de manœuvre n'est entravée par aucune des vastes masses continentales encombrant l'hémisphère Nord. Le rythme migratoire des grands Cétacés a donc pu être étudié à loisir, et on a d'abord établi que les Baleines (on devrait dire « Baleinoptères », mais l'usage s'est établi d'employer indistinctement les deux termes) ne restaient pas en permanence dans l'Antarctique, mais effectuaient tous les ans un déplacement vers les eaux plus chaudes des régions tropicales et sub-tropicales.

Les frontières de l'Antarctique

Il faut d'abord définir ce qu'on appelle l'Antarctique, abréviation de l'Océan Antarctique. Il n'est pas toujours facile de délimiter les frontières d'un océan. Par exemple, où s'arrête l'Océan Indien ? Où commence l'Océan Austral ? Et le Pacifique ? Ce sont des problèmes que les géologues, les océanographes, les hydrographes et les cartographes s'efforcent de résoudre en faisant intervenir soit de simples lignes : latitudes et longitudes, soit la projection, à la surface de la mer, du tracé des principales crêtes sous-marines.

Pour l'Antarctique, largement ouvert sur tous les océans situés au Nord, une autre notion a été prise en considération : la *convergence*, c'est-à-dire la région où l'on constate une subite augmentation de température, de l'ordre de 2 ou 3 degrés, en allant du Sud vers le Nord. En fait, il existe une *convergence antarctique*, et une *convergence sub-tropicale*, faisant toutes deux le tour du continent antarctique. Les océanographes ont choisi pour limite Nord de l'océan Antarctique la *convergence sub-tropicale*, qui se situe aux environs de 40° de latitude Sud ; et, pour simplifier, c'est le quarantième degré Sud qui a été choisi par les baleiniers et les cétologues comme frontière de ce qu'il est convenu d'appeler l'Antarctique. Dans tous les textes baleiniers actuels, le mot « Antarctique » englobe tous les océans, toutes les mers situés entre le continent Antarctique et 40° Sud. C'est, dans une certaine mesure, une convention, mais une convention commode,



car la convergence sub-tropicale, d'une part ne suit pas rigoureusement ce parallèle, et, d'autre part, constitue plutôt une zone qu'une ligne continue ; elle s'interrompt d'ailleurs dans le Pacifique Sud.

Ce que mangent les Baleines

Cela étant posé, le schéma du rythme annuel des Baleinoptères s'établit ainsi :

Pendant l'été austral, c'est-à-dire de novembre à avril, les Baleines s'assemblent dans l'Antarctique, tel que nous venons de le définir, car c'est là que se trouvent, rassemblées en bancs immenses, des crevettes pélagiques que les zoologistes ont nommées *Euphausia superba*. C'est le « krill » des baleiniers, la véritable « nourriture de baleine », comme on l'appelle aussi quelquefois. Le « krill » est d'ailleurs, suivant l'heureuse expression du Dr Fraser, du British Museum of Natural History, l'organisme-clef de la vie animale dans l'Antarctique, la provende de plusieurs espèces animales, au premier rang desquelles figurent les Baleinoptères.

Les bancs de « krill » groupent des millions d'individus et se tiennent dans des eaux dont la température est comprise entre $-1,75^{\circ}\text{C}$ et $-1,96^{\circ}\text{C}$; ces conditions se trouvent réalisées vers 50° ou 60° Sud ; la densité des bancs est optimum jusqu'à 10 m de profondeur, et va en diminuant jusqu'à

une centaine de mètres. Naturellement, ces bancs ne sont pas uniformément répartis, aux latitudes indiquées, tout autour du continent antarctique. Il y a des régions vides, et d'autres fort riches; ces crevettes recherchent elles-mêmes des Diatomées, et la présence de ces dernières (qui sont des algues microscopiques) détermine celle du « krill », puis celle des Baleinoptères. On peut observer ici qu'en l'occurrence, la chaîne alimentaire est remarquablement courte : Diatomées — Crevettes — Baleines. C'est un fait assez remarquable que les plus gros animaux marins sont en général planctonophages : le Requin-Baleine, le Pèlerin, la Raie Manta, qui sont les géants des poissons, obéissent à cette règle.

Pendant tout l'été austral, les Baleines restent donc dans l'Antarctique, et s'y nourrissent de façon à peu près continue, absorbant des quantités de krill qu'il est difficile d'évaluer, mais qui sont certainement considérables. On sait comment se nourrissent les Baleines : avançant, la bouche ouverte dans le banc de « krill », le Cétacé engloutit une masse de crevettes et d'eau; puis par l'action de la langue et par des contractions musculaires, l'eau est expulsée et s'écoule à l'extérieur par la « grille » que constituent les fanons, qui agissent, avec leurs fibres internes, comme un filtre très efficace. Lorsqu'il ne reste plus dans la cavité buccale qu'une masse de « krill » bien essorée, la Baleine la déglutit et recommence l'opération. Il peut arriver qu'un poisson se trouve parmi la bouchée de crevettes. Certains Baleinoptères, comme la « Sei-Whale », consomment même régulièrement des alevins ou de très petits poissons, quand l'occasion s'en présente. Mais on peut considérer avec certitude que le plat pour ainsi dire unique des Baleinop-

tères est constitué de « krill ». D'ailleurs, le gosier de ces gigantesques animaux serait trop petit pour laisser passer des proies volumineuses : chez un Rorqual commun, son diamètre est de l'ordre de 10 à 12 cm.

La migration de reproduction

Lorsque la mauvaise saison approche, en avril (n'oublions pas que nous sommes dans l'hémisphère Sud), les Baleines se mettent en route, vers le Nord, laissant derrière elles les tempêtes, le gel, le mauvais temps du terrible hiver polaire. Elles remontent vers les eaux plus tièdes des zones tempérées, et même plus loin, jusqu'au tropique du Capricorne et à l'équateur. Ce n'est pas uniquement pour fuir le froid qu'elles entreprennent ainsi ce long déplacement : c'est pour effectuer leur migration de reproduction.

A partir de ce moment, les Baleines ne s'alimentent plus guère. D'abord, les eaux tropicales sont très pauvres en nourriture pouvant leur convenir; et aussi, sans doute, l'exercice de leur nouvelle fonction : assurer la pérennité de l'espèce, leur émousse-t-il l'appétit. La chose est fréquente chez les migrateurs marins. Quoi qu'il en soit, pendant toute la période de reproduction, les Baleines harponnées par les chasseurs tropicaux ont toutes l'estomac vide; elles vivent sur les réserves emmagasinées lors de leur saison dans l'Antarctique.

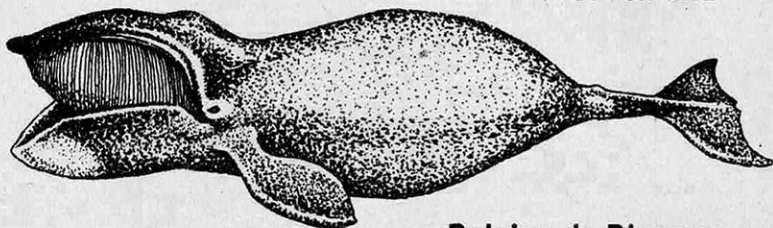
Les Baleinoptères sont monogames, et on les rencontre assez souvent par couples, au large des côtes d'Afrique, de juin à octobre (1). Puis, au printemps austral, ils reprennent la route du Sud pour retrouver, dans cette

(1) Pour des précisions supplémentaires en ce qui concerne la Biologie des grands Cétacés, cf. « Baleines et Baleiniers », Horizons de France, Paris 1957.

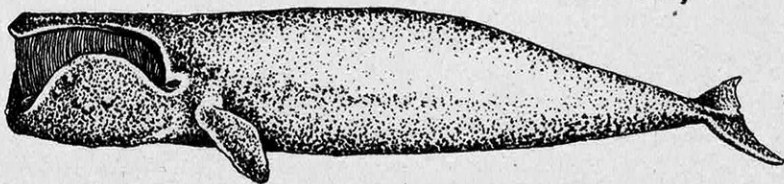
● *Balæna mysticetus* et *Eubalæna glacialis* (ci-dessous) sont deux espèces de Baleines franches, sans aileron dorsal ni sillons ventraux. Les fanons peuvent dépasser 3 m. La longueur maximum est 18 m. La Baleine du Groenland habite les régions arctiques qu'elle ne quitte pas.

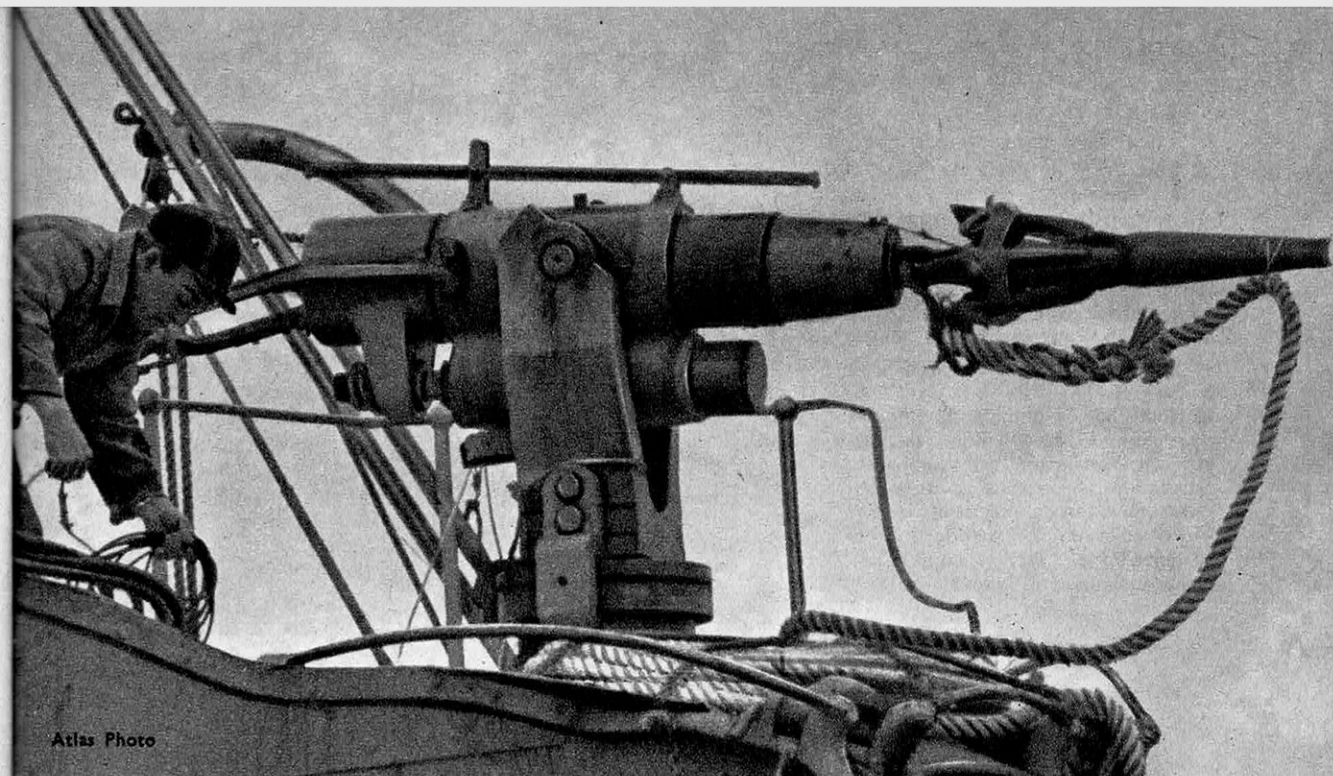
● Elle est appelée aussi « Baleine des Basques » qui la chassaient il y a plusieurs siècles. C'est la « Baleine noire » des Anglais. Les deux grandes espèces de Baleines franches, exterminées par les Baleiniers, sont devenues très rares et la chasse en est absolument interdite.

Baleine du Groenland



Baleine de Biscaye





Atlas Photo

Le canon-harpon à l'avant du baleinier danois Sonja-Kaliktok

immense salle à manger, les inépuisables stocks de « krill » qui permettent à la future mère de famille de se sustenter en vue de « l'heureux événement ». Celui-ci se produit pendant la migration suivante, alors que les Baleinoptères se retrouvent dans des eaux tièdes ou chaudes. Et c'est là une condition essentielle, car à sa naissance, le baleineau ne possède qu'une très mince couche de lard, et si son premier contact avec le monde extérieur avait lieu dans les eaux glacées de l'Antarctique il aurait manifestement peu de chances de survivre. La période de gestation

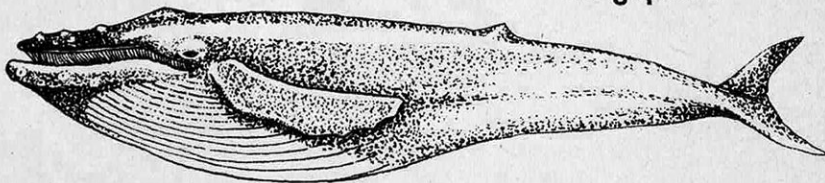
est donc de 10 à 12 mois, suivant les espèces.

Il est donc déjà acquis que le rythme alterné des migrations Sud-Nord et Nord-Sud conduit les Baleines à fréquenter pendant quelque six mois les eaux de l'Antarctique, et pendant six autres mois les eaux tièdes ou chaudes des mers tempérées ou tropicales. Mais il y a plus précis encore : les Baleines ne vont pas au hasard, au cours de leurs migrations. On a pu établir qu'un troupeau de Baleines d'une région déterminée de l'Antarctique revient régulièrement à son point de départ après sa migration de reproduction

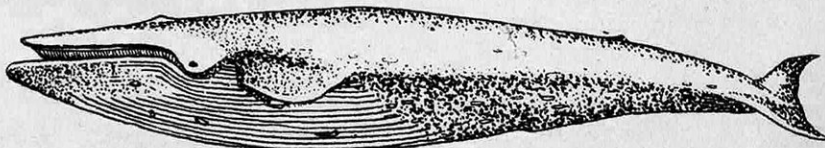
● Les Baleinoptères ou Rorquals sont, avec les Cachalots, à la base de l'industrie baleinière moderne. *Megaptera nodosa* a de longues nageoires pectorales et des nodosités sur la région céphalique. Ses migrations sont des plus régulières et ont été particulièrement bien étudiées.

● *Balænoptera musculus* est l'être le plus grand, le plus volumineux et le plus lourd qui ait jamais existé sur terre ou dans les mers. Il peut dépasser 27 m et 140 tonnes. L'ensemble du corps est uniformément gris bleuté avec parfois des taches claires réparties irrégulièrement.

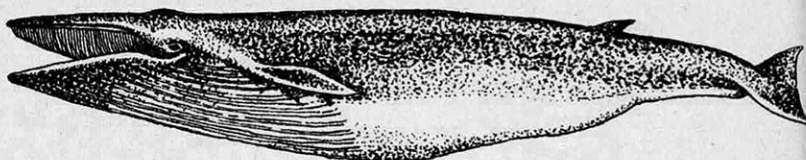
Mégaptère



Baleine bleue

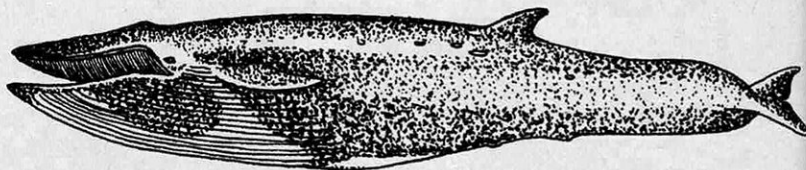


● Cette espèce, dont la longueur peut dépasser 20 m et le poids 60 t, constitue l'essentiel des captures dans l'Antarctique. *Balaenoptera physalus* est la « fin-whale » des chasseurs de baleines, cétacé à aileron triangulaire nettement plus accusé que chez la baleine bleue.



Rorqual commun

● Tous les baleiniers du monde l'appellent « sei-whale » et son aire de répartition est très vaste. *Balaenoptera borealis* mesure en moyenne 14 m de long et est le plus élancé et le moins massif de tous les baleinoptères. Il est beaucoup moins riche en huile que la baleine bleue.



Rorqual de Rudolphi

Sept Rorquals communs et une Baleine b

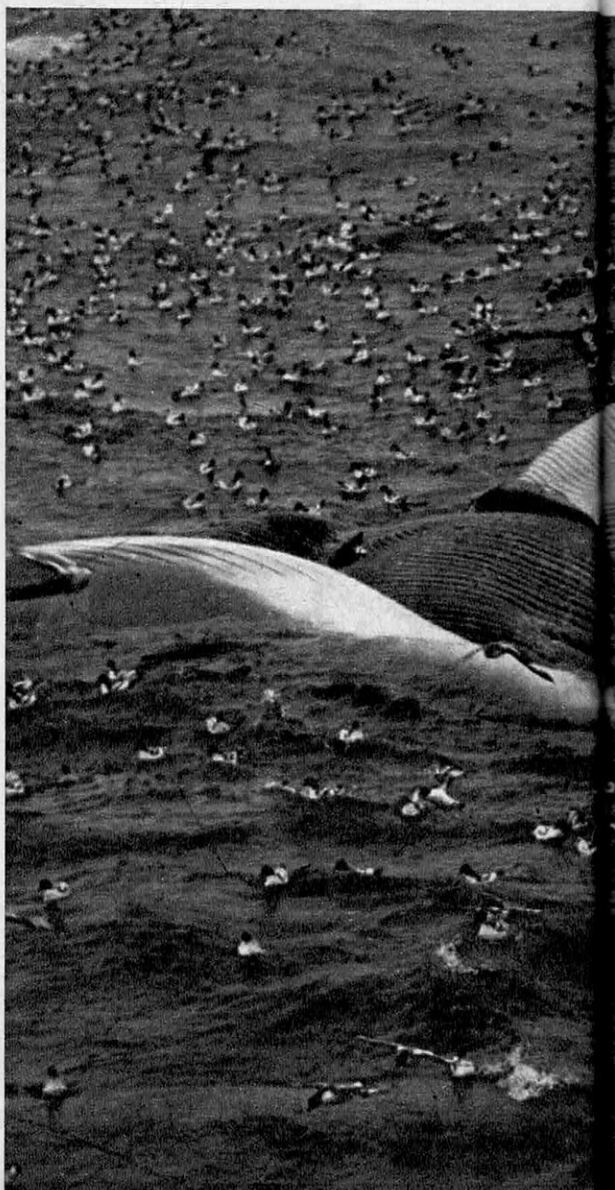
et que celle-ci s'effectue toujours dans la même direction. Ce fait est surtout remarquable chez les Mégaptères, qui fréquentent plus volontiers les côtes, tandis que les Baleines bleues et les Rorquals communs sont plutôt pélagiques. Ce fait a amené les biologistes norvégiens Hjort, Lie et Ruud, à diviser l'Antarctique en zones bien définies correspondant à la concentration des troupeaux de Baleines pendant l'été austral, et ce découpage a été rendu possible d'abord, et confirmé ensuite, par la pratique du marquage des Baleines.

Le marquage des Baleines

Marquer les animaux migrateurs est évidemment le procédé de choix pour étudier leurs déplacements, ainsi que leur croissance, leur longévité, etc. C'est la technique classique employée, par exemple, pour les oiseaux, par le moyen du baguage.

Pour des animaux aussi peu maniables que les grands Cétacés, il fallait trouver une technique appropriée. Après quelques années de mise au point, le matériel actuellement en usage et utilisé depuis 1932 donne toute satisfaction.

La « marque » est constituée par un simple tube, muni à son extrémité d'une tête en plomb, ayant la forme d'un tronc de cône. Long de 27 cm, d'un diamètre de 18,5 mm (le calibre 12), il porte, gravées sur le métal, les indications permettant de déterminer ensuite, lors de la récupération, le lieu et la date du marquage. Le tube a d'abord été confectionné en aluminium; mais ce métal s'est révélé trop sujet à la corrosion et



Atlas Photo

on utilise maintenant de l'acier inoxydable.

La marque est lancée soit au moyen d'un fusil calibre 12, spécialement fabriqué à cet effet par Holland et Holland, en Angleterre, soit encore par un tube réducteur introduit dans le canon lance-harpon. Le harponneur maniant alors un engin auquel il est parfaitement habitué, les résultats du tir sont excellents. Mais pour les petits bateaux de recherche, qui ne disposent pas d'un canon lance-harpon, le fusil reste une arme maniable, commode, et tout à fait satisfaisante.

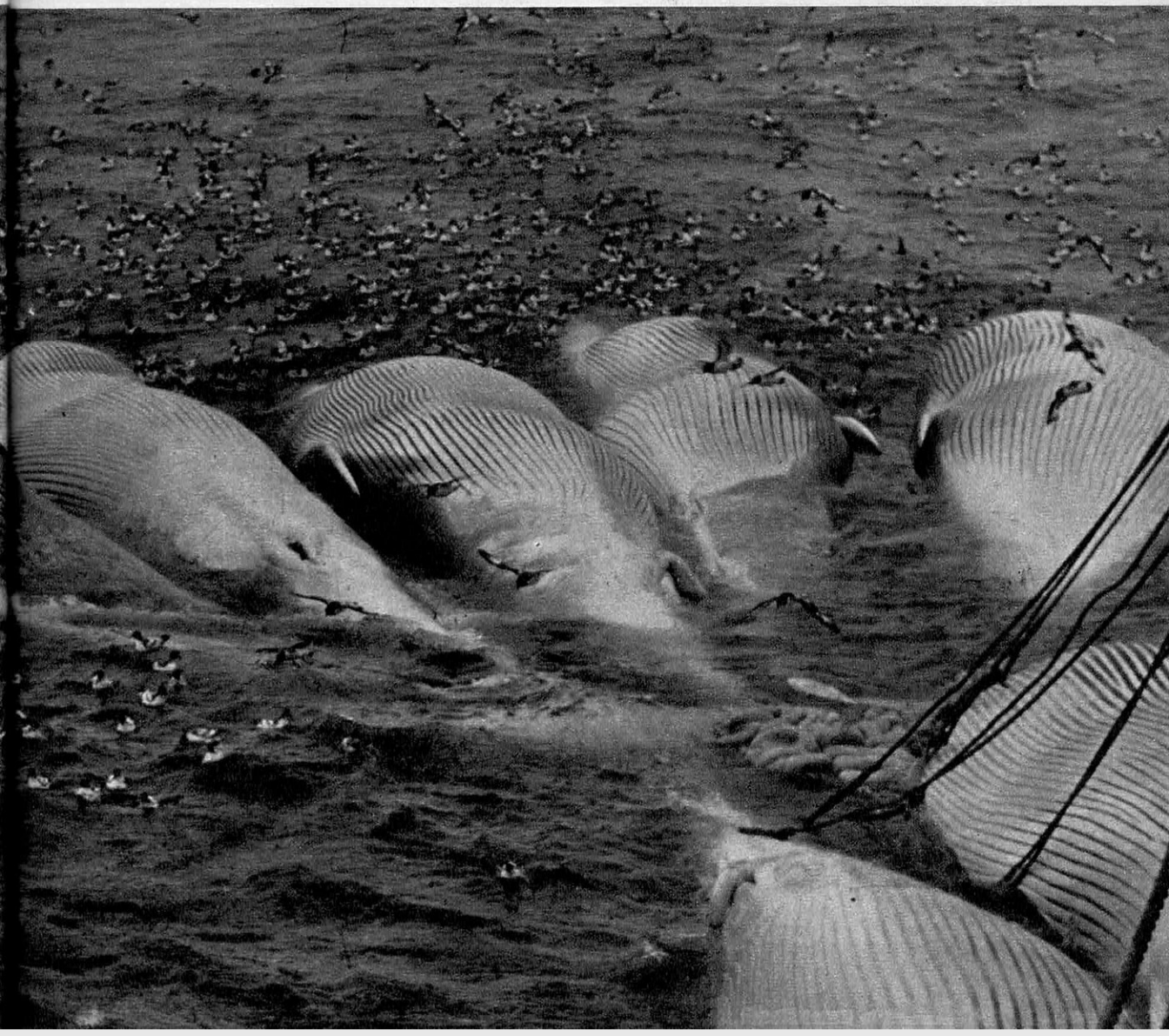
Il faut que la marque, traversant la couche de lard (le « blubber ») vienne se loger dans le muscle, où l'expérience a prouvé qu'elle

peut demeurer sans causer la moindre gêne à la Baleine.

Déjà avant la guerre, de 1934 à 1938, plus de 5 000 cétacés furent marqués dans l'Antarctique. En 1953, 317 marques avaient été récupérées, soit au dépeçage, soit trouvées dans les bouilleurs. Les indications gravées sur les tubes étant indélébiles, on conçoit que l'on puisse ainsi recueillir les plus précieuses informations.

Actuellement, le marquage des Baleines a pris une grande extension, et toutes les nations pratiquant la chasse pélagique dans l'Antarctique y participent régulièrement. De leur côté, les pays situés en zone tempérée apportent leur concours : ainsi l'Australie et la

beue sont amarrés à la poupe d'un bateau-usine et attendent d'être hissés sur le pont



Nouvelle-Zélande jouent un rôle important dans cette entreprise mondiale dont la France n'est pas absente : les laboratoires de biologie marine de Pointe-Noire, de Madagascar et de Nouméa sont dotés de matériel de marquage.

Tous les renseignements recueillis, toutes les marques récupérées sont centralisés par le *National Institute of Oceanography*, en Angleterre, qui en assure l'exploitation. Les observations les plus intéressantes peuvent être faites et l'on a déjà constaté à plusieurs reprises que la « dispersion » peut être très faible. S.G. Brown entend par ce mot (*dispersal*), la distance existant entre une Baleine capturée et l'endroit où elle a été préalablement marquée. Cet écart est parfois extrêmement faible. Ainsi un Rorqual commun (*B. physalus*), ou *Fin-Whale*, ayant reçu une marque en février 1935, fut capturé, en mars 1952, soit dix-sept ans plus tard, à moins d'un degré de longitude de l'endroit du marquage.

Cette technique est, sans aucun doute, le moyen le plus sûr de suivre les migrations des Baleines. Mais on a quelques exemples de marquage naturel, qui viennent d'ailleurs corroborer les résultats obtenus par celui de l'homme.

Le 12 février 1951, à bord d'un navire-usine norvégien opérant dans l'Antarctique, au sud des Orcades australes, les dépeceurs trouvèrent dans une Baleine bleue un morceau d'« épée » d'Espadon, mesurant plus de 30 cm de long, et profondément enfoncé dans le muscle dorsal. Or, l'Espadon est un poisson vivant exclusivement en eaux tropicales ou sub-tropicales; on sait qu'il lui arrive de foncer aveuglément sur des corps volumineux, tels que coques de navires, bateaux... ou grands Cétacés. C'est d'une attaque de ce genre dont la Baleine en cause avait été victime, et l'« épée » de l'Espadon cons-

tituait une véritable marque, témoignant que le Cétacé avait effectivement séjourné dans les eaux chaudes ou tempérées avant de revenir se faire harponner près des Orcades australes.

Un polygame : le Cachalot

Tout ce qui précède ne concerne que les Baleines proprement dites, en fait les Baleinoptères.

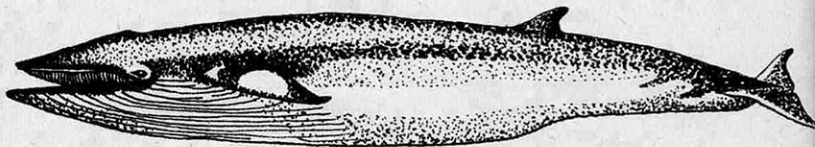
Il est un autre Cétacé de grande taille, dont les mœurs sont fort différentes de celles des Baleinoptères : le Cachalot.

On pourrait, par opposition aux Baleinoptères, définir le Cachalot : un polygame tropical. Alors que les Baleinoptères passent alternativement des mers chaudes aux mers glaciales, les Cachalots se cantonnent dans les régions tropicales; et une famille de Cachalots se présente comme un harem sur lequel règne un mâle dans la force de l'âge; sans doute aussi, autour de ce harem, viennent s'ébattre des célibataires impatients, et cela ne va probablement pas sans quelques conflits.

Toute cette troupe se déplace lentement, en été, vers les eaux tempérées, et on admet que la reproduction a lieu pendant cette sorte de migration, très peu accentuée d'ailleurs puisqu'elle est limitée sensiblement par 40° de latitude Nord et Sud. Notons, en passant, que chez les Cachalots, la gestation est notablement plus longue que chez les Baleines : elle dure 16 mois environ.

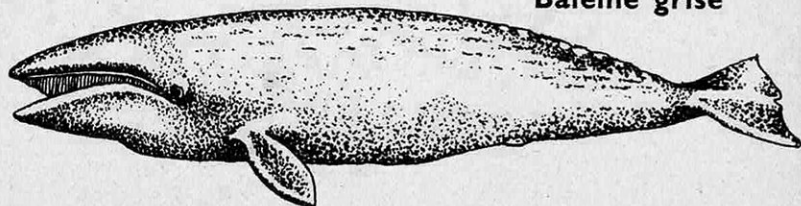
Pourtant nous avons vu que les Baleiniers d'autrefois allaient, au Cap Horn, faire « la pêche au Cachalot ». Et nous pouvons constater qu'il se capture tous les ans quelques milliers de Cachalots dans l'Antarctique jusqu'à la limite du pack. On en harponne aussi en Norvège, en Islande, sur la côte ouest du

● Il ne dépasse guère 9 m de long et est aisément reconnaissable à la bande blanche de ses nageoires pectorales. *Balaenoptera acutorostrata* n'est pas un gibier pour les grandes expéditions. Il n'en est pas moins chassé très activement, en particulier sur les côtes de la Norvège.

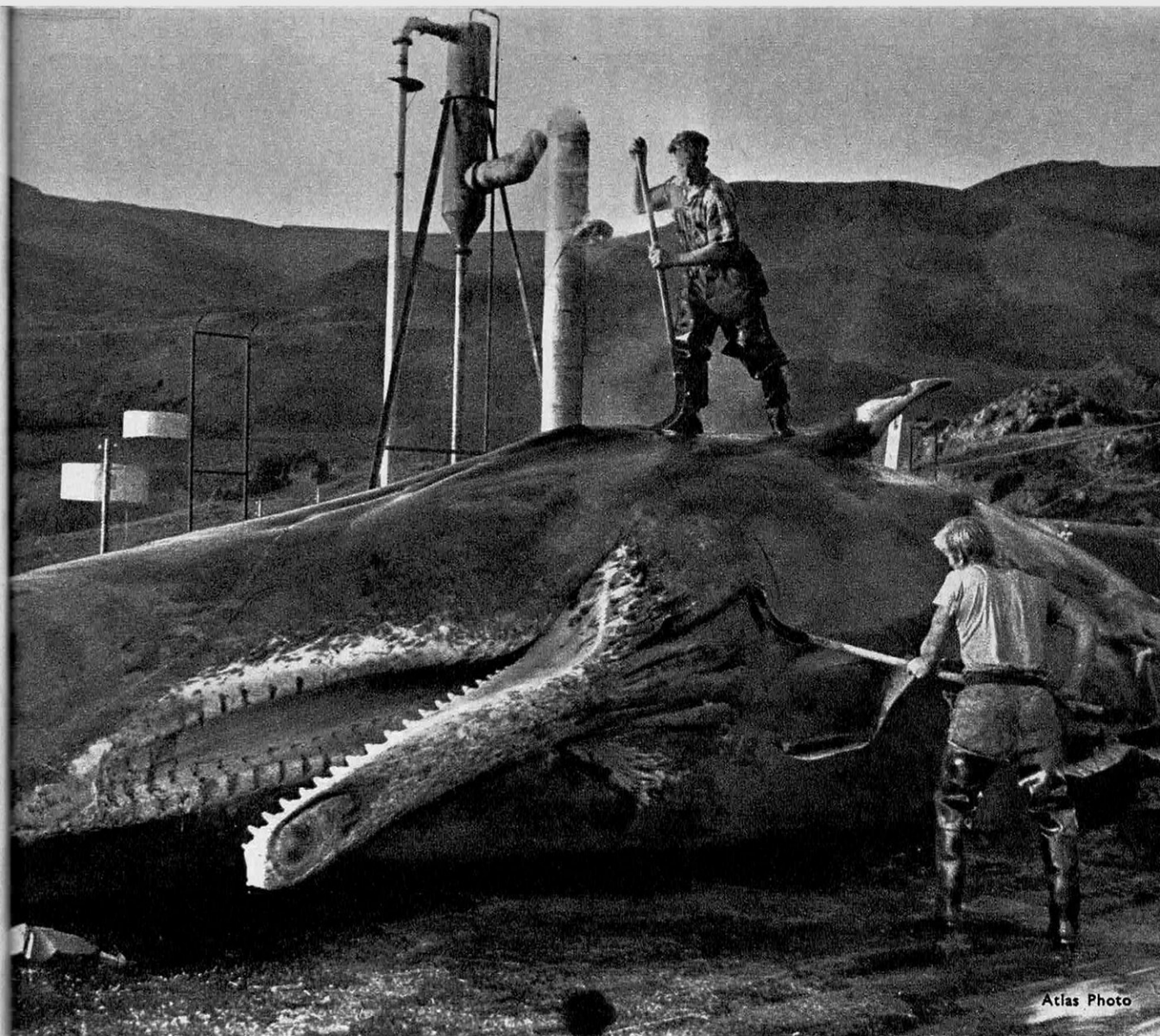


Petit Rorqual

● Cette espèce, *Rhachianectes glaucus*, possède des sillons ventraux comme les baleinoptères, mais pas d'aileron dorsal. Elle vit dans le Pacifique Nord où ses troupes étaient autrefois abondantes. C'est une espèce protégée et par conséquent sans intérêt économique.



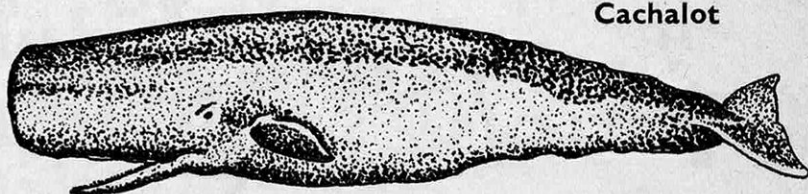
Baleine grise



Atlas Photo

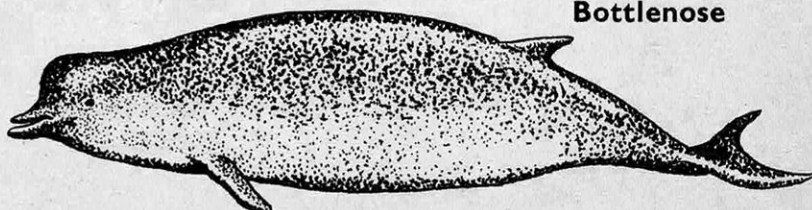
Découpage de la peau d'un Cachalot remorqué sur la plage à Hvalfjordur (Islande)

● C'est le seul Cétacé à dents qui intéresse l'industrie baleinière. Le *Physeter catodon*, qui peut atteindre 18 m de long et peser 60 t, porte ses dents sur la seule mâchoire inférieure. Son alimentation habituelle est constituée par des mollusques céphalopodes tels que les calmars.

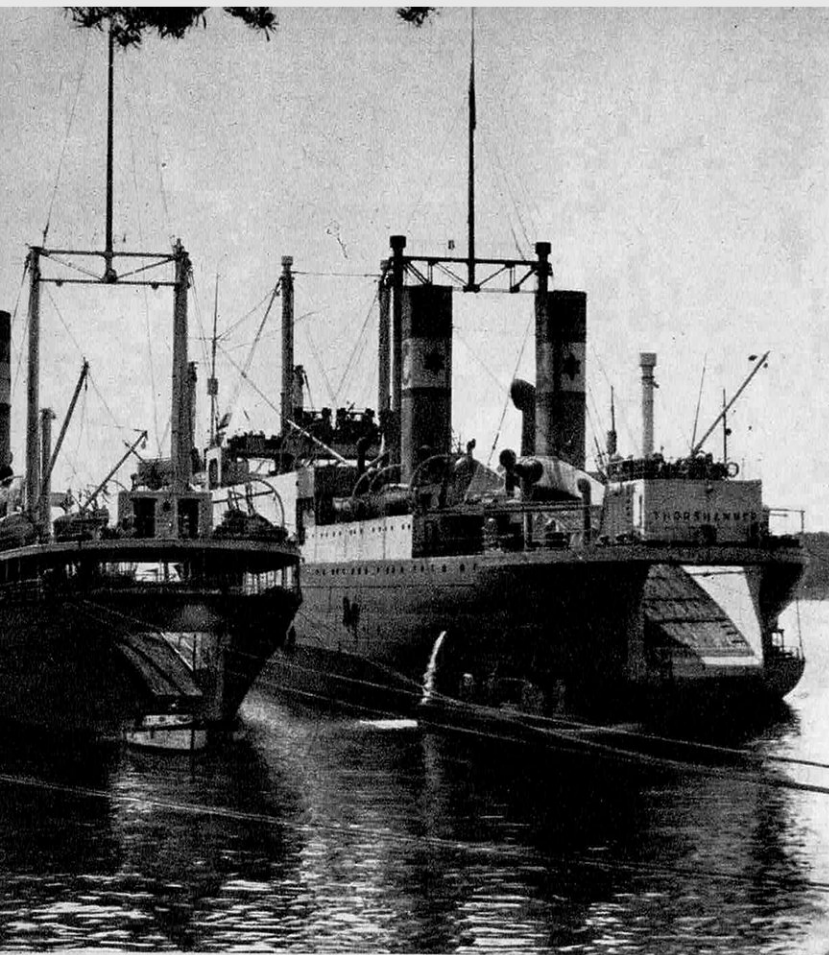


Cachalot

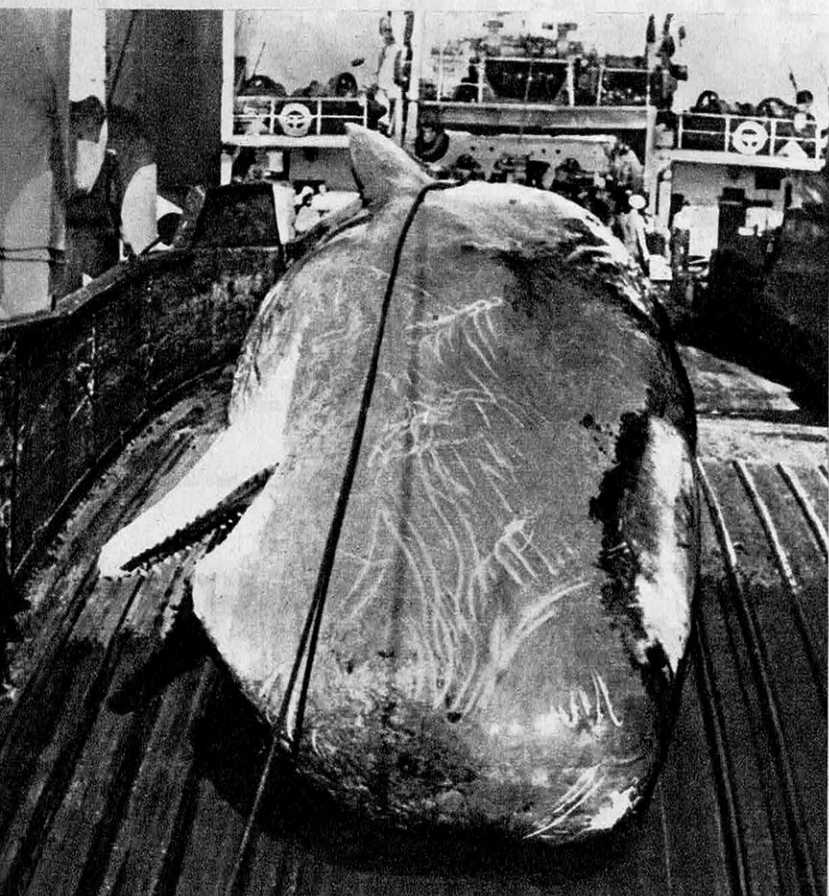
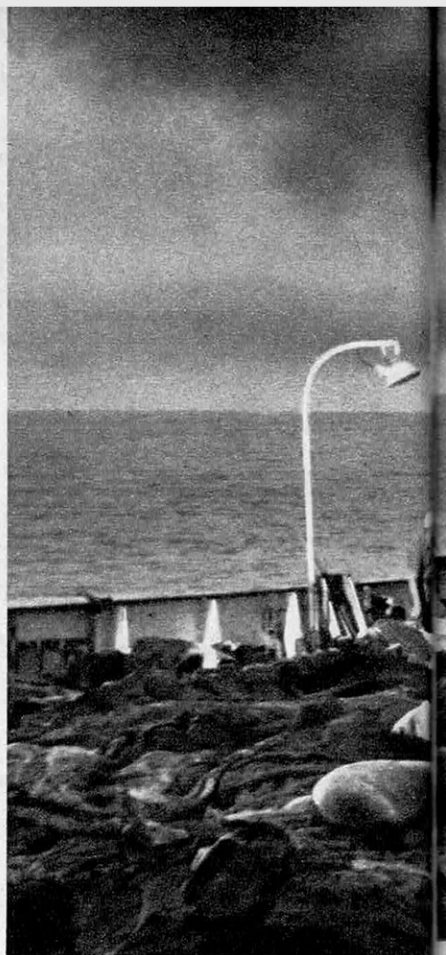
● Appelé parfois improprement « baleine à bec », l'*Hyperoodon rostratus* est en réalité un Dauphin, un Cétacé à deux paires de dents qui se nourrit surtout de seiches. Il ne donne guère lieu qu'à des captures de caractère artisanal et il arrive même qu'il s'échoue sur nos côtes.



Bottlenose



Atlas Photo



Navires-usines pour Cétacés

On voit en haut à gauche les navires-usines et chasseurs de baleines qui, après une campagne dans la mer de Ross, sont rentrés pour l'été à Søndefjord, port du sud de la Norvège qui est, avec Tonsberg, le port d'attache des baleiniers norvégiens opérant dans l'Antarctique pendant les mois de l'été austral. A gauche, le treuil puissant du navire-usine hisse un cachalot sur le pont de dépeçage où il va être découpé par des scies à vapeur pour passer, par morceaux, dans les chaudières. Un cétacé livre en moyenne une quinzaine de tonnes d'huiles diverses.



Groenland, dans les mers froides incontestablement. Mais tous ces Cachalots ainsi rencontrés loin des tropiques sont des mâles, et des mâles de grande taille, *sans exception*. Très probablement de vieux « harem bulls », de gros mâles ayant abandonné leur famille pour devenir solitaires, et qui vont ainsi faire retraite dans les eaux glacées de l'Arctique ou de l'Antarctique. On ne sait pas si, au bout d'un certain temps, ces gros Cachalots reviennent vers les tropiques, ou s'ils attendent que le canon d'un baleinier mette fin à leur existence.

Le schéma des migrations effectuées par les grands Cétacés est donc, et depuis relativement peu de temps, en place. Mais cela ne signifie pas que tout est dit sur ce sujet océanique par excellence. Et le cadre dans lequel évoluent ces énormes animaux n'est pas absolument rigide. Les méridiens délimitant les zones antarctiques ne constituent pas une infranchissable frontière. Il arrive que des individus appartenant à une zone déterminée fassent une incursion dans la zone voisine — le fait se produisant toujours dans

l'Antarctique, d'ailleurs, où les « frontières » se rapprochent nécessairement les unes des autres. Tout récemment, le cas a été constaté pour quelques Mégaptères d'Australie. Ce sont là des exceptions à une règle qui, dans l'ensemble, se vérifie. Les travaux de recherche se poursuivent d'ailleurs régulièrement, et chaque année apporte une contribution nouvelle à notre connaissance des migrations baleinières.

Dans l'hémisphère Nord, le même rythme se manifeste, mais de façon moins évidente, pour deux raisons : d'abord, les grands Cétacés y sont beaucoup moins abondants que dans l'hémisphère Austral ; ensuite, en raison de l'encombrement des espaces marins par les continents, les migrations sont moins apparentes et plus difficiles à déceler. Une espèce, même, était censée ne pas se déplacer : c'était la Baleine Franche du Groenland. Elle a été tellement pourchassée, jusqu'au XIX^e siècle, qu'elle est devenue extrêmement rare et ne peut donner lieu à aucune étude suivie.

Paul BUDKER

Sous-directeur au Muséum
National d'Histoire Naturelle.

Les navires de recherche

L'Océanographe n'a rien de commun avec ce géographe, décrit par Saint-Exupéry dans « Le Petit Prince », qui, se jugeant « trop important pour flâner » ne quittait jamais son bureau et se bornait à y recevoir les « explorateurs ». L'océanographe n'est pas seulement un homme de cabinet. C'est aussi un marin. Les expéditions en mer lui permettent, seules, de recueillir la somme de renseignements d'où naîtront, plus tard, ses découvertes, dans le patient dépouillement des laboratoires. Le navire est pour lui ce qu'est le réacteur au physicien nucléaire : le plus indispensable des instruments de travail.

L'océanographie moderne est née en même temps que le premier véritable bâtiment océanographique. Elle est sortie tout armée de la croisière du *Challenger*, un voilier britannique, qui, de 1872 à 1876, sillonna les quatre océans. En un peu moins d'un siècle, des centaines de navires ont suivi les traces du *Challenger*. La jeune science des mers leur est redevable de son essor. A cause de cet essor même, la construction de nouveaux bâtiments est aujourd'hui une nécessité. Les navires sont les outils qui ont permis à la recherche de progresser. Par voie de retour, les progrès de la recherche imposent le perfectionnement constant et la multiplication des navires.

Les campagnes océanographiques du passé

Les profondeurs de la mer étaient restées, jusqu'à la croisière du *Challenger*, hors de la portée de l'homme, et le biologiste anglais Edward Forbes pouvait encore, en 1860, énoncer sa théorie des « abysses » qui niait l'existence de la vie par plus de 500 mètres de fond. Il y avait bien eu auparavant des expéditions comme celle de l'*Endeavour* (1768-1771) sous la direction du capitaine Cook, ou celle du *Beagle* (1831-1836) organisée par Darwin lui-même. Mais aucune d'elles n'avait permis d'établir des résultats





L'Albatross voilier suédois à moteur

CETTE sorte de compromis voile et moteur existe encore sur certains navires océanographiques. Ce schooner suédois de 1 400 tonnes en est un exemple; il a accompli une mission océanographique de 15 mois sous la direction du Professeur Pettersson, couvrant plus de 40 000 milles nautiques sur trois océans. Parti le 4 juillet 1947 de Göteborg en Suède, il traversa l'Atlantique de Madère à Panama; le 27 août il était à Balboa, pour la traversée du Pacifique. Après être passé par l'archipel de la Sonde, il repartait le 18 février 1948 de Bali pour Colombo et arrivait le 8 mai à Suez. Sa mission principale fut l'étude du fond des océans et en particulier des sédiments marins. Il remonta, entre autres, des carottes de 12 à 14 m, prises à 7 300 m et détint un moment le record de profondeur du coup de chalut avec 7 900 m.

(Doc. Institut Suédois)

scientifiques de quelque importance, alors qu'aujourd'hui encore, le rapport des chercheurs du *Challenger* est considéré comme la « Bible des océanographes ».

On assista, au lendemain de cette croisière mémorable, à toute une floraison de campagnes océanographiques. De 1885 à 1915, le prince Albert I^{er} de Monaco, à bord de l'*Hirondelle* puis de la *Princesse Alice*, conduisit des recherches systématiques surtout en Méditerranée. Au cours de la même période deux navires américains — le *Blake* et l'*Albatross* — explorèrent les profondeurs du Pacifique. Opérant dans l'Atlantique, sur le *Travailleur* et le *Talisman*, des Français prirent rang parmi ces pionniers de l'océanographie.

Entre les deux guerres, les Allemands étudièrent l'Atlantique avec le *Meteor* et les Hollandais l'archipel de la Sonde avec le *Willebrod Snellius*, tandis que le *Discovery I*, battant pavillon britannique, apportait une importante contribution à la connaissance de l'Atlantique. De leur côté, les Danois organisaient l'expédition du *Dana I* autour du monde. Le navire scientifique français le plus célèbre de cette époque fut le *Pourquoi Pas ?* qui sombra au large de l'Islande, en 1936, avec le commandant Charcot et tout son équipage.

Parmi les croisières du passé, on n'a cité ici que les plus célèbres. Aucune de ces expéditions n'a permis d'explorer les mers à plus de 6 000 mètres de fond. Le coup de chalut le plus profond avait été réussi, en 1910, par le Prince de Monaco qui atteignit 6 035 mètres. Il fallut attendre 1947 pour que l'expédition suédoise de l'*Albatross* parvint à battre ce record en prélevant des sédiments abyssaux dans la fosse de Puerto-Rico par 7 900 mètres de fond. Ce fut ensuite le tour, en 1950-1952, de l'expédition danoise de la *Galathea* qui effectua des chalutages entre 9 800 et 10 200 mètres dans la fosse des Philippines. Enfin, depuis 1953, le navire soviétique *Vityaz* a procédé à des recherches dans un nombre considérable de fosses du Pacifique.

Le navire scientifique dans le monde

Aujourd'hui, toutes les puissances navales disposent d'une flotte océanographique. Les plus connus parmi les navires norvégiens sont l'*Armauer Hansen* et le *Bratigg* qui effectua notamment des recherches dans l'Antarctique. Les Suédois ont armé, il y a quelques années, le voilier *Albatross*, qui a exploré tous les océans du monde. A côté de celui-ci, le *Nye Skagerak* est constamment

La Calypso à Monaco →

Ancien dragueur de mines canadien, ce navire s'est rendu célèbre par ses récentes campagnes en Méditerranée et en mer Rouge sous les ordres du commandant Cousteau qui le dota de nombreux perfectionnements techniques originaux. Ces transformations en firent, malgré son faible tonnage, un des navires de recherche les plus modernes qui soient.

utilisé, principalement à des travaux biologiques. Les Danois, après le *Thor* et le *Dana I*, ont lancé le *Dana II*. Spécialisés dans les recherches d'océanographie physique, ces trois navires ont surtout prospecté la Méditerranée et l'Atlantique.

Faire l'inventaire complet de tous les bâtiments océanographiques du monde exigerait plusieurs pages de notre revue. Aussi bien, le tableau suivant n'indique-t-il que quelques-uns des principaux navires des quatre pays où l'océanographie a pris, au cours des dernières années, le plus grand développement.

ÉTATS-UNIS		U.R.S.S.	
Navire	Tonnage	Navire	Tonnage
Spencer F Baird.	505	Mikhail	
Horizon	505	Lomonosov ..	5 960
Vema	533	Vityaz	5 546
Atlantis	298	Pole	5 000
Crawford	295	Sevastopol	3 000
Brown Bear	270	Diamond	1 500
Jakkula	198	Equator	1 500
Paolina T	111	Lena (brise-glace)	12 000
		Ob (brise-glace)	12 000
		Okean	3 000
JAPON		ROYAUME-UNI	
Navire	Tonnage	Navire	Tonnage
Umitaka Maru ..	1 387	John Biscoe....	2 250
Ryoho Maru	1 100	Discovery II ...	1 736
Tugaru	1 050	Sir W.M. Hardy	418
Oshoro Maru ..	618	Sarsia	250-300
Shinyo Maru ..	260		

Les bâtiments de recherche français

La flotte océanographique française est loin d'occuper une place de premier plan. A strictement parler — c'est-à-dire si l'on exclut les bâtiments de la Marine Nationale et ceux de l'Institut scientifique et technique des Pêches, pour ne considérer que les bateaux qui se consacrent exclusivement à la science — elle se réduit à la *Calypso* et à quelques navires de faible tonnage appartenant, soit à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-mer, soit à des universités ou à des associations privées.

Depuis sa première croisière en mer Rouge (décembre 1951—janvier 1952), la *Calypso*



Atlas Photo

effectue chaque année des croisières, en application des accords signés entre le Centre National de la Recherche Scientifique, la Direction de l'enseignement supérieur, et les « Campagnes océanographiques françaises » du commandant Cousteau. Ancien dragueur de mines canadien construit en 1938, la *Calypso*, malgré son tonnage et ses dimensions modestes (293 tonnes, 43 m de long, 6,50 m de large), a été dotée de la plupart des perfectionnements techniques modernes. Ainsi, par exemple, un « puits central », situé dans l'axe du navire, permet d'opérer des prélèvements sans être gêné par le roulis. A l'avant, dans un « faux nez », le commandant Cousteau a fait aménager un « puits de descente » au fond duquel il est possible, par plusieurs hublots, d'observer et de filmer la vie sous-marine.

L'Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-mer, O.S.T.R.O.M., possède trois navires de recherches — l'*Orsom I* (160 tonneaux), l'*Orsom III* (93 tonneaux) et l'*Ombago* (100 tonneaux) — qui sont mis à la disposition d'un corps de chercheurs océanographiques dont l'effectif s'élève à une trentaine de spécialistes. On peut encore citer un certain nombre de bâtiments qui ne dépassent pas dans l'ensemble une centaine de tonneaux et qui sont rattachés aux « Stations maritimes » créées principalement par des universités. Ainsi l'*Antedon* est le bateau scientifique de la station maritime d'Endoume qui relève de l'Université de Marseille. La

station maritime de Villefranche, qui dépend de l'Université de Paris, dispose de l'*Espadon*. Antibes est port d'attache du *Passeur du Printemps* appartenant à M. Romanovsky. Enfin, le Musée océanographique de Monaco conduit des recherches sur la *Vinaretta Singer*.

Aucun véritable navire océanographique

La recherche est surtout orientée en France vers l'hydrographie et l'étude des pêcheries. Les bâtiments du Service Hydrographique de la Marine, tels que l'*Amiral Mouchez* (800 tonnes), et le *La Pérouse* (1 800 t) se consacrent à l'étude de la topographie sous-marine en vue de l'établissement de cartes. L'Ingénieur Elie Monnier, relevant également de la Marine Nationale, a accompagné à plusieurs reprises les bathyscaphes. Un dragueur de 700 tonnes, l'*Origny*, vient d'être armé en navire océanographique. L'Institut scientifique et technique des pêches a mis en chantier le *Thalassa*, destiné à remplacer le *Président Théodore-Tissier*, qui effectuera des campagnes axées sur la recherche des poissons migrateurs. Les frégates météorologiques *France I* et *France II* poursuivent occasionnellement des travaux océanographiques, mais sont surtout préoccupées d'observations météorologiques et de sécurité aérienne. Enfin, ce tableau ne serait pas complet si l'on omettait le *Commandant Charcot*

— aujourd'hui remplacé par un bateau norvégien, le *Norsel* (Phoque du Nord) — qui était affecté au transport en Terre Adélie des expéditions polaires de Paul-Émile Victor et effectuait au cours de ses différents trajets des observations océanographiques et glaciologiques.

Aucun des bâtiments français qui se consacrent à la recherche n'a été conçu spécialement à cette fin. Ce sont des unités de guerre, des cargos, des yachts de plaisance ou des embarcations de pêche « convertis ». Le *Thalassa* qui « sortira » l'an prochain fait exception à cette règle, mais, comme on l'a vu, ses recherches porteront presque exclusivement sur les migrations de poissons. La France manque d'un véritable navire océanographique.

Que sera le navire océanographique de demain ?

Des pays qui mènent des recherches sur une plus grande échelle que la France se trouvent dans une situation analogue. L'U.R.S.S. et le Japon sont pratiquement les seules puissances qui aient construit des navires spécialement destinés à l'océanographie. Les États-Unis eux-mêmes se contentent de bateaux « convertis ». Or, une véritable conversion est une impossibilité; elle équivaldrait à une remise en chantier totale. De plus, sur les unités de guerre qui fournissent le gros de l'effectif des bâtiments de recherche mondiaux, on ne peut procéder à des aménagements de grande envergure, car, en cas de tension internationale, ces bateaux doivent pouvoir retrouver rapidement leur destination première.

Ainsi, malgré l'apparente abondance des bâtiments océanographiques, la plupart des pays souffrent en fait d'une pénurie de bateaux scientifiques. « Le développement actuel de l'océanographie, écrit le commandant Cousteau, crée un besoin urgent de navires spécialisés dont la construction résultera d'un compromis entre des considérations économiques, scientifiques et maritimes. » Ce compromis sera difficile à établir. Concilier les exigences de la recherche scientifique et celles de l'économie est une entreprise ardue. Tandis que l'océanographie moderne exige un équipement sans cesse plus complexe et plus coûteux, les organismes chargés de diriger et de coordonner les recherches sont soit des associations privées aux ressources réduites, soit des services publics dont les crédits restent la plupart du temps assez limités.

Le Vema, trois-mâts américain

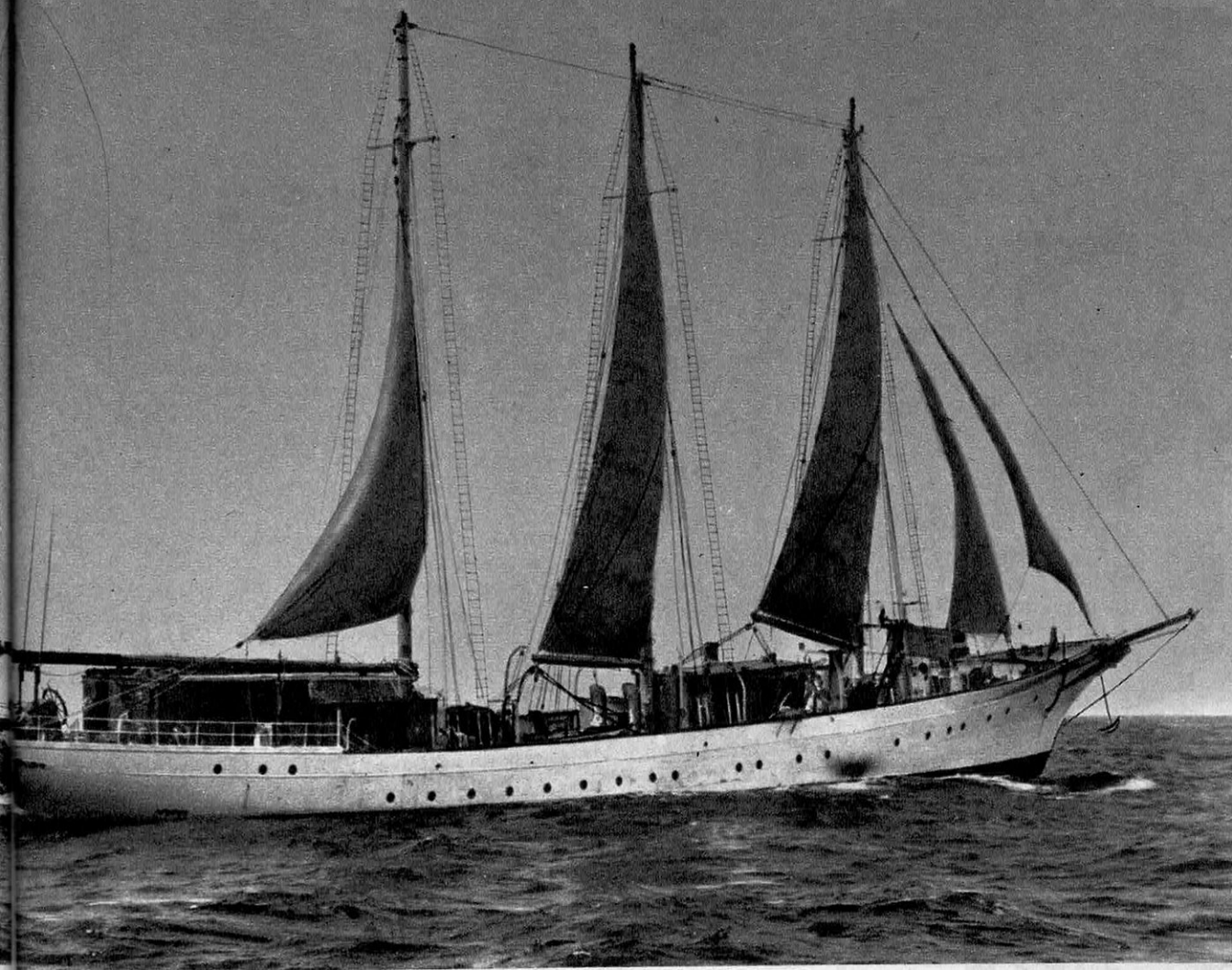
C E schooner de 500 tonnes a été converti en navire de recherches océanographiques par le Lamont Geophysical Observatory installé près de New York. C'est un des plus importants navires américains pour les études en haute mer. Deux laboratoires en occupent le pont arrière : dans un laboratoire électronique se trouvent en particulier les appareils d'enregistrement du champ magnétique, de la pesanteur et de la topographie du fond ainsi que ceux qui relèvent à intervalles réguliers les températures mesurées par le bathythermographe; une plate-forme est réservée aux biologistes, géologues et hydrologistes. Le navire est en outre équipé pour l'étude sismique des sédiments marins et leur prélèvement par « carotteur ». Le laboratoire de Lamont possède une collection de plus de 500 carottes, certaines de 20 m de long, provenant de tous les océans.



Ph. Don Fay, Woods Hole

A supposer ces difficultés économiques résolues, quel sera le navire océanographique de demain ? Un tel navire doit répondre par les moyens techniques les plus avancés aux exigences actuelles de l'océanographie. Sa structure et son aménagement sont conditionnés, d'une part, par le niveau des différentes techniques qui entrent en jeu dans sa construction (technique de la navigation, des moyens de levage, des appareils de mesure, etc.) d'autre part, par les tendances de l'océanographie et l'orientation qu'on entend lui donner. Les plus perfectionnés parmi les navires actuels, et surtout les projets mis à l'étude dans différents pays, permettent de pressentir ce que pourrait être un navire océanographique véritablement adapté à sa tâche.

Les caractéristiques des navires océanographiques varient selon la tâche à laquelle on les affecte. Un bâtiment peut convenir parfaitement à des travaux de prospection



dans l'estuaire de la Seine, et se prêter fort mal à l'exploration de l'océan Pacifique. Les régions tropicales et les régions polaires n'exigent pas le même équipement. L'aménagement d'un navire dépend également du genre de recherches qu'on y conduit : hydrologie, hydrographie, géologie sous-marine, biologie ou physique.

Navires côtiers ou de haute mer

Il existe en gros deux catégories de bateaux de recherche : les navires côtiers et ceux qui effectuent de grandes croisières. Une petite vedette à moteur avec deux hommes d'équipage, un treuil, 2 000 mètres de câbles et un appareil de sondage à ultrasons peut rendre, à peu de frais, des services utiles dans les estuaires, les lagunes, les lacs et dans les mers à quelques milles au large des côtes. Dès qu'il s'agit de vastes

campagnes, le navire, quelle que soit la recherche qui prédomine, doit remplir diverses conditions dont les principales sont les suivantes :

- disposer d'assez d'espace pour transporter une équipe scientifique nombreuse avec le confort indispensable à son efficacité;
- posséder le maximum de stabilité possible;
- permettre une grande facilité de manœuvres;
- être doté des appareils de radionavigation modernes les plus perfectionnés;
- permettre la mise en œuvre des diverses techniques qu'exige le travail océanographique;
- s'adapter à toute la gamme des travaux scientifiques (hydrographie, hydrologie, géologie sous-marine, physique, biologie);
- réserver une place importante à des laboratoires bien équipés;

— posséder une autonomie importante et disposer d'ateliers pouvant assurer les réparations du navire et du matériel scientifique.

Deux impératifs: stabilité et facilité de manœuvres

Le commandant Cousteau, de même que la plupart des spécialistes étrangers, estime que le tonnage d'un navire océanographique ne devrait guère être supérieur à 1 300 tonnes. Le tableau qui figure plus haut montre, qu'exception faite des bateaux soviétiques, peu de bâtiments actuels dépassent ce tonnage qui permet de réserver une place suffisante aux laboratoires et aux logements des chercheurs.

Les formes du bâtiment océanographique doivent être étudiées de manière à lui donner un maximum de stabilité. Lorsque le navire « fait une station », c'est-à-dire qu'il s'immobilise en pleine mer, bien rares sont les jours de calme plat qui lui assurent l'immobilité nécessaire à la bonne conduite du travail océanographique. En particulier il n'est pas possible de supprimer totalement le roulis du navire. Sur la *Calypso*, le commandant Cousteau parvient à l'atténuer dans une large mesure par la mise en place, chaque fois que le besoin s'en fait sentir, d'un dispositif ingénieux qui consiste en deux flotteurs de caoutchouc placés sur les flancs du navire de façon à jouer le rôle du balancier des pirogues indonésiennes.

La facilité de manœuvres est une nécessité aussi fondamentale que la stabilité. La nature même des travaux océanographiques exige que le navire puisse avancer, reculer, s'arrêter dans un espace restreint et pivoter presque sur lui-même.

Certains spécialistes se posent, aujourd'hui encore, la question de savoir si la voile n'est pas, finalement, le moyen de propulsion qui convient le mieux aux navires océanographiques. Ils citent les exploits de bâtiments actuels qui sont encore des voiliers, comme l'*Armanier Hansen* appartenant au laboratoire de Bergen (Norvège) ou le trois-mâts américain *Vema*. L'avantage de la voile, font-ils valoir, réside dans l'économie de combustible qu'elle permet de réaliser, à laquelle s'ajoute, si le grément est facile à manier, une économie de personnel. De plus, affirment-ils, un navire scientifique qui s'arrête tous les cent ou deux cents milles, n'a nul besoin d'aller vite; il lui suffit de pouvoir atteindre 10 nœuds, car au-dessus de cette vitesse des appareils tels que les bathythermographes ou les enregistreurs de pro-

fondeurs ne fonctionnent plus dans de bonnes conditions.

La voile peut ne pas être réservée au sport et à la plaisance. Un voilier arrive encore à rendre des services en océanographie, à condition d'être muni d'un moteur auxiliaire pour les évolutions dans les ports, et pour s'affranchir de la pénible servitude des bordées. Mais il ne peut convenir à toutes les tâches. Les expéditions de Paul-Émile Victor ont prouvé, par exemple, que, pour trouver une brèche dans la banquise et louer à travers les plaques de pack-ice, il fallait se servir perpétuellement des machines, sous peine de rester bloqué dans les glaces. En outre, le navire océanographique moderne doit être d'une grande souplesse de manœuvres incompatible avec la navigation à voile. Enfin, s'il est vrai que les meilleurs enregistrements se font à faible allure, le bateau de recherche n'en doit pas moins être capable de se déplacer à une vitesse relativement élevée, ce qui permet de choisir l'heure la plus favorable aux travaux en un point donné et de réduire les temps morts coûteux. Aussi bien, les spécialistes s'orientent-ils vers des formes plus modernes de propulsion, notamment vers la propulsion électrique.

Des appareils de radionavigation modernes

L'océanographe, qui « fait une station » en vue de la détermination des caractéristiques de l'eau de mer, de même que l'hydrographe qui sonde en marche le fond de l'océan, doivent connaître leur position avec une précision rigoureuse. En vue de terre, le problème soulève peu de difficultés; il suffit d'un personnel entraîné. Hors de vue de terre, le point astronomique ne permet pas une précision suffisante; aussi, en plus d'un poste émetteur-récepteur de T.S.F., les bâtiments océanographiques modernes sont-ils obligatoirement pourvus d'appareils modernes de radionavigation.

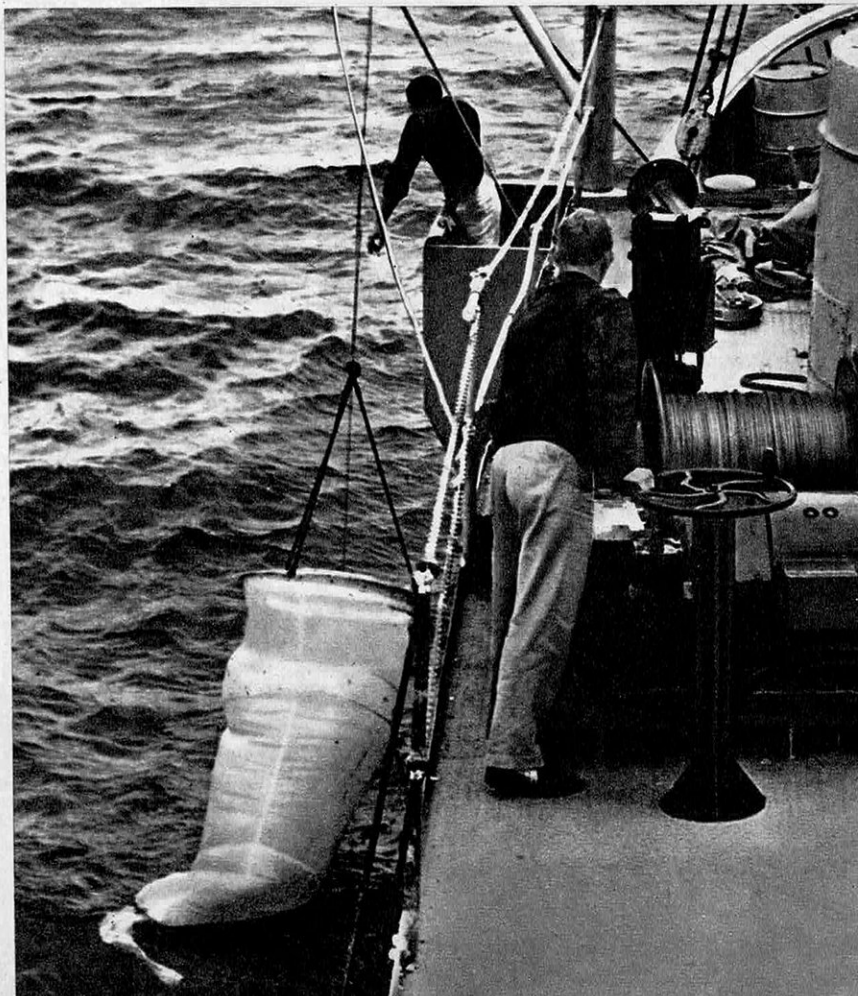
Un navire dont les machines sont arrêtées demeure, par temps calme, immobile par rapport à l'eau; mais la mer est souvent agitée de remous violents dont le navigateur n'aura de perception que s'il peut repérer ces mouvements par rapport à un point de référence fixe. Ce point fixe peut être le fond sur lequel le navire jette l'ancre: on apprécie alors le déplacement de l'eau, mais non la position du point d'ancrage.

Quand la terre est en vue, il est possible de se placer par rapport à elle par des procédés classiques en navigation. Au large, il faut aller



L'« Horizon » de la Scripps Institution

A la base de La Jolla, dans l'État de Californie, sur la côte du Pacifique des États-Unis, cet Institut arme quatre navires océanographiques, dont l'Horizon ci-dessus, spécialisés dans des recherches de biologie marine s'étendant sur près de 2 millions de kilomètres carrés dans l'océan Pacifique. On voit sur la photographie de droite la mise à l'eau d'un grand filet en toile de soie pour la capture d'échantillons de la flore et de la faune planctoniques, base de l'alimentation de nombreuses espèces de poissons exploitées par les pêcheries, en particulier les sardines. Le filet à plancton est ici équipé d'un compteur qui indique le volume de l'eau filtré au cours d'un remorquage.



chercher une référence dans les astres dont le mouvement angulaire est connu; mais ils sont lointains, d'où une précision relativement faible, d'autant plus que la visée est effectuée à partir d'une plate-forme instable.

Ces dernières années, les progrès de la radiotechnique et de l'acoustique sous-marine ont mis à la disposition du navigateur de nouvelles possibilités qui ont eu d'importantes répercussions sur notre connaissance des mouvements marins. Les appareils de radionavigation tissent sur la mer des réseaux de courbes, généralement des hyperboles, grâce auxquels les navires se «placent» par rapport à des couples de stations terrestres émettant des ondes entretenues ou des impulsions décalées en phase. Une très grande précision est obtenue.

Des treuils aux sondeurs : les moyens techniques

Le poste de navigation situé sur la passerelle, est, dans un bateau de recherche, le cerveau du travail scientifique qui se poursuit à bord. C'est là que, penchés sur les cartes, le chef de la mission océanographique et le commandant du bateau fixent les emplacements des stations et les diverses routes que suit le bâtiment. Le pont du navire doit être assez dégagé pour permettre l'installation de l'appareillage lourd indispensable à la recherche, l'évolution rapide du personnel et le classement des échantillons d'eau et de sédiments.

La tendance actuelle, à quelques exceptions près, est de dégager la plage arrière où le personnel scientifique souffre moins par mauvais temps que s'il lui fallait travailler à l'avant. Certains spécialistes, cependant, donnent leur préférence à l'avant car ils estiment que l'équipe au travail doit pouvoir être contrôlée par le commandant et le chef de la mission océanographique placés sur la passerelle.

Les treuils constituent l'un des éléments indispensables au travail océanographique. Ils sont d'une grande diversité. D'abord les treuils hydrologiques à câbles fins (4 mm) qui servent à descendre dans la mer les instruments légers et dont on se sert aussi pour des prélèvements superficiels. Les treuils de dragage et de chalutage sont plus puissants : leurs câbles de 16 à 20 mm peuvent descendre jusqu'à 1 000 mètres.

Si l'océanographe désire faire des mesures de courants, il est indispensable de supprimer la dérive du bâtiment sous l'effet des courants ou du vent. Aussi doit-on disposer d'un treuil assez puissant et d'un câble assez

long pour permettre le mouillage par grand fond. D'autres treuils servent à descendre les appareils lourds à 5 000 mètres ou même à 10 000 mètres de profondeur. Les treuils les plus modernes sont mus par des moteurs électriques, ou mieux encore, ils sont à commandes hydrauliques. Ils sont généralement pourvus d'un débrayage rapide, d'un guide-câbles, d'un amortisseur de roulis et d'un compteur permettant de connaître à tout moment la longueur du câble déroulé. Une petite révolution vient de s'accomplir dans le domaine des treuils : les cordages en matière plastique, dont la densité est égale à celle de l'eau, permettent de manipuler beaucoup plus facilement le matériel descendu au fond, puisqu'il est désormais possible de ne plus tenir compte du poids du câble.

Les sondeurs à ultrasons sont, avec les treuils, les auxiliaires les plus précieux des océanographes. Ils assurent l'enregistrement continu de la profondeur à la verticale du navire. Ils peuvent aussi, lorsqu'ils sont parfaitement réglés, déceler la «nature» du fond. Un trait sec et net de l'enregistreur indique un fond de roches; des traits pointillés, un fond de sable ou de graviers. Pour l'instant, des sondages systématiques de zones marines étendues ne sont guère effectués que par les missions hydrographiques dont le but est l'établissement des cartes marines nécessaires à la navigation.

Le carottier, sorte d'emporte-pièce pour sédiments marins

Un autre appareil dont doit être pourvu tout bâtiment océanographique est le carottier qui permet de déterminer la succession des sédiments marins. Le premier de ces appareils, créé aux États-Unis en 1935, se présentait comme un canon chargé d'un explosif et capable d'enfoncer dans le sédiment, ou même dans une roche moyennement dure, un projectile en forme de tube maintenu dans le canon par une virolle. La mise à feu était automatique et se produisait dès que le canon descendu par câble avait touché le fond. La carotte, c'est-à-dire le projectile rempli de sédiments, était ensuite ramenée à la surface. Le carottier le plus couramment utilisé aujourd'hui est celui du Kullenberg : il n'est pas ralenti dans sa chute par le déroulement d'un câble et à partir d'une certaine hauteur il tombe en chute libre. Au fur et à mesure de la pénétration du projectile dans le sédiment, un piston fait le vide. Le carottier de Kullenberg a été utilisé pour la première fois par le

Skagerrak qui obtint des carottes de 10 à 13 mètres de long dans la mer Tyrrhénienne. Aujourd'hui, les carottes atteignent couramment 20 mètres.

Appareils de prélèvement et de mesures

Les appareils de prélèvement et de mesures se sont considérablement perfectionnés au cours des dernières années, mais ils diffèrent peu, dans leur principe, de ceux qu'utilisait le prince Albert il y a une cinquantaine d'années et que l'on peut voir exposés au Musée océanographique de Monaco.

Les océanographes de toutes nationalités ont rivalisé d'ingéniosité pour réaliser des bouteilles de prises d'eau fort diverses. Elles reposent toutes sur l'un des deux principes suivants : bouteille descendue ouverte, ou bouteille descendue fermée. Dans le premier cas, la bouteille doit être fermée à la profondeur désirée avant d'être remontée; dans le deuxième cas, elle doit être ouverte, puis refermée à la profondeur du prélèvement. Quel que soit le type auquel appartient la bouteille, il est indispensable d'obtenir, à une certaine profondeur, un déclenchement qui a pour but de fermer, ou d'ouvrir puis fermer, les orifices de la bouteille; le procédé le plus couramment adopté pour arriver à ce résultat est l'envoi d'un « messenger » courant le long du câble qui provoque, par son poids, le déclenchement du mécanisme.

Les thermomètres à renversement déjà utilisés avant la première guerre mondiale sont maintenant complétés par des instruments plus perfectionnés. Lorsque les océanographes désirent suivre d'une façon continue les variations de la température, ils emploient des thermomètres enregistreurs ou thermographes. Ceux qui sont destinés à enregistrer la température suivant la verticale en fonction de la profondeur sont appelés bathythermographes ou thermosondes. Ces appareils sont essentiellement constitués d'un bilame qui donne les variations de la température et d'une capsule manométrique indiquant la profondeur. Les deux mouvements commandent un seul et même stylet qui inscrit les variations de la température en fonction de la profondeur sur une plaque enfumée.

De la mesure discontinue à la mesure continue

Parmi les appareils qu'utilisent couramment les océanographes, on peut encore citer le *tucker* ne fonctionnant que lorsque le navire est à l'arrêt, qui permet d'enre-

gistrer la houle; le géo-électrokinétographe, dont on se sert pour mesurer, en marche, les courants marins; le photomètre de profondeur, composé de deux cellules photo-électriques, qui permet la comparaison entre la lumière reçue par la cellule qui reste en surface et celle qui est immergée à une profondeur déterminée.

La technique de la photographie sous-marine s'est considérablement enrichie. L'un de ses plus récents produits est la *troïka*, baptisée ainsi par un océanographe soviétique, auquel le commandant Cousteau, inventeur de l'appareil, en expliquait le fonctionnement. Il s'agit, en effet, d'un traîneau, qu'un arceau remet d'aplomb s'il bascule, sur lequel on a monté une caméra synchronisée avec un flash électronique.

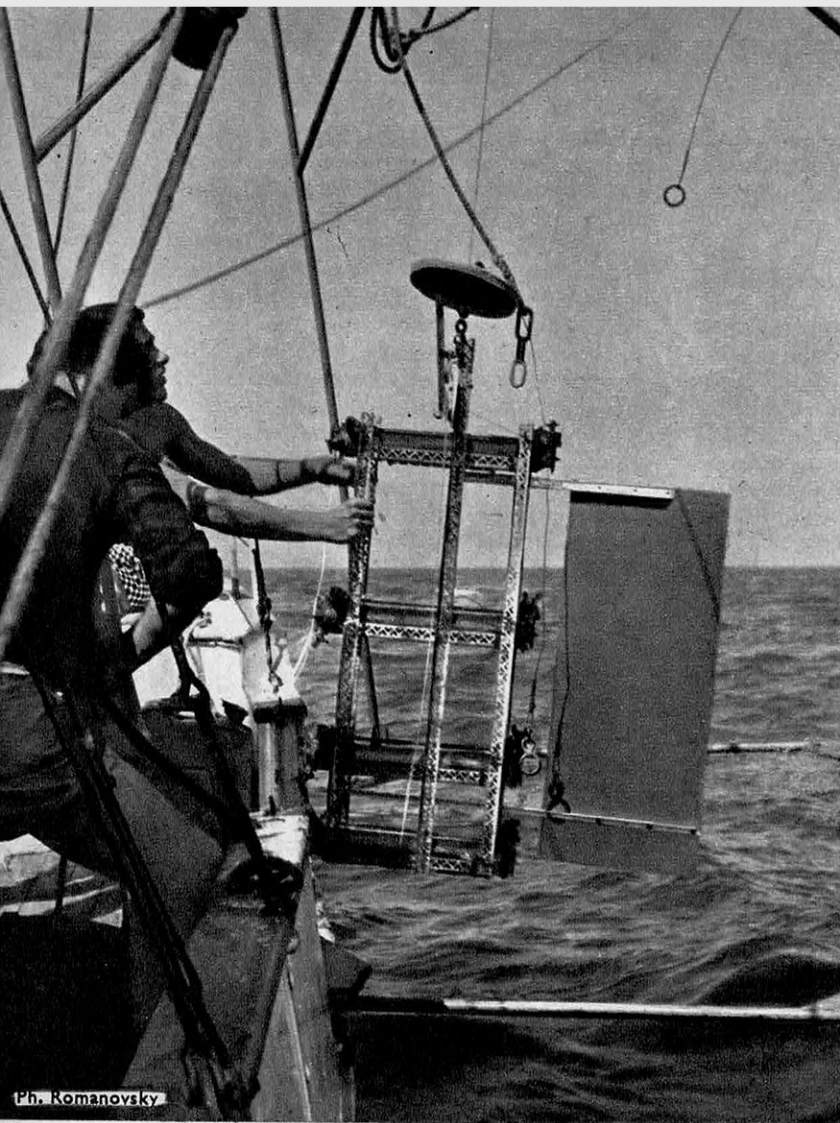
Entre le simple appareil photographique et la *troïka*, entre le sondage au fil et le sondage à ultrasons qui inscrit le profil du fond de façon continue, il y a la même différence qu'entre le point et la ligne. Les progrès techniques ont permis de passer de la mesure discontinue à la mesure continue.

Les laboratoires flottants

Tous les échantillons prélevés, toutes les mesures réalisées par le navire océanographique aboutissent aux laboratoires. Chacune des disciplines étudiées à bord exige un laboratoire particulier. La verrerie, tous les appareils, les flacons de produits chimiques doivent y être enfermés dans des placards et arrimés de manière à ne pas souffrir de dommage par suite du roulis. Pour que les océanographes puissent travailler même par mauvais temps, il est nécessaire de suspendre certains appareils « à la cardan » au-dessus des tables. En plus des laboratoires, le bâtiment comprend généralement : une chambre noire pour développer, tirer et agrandir les photos, une chambre froide pour les biologistes et une salle destinée à recevoir les échantillons d'eau, de sédiments ou les organismes marins conservés dans des bocaux. Les navires qui effectuent d'importants travaux d'océanographie biologique portant sur les poissons disposent d'une cale assez spacieuse pour y entreposer les engins de pêche et les échantillons de poissons.

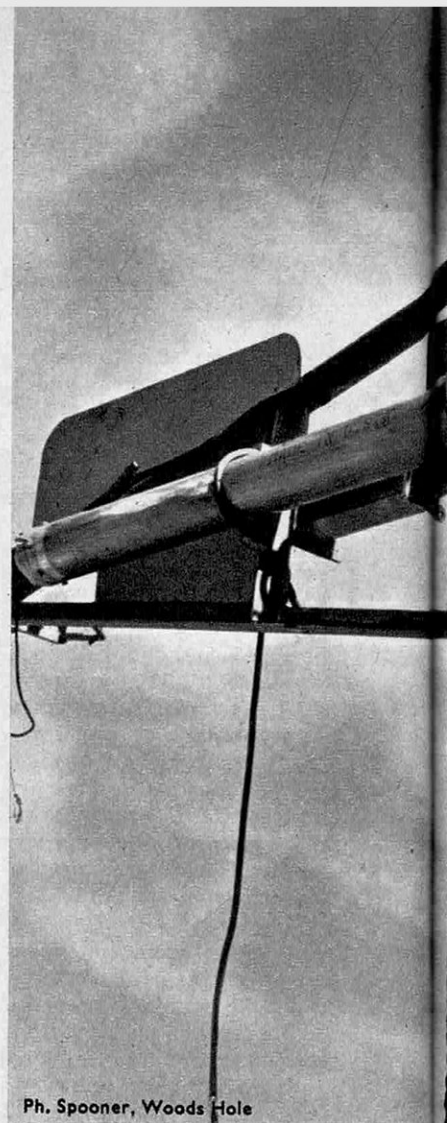
Les logements doivent être particulièrement confortables étant donné la longueur des croisières et le caractère souvent harassant des travaux.

Les plus perfectionnés des bâtiments actuels remplissent certaines conditions énumérées ci-dessus, mais le navire océanographique idéal reste encore à construire. Le



Ph. Romanovsky

L'EAU DE MER est prélevée près du fond par ce système de bouteilles utilisé à bord du « Passeur du Printemps », bateau du Centre de Recherches et d'Études Océanographiques opérant dans la Méditerranée.



Ph. Spooner, Woods Hole

CETTE CAMÉRA SOUS-MARINE les échos sur les animaux qui traversent clenchent l'obturateur. Le dispositif sert

comité présidé par M. Piganiol, qui, sous la direction du Premier ministre, coordonne la recherche scientifique française, a créé un comité chargé d'établir un projet de navire océanographique moderne. Sur le plan international, l'UNESCO témoigne de la même préoccupation. Sous les auspices de cette organisation, une conférence intergouvernementale se tiendra en juillet 1960 à Copenhague. Des spécialistes du monde entier y soumettront leurs projets d'un navire océanographique international dont la construction serait financée par tous les États membres de l'UNESCO.

On a résumé ci-dessous l'essentiel des deux projets présentés par la France (ces

projets doivent être également soumis au « Comité Piganiol »).

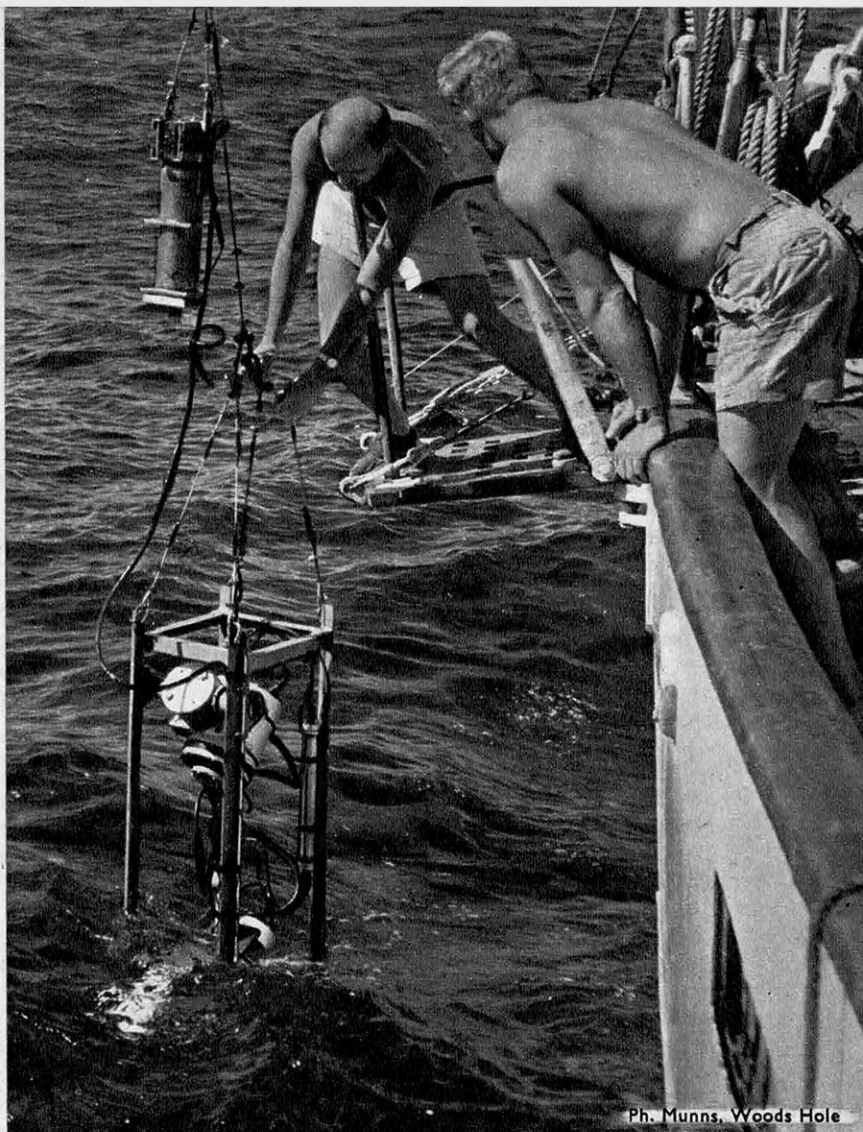
Un projet des Services Hydrographiques de la Marine

M. Marc Eyriès du Service central hydrographique (Paris) a établi les plans d'un navire de 65 mètres pour 1 500 tonnes, dont le rayon d'action serait de 10 000 milles et la vitesse de croisière de 12 nœuds. La coque sera munie d'ailerons stabilisateurs pour donner au bateau une stabilité accrue.

En ce qui concerne la propulsion, le grand souci de M. Eyriès a été d'obtenir une absence totale des vibrations qui gênent le



est combinée avec une source sonore; le faisceau sont enregistrés à bord et dé-aussi à l'étude des couches diffusantes.



Ph. Munns, Woods Hole

A GRANDE PROFONDEUR, les photographies sont prises par une caméra spéciale installée avec sa source de lumière commandée automatiquement sur un cadre métallique que l'équipage va immerger.

travail océanographique. Il écarte la solution de la propulsion par diesel-électrique. « Il semble, écrit-il, que la propulsion par turbines à vapeur donnerait une souplesse suffisante aux différentes allures et un très faible ralenti. »

Afin de permettre des évolutions rapides, mais surtout de pouvoir rester cap à la mer, sans dérive, même par gros temps, ou bien d'avancer à très faible vitesse, le gouvernail sera muni d'un moteur auxiliaire de 150 ch dit « gouvernail actif ».

Ce navire devra disposer d'un pont principal dégagé, sans discontinuité de niveau. Les roofs et le bloc-passerelle laisseront de larges coursives extérieures. Le décalagelatéral

du bloc-passerelle pourrait être envisagé afin de permettre d'y allonger des carottes de 20 mètres. Au pied de la passerelle se trouvera le treuil de pêche ainsi qu'un treuil d'hydrologie pouvant dérouler 6 000 mètres de câble. Un autre treuil d'hydrologie sera placé en avant de la plage arrière. La passerelle, dont les ailerons seront débordants, permettra une visibilité parfaite et donc le contrôle aisé de toutes les opérations effectuées aussi bien à l'aplomb que sur l'arrière. Outre les embarcations de sauvetage définies par les règlements internationaux, le navire sera muni d'une annexe pontée pour quatre hommes et pouvant disposer de deux jours d'autonomie.

Le personnel scientifique comprendra 15 chercheurs et les laboratoires, qui seront tous groupés, s'étendront sur 350 m². D'après les estimations de M. Eyriès, la réalisation de ce projet reviendrait, compte non tenu du matériel scientifique, à environ 8 millions de nouveaux francs.

Les solutions du commandant Cousteau

Le second projet français, qui sera proposé à Copenhague, a été établi par les commandants Cousteau et Alinat en liaison avec l'architecte naval André Mauric. Le commandant Cousteau nous a exposé dans les termes suivants ce qu'il s'était efforcé de réaliser en mettant au point son projet :

« On n'a jamais construit jusqu'ici de véritable navire océanographique. On s'est contenté de solutions classiques mal adaptées à l'océanographie. En établissant ce projet qui sera soumis à la Conférence de l'UNESCO, nous nous sommes efforcés, le commandant Alinat et moi-même, à rechercher des solutions radicalement nouvelles aussi bien en ce qui concerne la propulsion et la stabilisation du navire qu'en ce qui concerne les conditions de vie et de manutention à bord. Ainsi notre navire n'a ni hélices ni gouvernail. La stabilisation est assurée sans ailerons et sans stabilisateurs ; la passerelle est située à l'arrière ; les logements sont placés au centre sur l'emplacement habituel des machines. Les sondeurs ont été dessinés spécialement pour la coque et ne pourraient s'adapter à une autre coque. En un mot, tout dans notre navire est conçu pour l'océanographie. »

Le commandant Cousteau propose un navire de tonnage économique (1 300 tonnes, 64 mètres de long, 13 mètres de large) ayant une tenue à la mer et une maniabilité exceptionnelles, et réservant de vastes espaces de travail pour une nombreuse équipe scientifique. La plage arrière, très développée, sera prolongée par une coursive babord importante, permettant la manœuvre de carottiers de 30 mètres de long.

Le navire sera mû par deux propulseurs Voigt-Schneider de 1 500 ch (hélices à pales verticales) situés au voisinage du centre pour assurer à la fois la propulsion, la stabilisation au roulis et la direction. Cette solution, tout en fournissant des facilités de manœuvre incomparables, a l'avantage de présenter un encombrement minimum et de supprimer les lignes et chaises d'arbre qui sont souvent une source de vibrations importantes. Enfin, la position avancée des propulseurs donne une sécurité totale pour les manœuvres de câbles dans toute la partie arrière du bâtiment.

La passerelle dominera la plage arrière.

Elle sera donc adaptée à la direction effective de toutes les manœuvres nécessaires aux travaux scientifiques.

Les moyens de levage — notamment deux grues articulées, l'une de 8 tonnes, l'autre de 3 tonnes — seront tous à commandes hydrauliques ; ils prendront de préférence le matériel à l'eau avec un câble de suspension très court pour éviter le « ballant ». Les treuils seront également à commandes hydrauliques et permettront l'utilisation aisée de plusieurs câbles différents en acier, nylon ou autres. Le navire disposera d'une gamme complète de sondeurs tous situés dans le quart avant du bâtiment. Sept laboratoires répartis en trois ensembles de 350 m² au total seront groupés au voisinage des zones où aboutissent les « informations » recueillies à l'extérieur. Le plus important (180 m²) sera réparti sur trois étages et débouchera directement sur la plage arrière.

Les logements seront suffisants pour 20 scientifiques, 20 étudiants en dortoir et 20 hommes d'équipage. Les cabines seront confortables et situées dans la zone du bâtiment où les mouvements de la mer sont le moins vivement ressentis.

Compte tenu de la loi française d'aide à la construction, les commandants Cousteau et Alinat estiment à 6,5 millions de nouveaux francs le coût de fabrication d'un tel navire. A ce chiffre il conviendrait d'ajouter pour les embarcations, les moyens de levage, les instruments de navigation radioélectriques et les instruments scientifiques de base, 2,5 millions de nouveaux francs. Il faut donc prévoir une dépense totale de 9 millions de nouveaux francs pour disposer d'un navire totalement armé, prêt à effectuer des missions scientifiques complexes.

Des navires comme ceux que projettent de construire M. Eyriès et le commandant Cousteau sont-ils destinés à demeurer des vœux de l'esprit ? Il semble, au contraire, qu'il faille s'attendre à de prochaines réalisations. Les initiatives du « Comité Piganiol » et de l'UNESCO ne sont pas isolées. Le monde scientifique a pris conscience de l'importance des recherches océanographiques. Or, ces recherches, l'océanographe ne peut les conduire que s'il dispose d'un navire parfaitement équipé. Sans navire, il reste démuné et impuissant. Est-il besoin de le répéter ? Il ne ressemble aucunement au géographe de Saint-Exupéry, retranché dans son bureau, et qui se gardait bien d'aller faire lui-même « le compte des montagnes, des déserts, des mers et des océans ».

Roland HARARI

**Seule énergie des mers
actuellement rentable :**

L'énergie des marées

LA surface de la mer est soumise à une agitation quasi permanente. Certains de ces mouvements sont essentiellement superficiels comme les vagues et la houle, tandis que d'autres affectent une épaisseur importante de la masse des océans, tels que les courants de marée. L'influence des astres sur l'hydrosphère se manifeste par la naissance d'ondes qui parcourent la surface des mers et donnent naissance à des variations périodiques du niveau de la mer.

Il était très tentant d'essayer d'asservir les forces dynamiques que la mer met si généreusement à notre disposition et les tentatives n'ont-elles pas manqué. Si certaines de ces forces, comme les courants, ne peuvent absolument pas être captées, d'autres comme les vagues et les dénivellations dues à la marée sont susceptibles de l'être à condition de prévoir des installations spécialement conçues. En dehors des forces dynamiques, une autre source d'énergie est offerte par les différences de température qui existent entre la surface et les couches profondes de la mer.

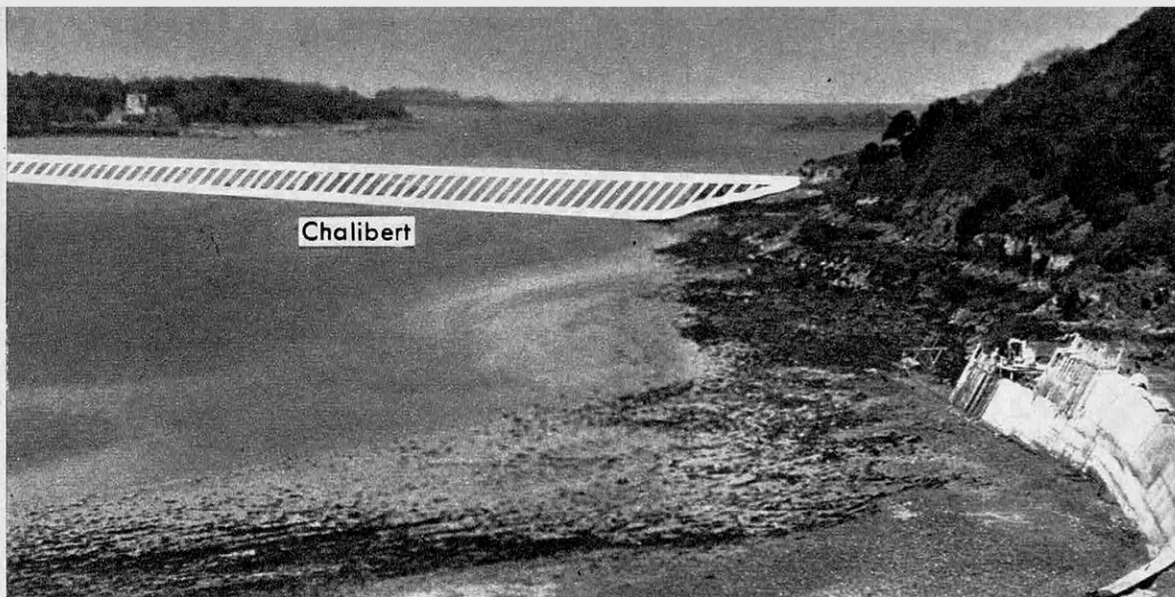
Devant de telles possibilités, l'ingéniosité des techniciens s'est donné libre cours. Des centaines de brevets ont été déposés, mais en définitive, seuls quelques-uns ont pu faire l'objet de tentatives d'application et un moins grand nombre encore sont rentables.

L'énergie des vagues

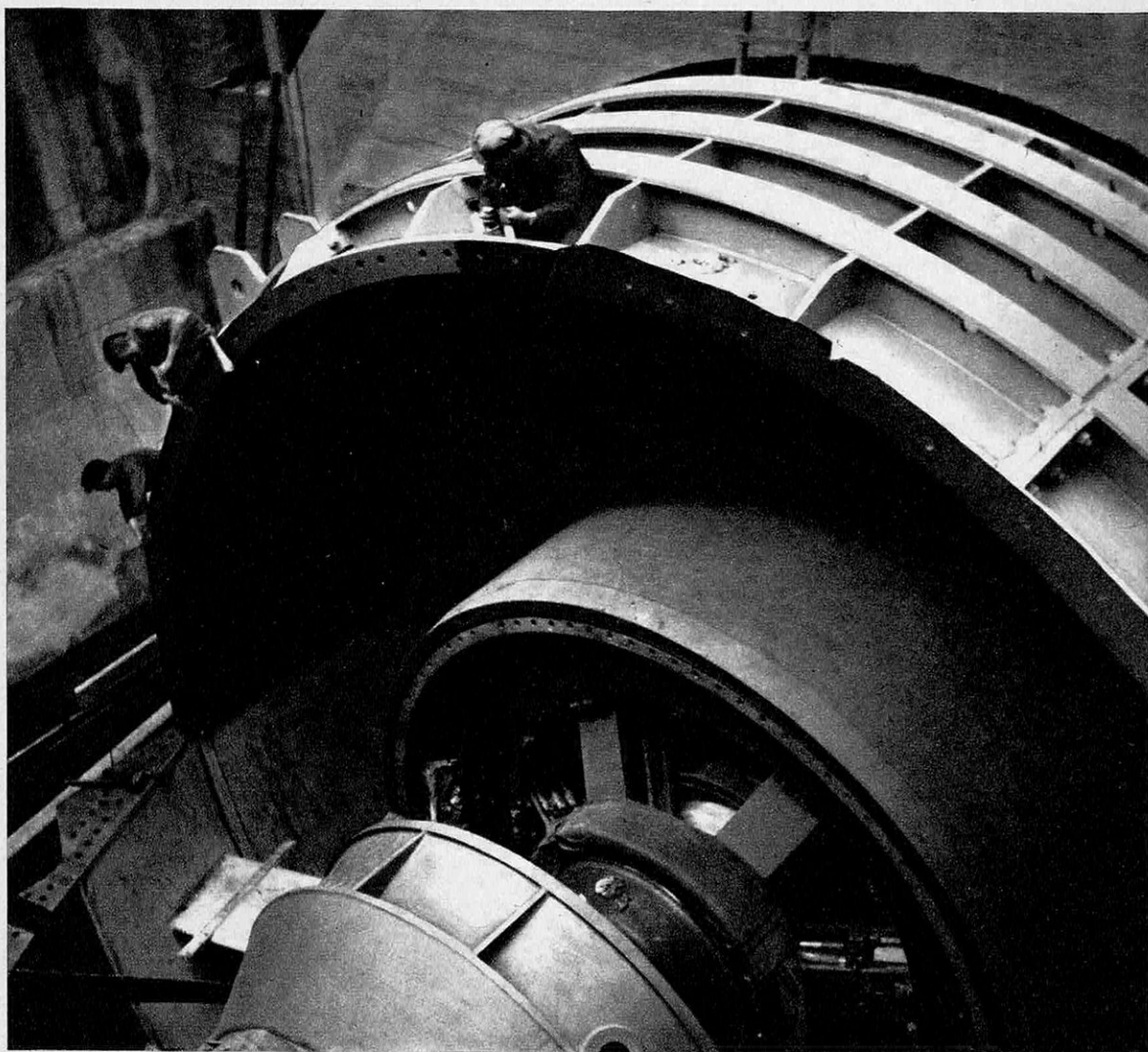
Lorsque l'on voit, un jour de tempête, les vagues déchainées venir attaquer une digue verticale et projeter des paquets de

mer à des hauteurs vertigineuses, on se rend compte quelle énergie colossale est dissipée en pure perte. Malheureusement cette énergie est essentiellement irrégulière : à certains moments, les installations envisagées ne recueilleront qu'une puissance minime, alors qu'à d'autres, juste au moment où elles auraient le plus de chance de produire le plus d'énergie, elles risqueront d'être anéanties sous la force des vagues. En outre, dans les mers à marée, les installations devront pouvoir suivre les fluctuations du niveau marin, ce qui complique encore le problème. Il n'y a donc rien d'étonnant que ce soit principalement en Méditerranée, où les marées sont négligeables, qu'eurent lieu les principaux essais.

Dans l'utilisation de l'énergie des vagues, on peut faire appel soit à la force horizontale qu'elles exercent sur une paroi verticale, soit aux variations de niveau qu'elles impriment à un corps flottant. Parmi les dispositifs utilisant le premier procédé, il faut citer celui de H. Parenty et G. Vandamme dans lequel les auteurs préconisaient l'emploi de chambres étagées les unes au-dessus des autres et où l'eau apportée par les vagues devait comprimer l'air. Il avait l'avantage de fonctionner quel que soit le niveau des marées mais nécessitait des ouvrages extrêmement solides, trop coûteux. Il faut également faire mention du « rotor » de Savonius que la force des vagues devait faire tourner. Plusieurs dispositifs basés sur ce principe furent essayés au Musée Océanographique de Monaco entre 1929 et 1930, mais leur faible rendement les firent abandonner.



Le barrage de la Rance s'appuiera sur l'île Chalibert que l'on voit ici à marée basse



Deux installations faisant appel à des flotteurs furent essayées : l'une à Guyotville, en Algérie, et l'autre au Musée Océanographique de Monaco. La première, due à Fusenot, ne donna pas des résultats très encourageants, tandis que la seconde, issue de l'imagination de F. Cattaneo de Voltri, fonctionna entre 1932 et 1939 et parvint à élever régulièrement à 36 m de hauteur l'eau de mer nécessaire aux aquariums; mais ce dispositif restait plus une curiosité qu'un engin rentable. Il finit, comme tous ses prédécesseurs, par être démolí par l'excès même de l'énergie qu'il était destiné à capter.

Après ces divers échecs et le faible rendement des installations essayées, l'idée d'asservir l'énergie des vagues semble devoir être abandonnée.

A la recherche des différences de température

L'idée d'utiliser l'énergie thermique des mers est très ancienne puisqu'elle remonte à d'Arsonval. Elle fut développée entre 1913 et 1923 par Campbell et T. Romagnoli. En France, cette idée fut reprise par Georges Claude et exposée dans une première communication à l'Académie des Sciences le 15 novembre 1926. Le principe était simple et reposait sur celui de Carnot, à savoir : toute transformation de la chaleur en énergie est subordonnée à une chute de température, donc à l'existence d'une source chaude et d'une source froide. La difficulté était de faire fonctionner des turbines sous de très faibles pressions. Or les expériences montrèrent que, malgré ces inconvénients, le rendement était acceptable. Des essais en vraie grandeur eurent lieu à Ougrée, sur la Meuse, et montrèrent, après plusieurs mois de fonctionnement, que le procédé était rentable.

Le site de Mantazas à Cuba fut choisi pour l'installation de la première usine réelle. Cette baie fut sélectionnée car l'emplacement répondait à deux conditions impératives : en premier lieu avoir une eau superficielle la plus chaude possible, donc se trouver dans une région équatoriale et, en second lieu,

présenter de grandes profondeurs à proximité du rivage, c'est-à-dire être situé au-dessus d'une profonde vallée sous-marine.

En 1929, la pose sur le fond du tube destiné au pompage de l'eau froide, fut une opération désastreuse. L'essai fut repris l'année suivante mais aboutit à un nouvel échec par suite de la difficulté de mouillage du tube. Un troisième essai fut enfin couronné de succès. L'usine ne fonctionna pourtant que quelques jours car une tempête disloqua définitivement le tube immergé. G. Claude abandonna la conception d'une usine terrestre et étudia une usine flottante. En 1934, le *Tunisie*, équipé d'installations appropriées, effectua des essais au large des côtes brésiliennes; après un certain temps de bon fonctionnement, le tube se brisa au cours d'une période de mauvais temps. Renonçant aux tubes immergés, G. Claude ne réalisa plus d'installations pour capter l'énergie thermique des mers.

Après la fin de la seconde guerre mondiale, A. Nizery étudia l'installation d'une usine à Abidjan. Les projets furent très poussés et des essais furent entrepris dans la métropole et en Côte d'Ivoire. La Société « Énergie des mers », constituée pour mener à bien les études et les premières réalisations, se heurta à d'importantes difficultés dans la conception, la construction et la pose du tube. Les essais sont actuellement en cours. On doit dire cependant que devant la perspective de l'utilisation pratique de l'énergie atomique, l'énergie thermique des mers a perdu une partie de son intérêt, elle se justifie pourtant encore dans les régions tropicales et équatoriales où n'existent ni houille blanche ni ressources énergiques du sous-sol. Elle reste intéressante par l'apport d'immenses quantités d'eau douce, sous-produit de la centrale, denrée extrêmement rare dans certaines régions.

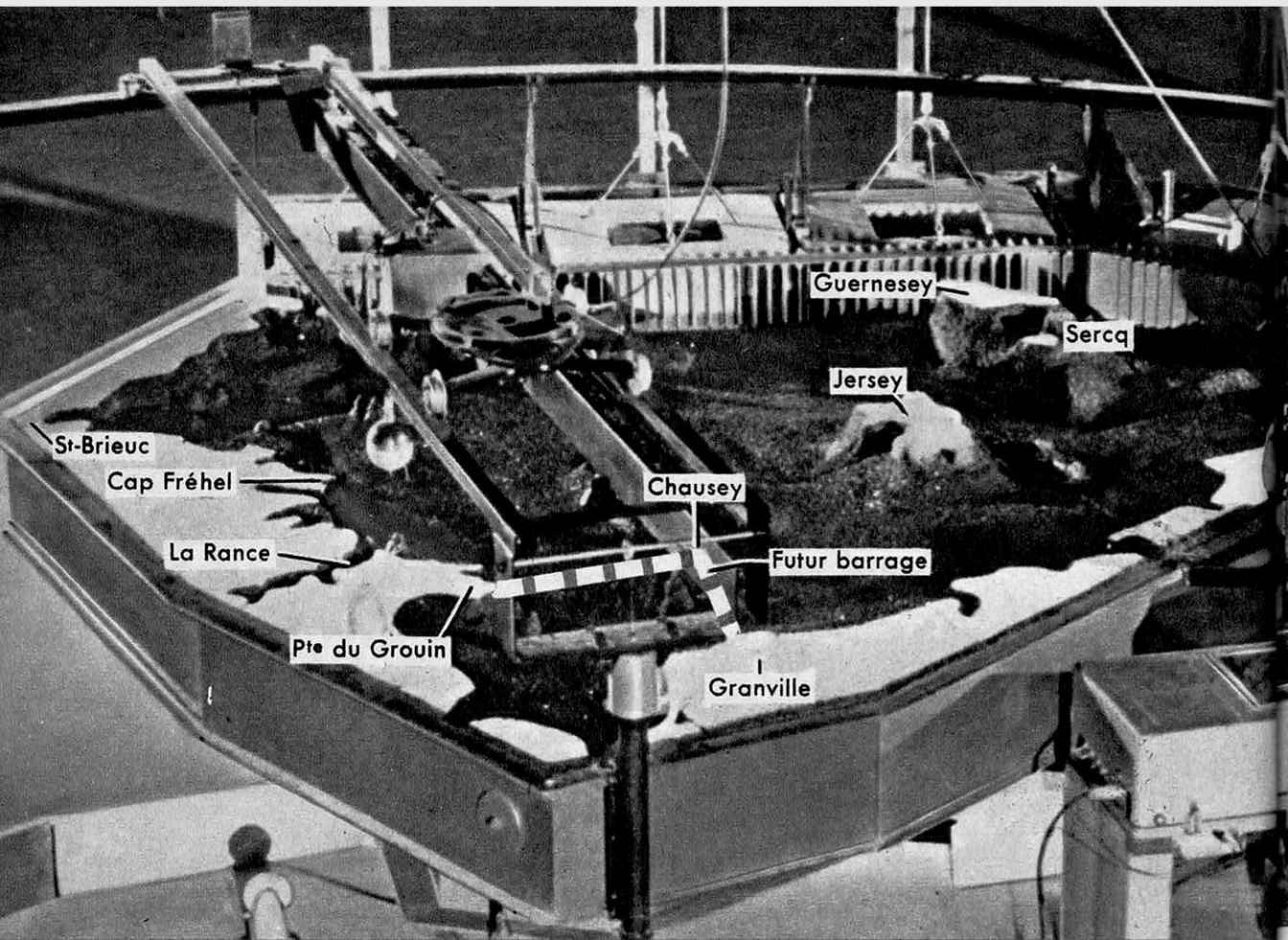
Des millions de kilowatts

Avec l'énergie des marées les objections tombent, la rentabilité est certaine et d'importantes réalisations sont en cours.

C'est en 1737 que Belindor proposa le premier projet d'usine marémotrice. D'autres suivirent, mais la première tentative de réalisation concrète date de 1922 lorsqu'une société privée étudia et commença la construction d'une petite usine dans l'estuaire de l'Aber Wrac'h, à 25 km au nord de Brest. L'usine devait comporter quatre turbines développant une puissance maximum de 5 200 ch. Après les premiers travaux, tout

← Groupe-bulbe prototype

Ce groupe-bulbe prototype en vraie grandeur a été installé dans une des écluses du port de Saint-Malo où il fonctionne depuis le mois d'octobre 1959. Le barrage de la Rance comportera vingt-quatre groupes analogues qui marcheront en turbines ou en pompes.



L'étude des marées du Golfe de Saint-Malo

LE projet de barrage de la baie du Mont-St-Michel nécessite une connaissance parfaite des marées qui sont étudiées sur le modèle réduit du Laboratoire National d'Hydraulique de Chatou, à gauche.

fut abandonné. Un autre projet sur l'Aber Benoit, à 4 km de l'estuaire précédent, n'eut aucune suite.

En Grande-Bretagne, les fortes amplitudes de la marée dans l'estuaire de la Severn incitèrent les ingénieurs à étudier la possibilité d'y installer une usine marémotrice. Les études furent assez poussées et une maquette fut construite; pourtant le projet fut abandonné.

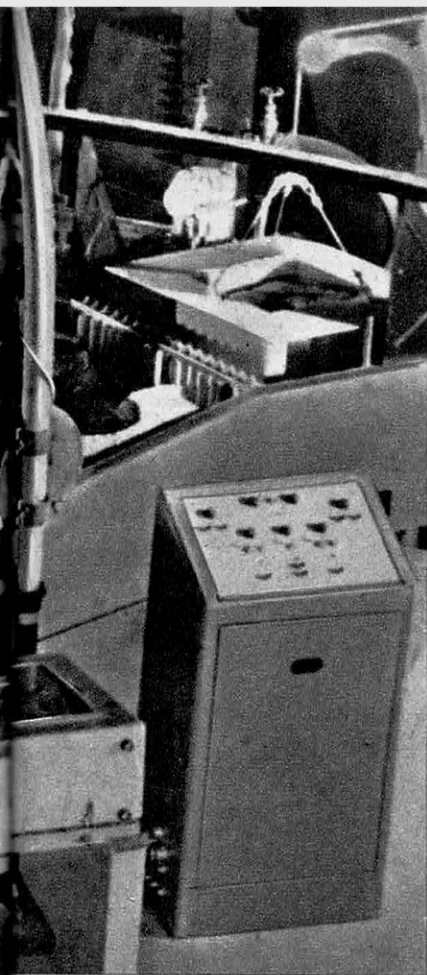
C'est aux États-Unis que les plus importants travaux d'endiguement, en vue de la construction d'une usine marémotrice, furent entrepris au cours de l'année 1935. Sur la côte atlantique, à la frontière canadienne, la baie de Passamaquoddy possède une échancre nommée baie de Cobscook. C'est celle-ci qui devait servir de bassin à la nouvelle usine prévue pour dix groupes de 10 500 kW chacun. Le rendement de cette usine était assez mauvais car ces groupes ne devaient

produire que 340 millions de kWh par an. Le site n'était pas excellent, l'amplitude de la marée n'étant que de 7,50 m. Quoi qu'il en soit, les travaux furent interrompus et ne furent jamais repris. La politique en matière d'étude et de construction des usines marémotrices en était là lorsque éclata la seconde guerre mondiale.

Il ne serait pas inutile de dire maintenant quelques mots des phénomènes naturels qui sont à la base de cette énergie et des différents cycles préconisés pour son utilisation.

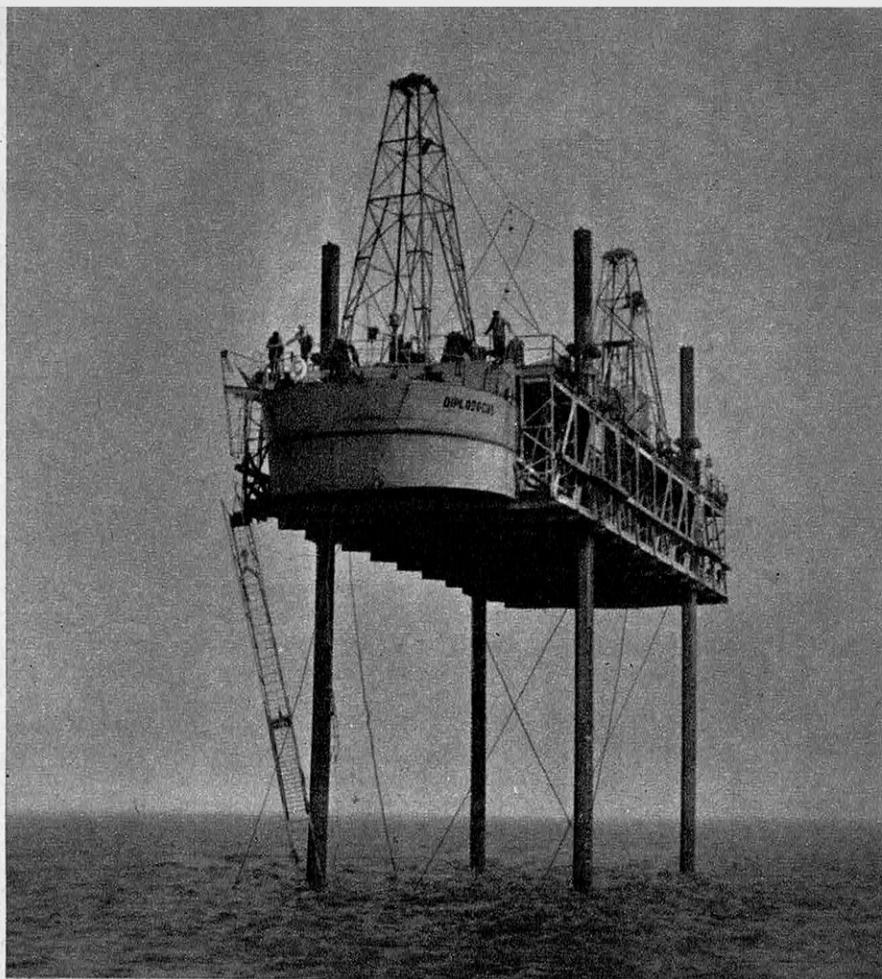
A chaque site son barrage

La marée étant due à l'influence des astres, la répartition géographique des amplitudes est en rapport avec la forme et la dimension des bassins. Il existe des régions privilégiées, généralement de faible étendue, où les amplitudes de la marée sont extrêmement élevées.



Le mouvement de ces marées, d'une période de 20 s, est déterminé par les cinq plongeurs visibles à l'arrière de la maquette, tandis que celle-ci tourne sur elle-même en 51 s pour tenir compte, à l'échelle,

Pour qu'une telle région puisse être équipée, il est indispensable qu'elle présente des échancrures, des baies ou des estuaires susceptibles d'être utilisés comme bassins de retenue. La différence de niveau entre celui de l'eau emmagasinée dans un tel bassin et celui de l'eau libre à l'extérieur, peut être utilisée par les turbines de l'usine suivant plusieurs cycles qui, en première approximation, se ramènent à trois types principaux : cycle à simple effet et un seul bassin, cycle à double effet et un seul bassin, cycle à plusieurs bassins à simple et double effet. On dit qu'une usine fonctionne à simple effet quand les turbines tournent toujours dans le même sens, uniquement pendant la vidange du bassin. Dans un cycle à double effet, les turbines tournent dans les deux sens, pendant la vidange et le remplissage du bassin. En conciliant les deux effets, en imaginant plusieurs bassins et en faisant travailler à cer-



de l'influence de la force de Coriolis. Le bras pivotant porte les instruments de mesure. Ci-dessus est le « Diplodocus », l'un des engins utilisés pour déterminer l'épaisseur des sédiments meubles dans la baie.

taines heures les turbines en pompes, on peut concevoir des cycles compliqués dont certains seraient bien adaptés à des conditions géographiques particulières ou à des caractéristiques bien définies de la marée. Chaque site doit faire l'objet d'une étude spéciale et la rentabilité maximum ne sera obtenue qu'en employant le cycle et le nombre de bassins adaptés au lieu.

Nous avons laissé l'histoire des usines marémotrices aux États-Unis après l'abandon du projet de Passamaquoddy. Jusqu'à la seconde guerre mondiale rien de nouveau n'apparût dans ce domaine jusqu'au 8 octobre 1941 où fut créée la Société d'Études pour l'Utilisation des Marées (S.E.U.M.). Après la Libération, par suite de la nationalisation, la Société devint Service, l'organisme conserva ses initiales et se développa considérablement après la fin des hostilités.

Si le nom de A. Nizery reste attaché à

l'énergie thermique des mers, celui de Vantroyes est inséparable de l'énergie des marées. En effet, pendant 15 ans, inlassablement, il dirigea le S.E.U.M. Malheureusement, tous les deux furent enlevés en pleine force de l'âge, surmenés par le travail écrasant qu'ils avaient accompli.

Le site de la Rance fut choisi pour une usine pilote et un autre projet plus vaste concerne la baie du Mont-Saint-Michel. Dès 1946 les essais sur maquette furent entrepris en laboratoire et en 1955, le S.E.U.M. s'installe à Saint-Servan. Une véritable flotte de bâtiments de 10 à 20 mètres sillonne depuis 5 ans les eaux de l'estuaire et de la baie du Mont-Saint-Michel jusqu'à Jersey et jusqu'à la pointe de la Hague. Des engins spéciaux qui portent les noms évocateurs de *Diplodocus* et de *Ludion* ont procédé à des forages tubés tant dans la Rance qu'entre la pointe du Grouin, les îles Chausey et Granville. D'autres dispositifs comme la *Microtour* ont effectué des sondages à la lance pour déterminer l'épaisseur des sédiments meubles. Des équipes d'hommes-grenouilles entreprirent la prospection de tout le fond sous-marin et des spécialistes ont dressé les cartes géologiques. Un réseau de marégraphes et de courantographes disposés à des emplacements appropriés permirent d'étudier toute l'hydrologie des régions à équiper : Enfin, pour que le point où les mesures ont été faites soit déterminé avec le maximum de précision, un réseau de radio-navigation Rana fut installé, couvrant une vaste zone allant au-delà de la baie elle-même. Les problèmes de corrosion ne furent pas oubliés. A l'emplacement présumé du futur barrage de la Rance, des installations spéciales furent mises en place pour servir à l'exposition et à l'immersion des divers revêtements et des différents métaux appelés à être éventuellement utilisés.

En même temps que se poursuivaient les études sur le terrain et en mer, les hydrauliciens travaillaient sur modèles réduits à Saint-Servan même et au Laboratoire National d'Hydraulique de Chatou, tandis que les ingénieurs dessinaient le barrage et les groupes.

Les projets « Rance » et « Chausey »

Le premier projet sur la Rance comportait 18 groupes de 20 000 kW. Chaque groupe devait être constitué par un alternateur à axe vertical avec une turbine Kaplan. Ce projet fut abandonné en 1955 pour un autre comportant 38 groupes de 9 000 kW chacun d'une conception totalement différente. Le groupe classique à axe vertical fut remplacé par un groupe-bulbe amont monobloc à

axe de rotation horizontal. A titre expérimental, l'usine de Cambeyrac fut équipée avec des groupes de ce type. Entre 1955 et 1960, diverses variantes de ce projet virent le jour. C'est ainsi que le nombre de groupes passa successivement de 38 à 32 puis à 24. C'est ce dernier qui est actuellement retenu.

Depuis le mois d'octobre de l'année passée, un groupe bulbe amont monobloc expérimental fonctionne dans une écluse du port de Saint-Malo. Il fonctionne soit en turbine, en profitant de la dénivellation entre le niveau du bassin à flot et celui de la basse mer, soit en pompe en élevant l'eau de ce bassin. Ce groupe a déjà fourni de très précieux enseignements pour la future usine.

Malgré les modifications techniques successives, l'emplacement choisi pour l'usine elle-même n'a guère varié. Déjà dans les premiers projets, on trouve le tracé du barrage reliant la pointe de la Brebis à celle de la Briantais et en s'appuyant sur l'îlot Chaligny. Protégé des houles du large par la configuration de la côte et les îles de Bizeux et de Zorieux, la construction de ce barrage, long de 725 mètres, ressortira plus de la construction des barrages fluviaux que de celle des ouvrages maritimes. Le projet d'une usine marémotrice à cet endroit souleva au début du projet un grand nombre d'oppositions de la part des admirateurs du site naturel, mais actuellement tout le monde semble d'accord sur l'utilité de l'usine et sur le fait qu'elle n'enlaidira pas l'admirable estuaire de la Rance.

Un autre projet, vraiment grandiose, dû comme celui de la Rance à R. Gibrat, concerne la baie du Mont-Saint-Michel. Les études techniques sont nettement moins avancées car on attend les enseignements que fournira l'usine de la Rance. Dans ce projet baptisé « projet des Chausey », il s'agit de barrer toute la baie par une digue partant de la pointe du Grouin et aboutissant à Granville en s'appuyant sur l'île de Chausey. Une telle usine fournirait des millions de kilowatts, environ le quart de la consommation nationale actuelle ; sa construction ne peut donc être envisagée qu'en prévision d'un plan général de production électrique à longue échéance.

Nous pensons personnellement que ce projet sera réalisé car, en dehors des questions de prix de revient du kilowatt-heure atomique, les difficultés d'élimination des déchets iront en s'aggravant et il restera toujours une place pour les énergies « propres ».

V. ROMANOVSKY

Directeur du Centre de recherches
et d'études océanographiques



Paraît tous les mois

**De grandes enquêtes sur les
problèmes que pose le monde moderne**

Des reportages exclusifs

LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE

24, Rue Chauchat, Paris 9^e - Tél. TAI 72-86

Océanographie - Les Poissons - Exploration, Chasse sous-marines

Cette bibliographie établie d'après le stock d'ouvrages sélectionnés de notre librairie ne représente qu'une partie des ouvrages figurant dans notre catalogue général (Franco NF 3,50).

Océanographie

LA MER (Romanovsky V., Francis-Bœuf C. et Bourcart J.). Panorama de la mer. Mystères, croyances et légendes de la mer. Histoire de l'océanographie. Côtes et fonds marins. L'eau de mer : propriétés physiques et applications industrielles. Pénétration de l'homme sous l'eau. La mer et l'atmosphère. Mouvements de la mer (vagues, marées, théorie des courants). Les grands courants océaniques. L'adaptation de l'homme à la mer : les navires et les ports. L'eau de mer : Constitution et applications industrielles. La vie en pleine eau. La vie sur les fonds marins (les existences benthiques). Les dépôts marins. Protection des côtes et construction des ports. 504 p. 21 x 29, 870 illustrations, 16 hors-texte en couleurs, relié, sous jaquette couleurs, 1953 NF 72,00

TRAITÉ D'Océanographie Physique (Rouch J.). Tome I : Sondages - Sondages : par faibles profondeurs ; par profondeurs moyennes ; par grandes profondeurs. Sondages : par mesure de la pression ; sans fil ; par le son ; par les ultra-sons. Les ramasseurs de fond. La nature du fond. Cartes bathymétriques. Étendue et profondeur moyenne des mers. Fosses et hauts-fonds. Le plateau continental. Navigation à la sonde. Les profondeurs : de l'Océan Atlantique ; des mers secondaires de l'Océan Atlantique ; de l'Océan Pacifique ; des mers secondaires de l'Océan Pacifique ; de l'Océan Indien. 256 p. 14 x 22,5, 100 fig., 11 tabl., 1943 NF 5,00

Tome II : L'eau de mer - La température de la surface de la mer. La température de surface dans les divers océans. La température de la mer comparée à la température de l'air. La mesure des températures de l'eau de mer en profondeur. La température de l'eau de mer en profondeur. Température de l'eau de mer en profondeur dans les divers océans. La récolte des échantillons d'eau de mer. La densité de l'eau de mer : Pycnomètre et aréomètre ; l'indice de réfraction ; la conductivité électrique. La densité de l'eau de mer en surface et en profondeur. La composition de l'eau de mer ; la salinité. La salinité de surface dans les divers océans. La salinité en profondeur. Diagrammes T-S. Le pH de l'eau de mer. Nitrates et phosphates. Les gaz dissous dans l'eau de mer : oxygène, acide carbonique, hydrogène sulfuré. La transparence et la couleur de la mer. Propriétés physiques diverses de l'eau de mer. Les glaces marines. Extension des glaces marines dans les régions tempérées. 350 p. 14 x 22,5, 150 fig., 9 tabl., 1946 NF 5,00

Tome III : Les mouvements de la mer - La houle et les vagues ; mesure de leurs éléments. Données expérimentales et théorie de la houle. Effet des vagues sur les navires. Ondes solitaires. Ondulation en eau peu profonde. Ondes stationnaires ; seiches. Ondes de température et de salinité. Le niveau de la mer. Observation de la marée. Lois générales de la marée déduites des observations. Les marées : des côtes de France ; dans les divers océans. Théorie, prédiction, courants des marées. Les marées dans les fleuves ; marées

lagunaires. Utilisation industrielle de la marée. Mesure des courants : de surface ; de profondeur. Mesure des courants profonds par les méthodes indirectes. Les courants : de l'Océan Atlantique ; de l'Océan Pacifique ; de l'Océan Indien ; des mers polaires. Les causes des courants ; le vent. Courants de densité. La circulation marine profonde. 398 p. 14 x 22,5, 176 fig., 2 tabl., 1948 NF 8,00

LES DÉCOUVERTES Océanographiques MODERNES (Rouch J.). Sondages : La mesure de la profondeur. Applications diverses des sondeurs par le son. Modifications aux cartes bathymétriques. La nature du fond. L'eau de mer : La température de la mer. La salinité et les gaz dissous. Optique de la mer. Les glaces. Les mouvements de la mer : Vagues et houle. La marée. Les courants marins. 251 p. 14 x 23, 22 fig., 1959 NF 16,00

GÉOGRAPHIE DU FOND DES MERS (Bourcart J.). Étude du relief des Océans. Le lever du relief sous-marin. Les formes du relief océanique. Le contour des océans. La marge continentale. Le relief des grands océans. 307 p. 14 x 23, 107 croquis et cartes, 1949 NF 12,00

LES PROFONDEURS DE LA MER. Trente ans de recherches sur la faune sous-marine au large des côtes de France. (Le Danois Éd.). Introduction : Les communautés animales. Remarques générales sur les profondeurs marines de l'Irlande à l'Espagne. L'Exploration scientifique au large des côtes de France. Description topographique sommaire. Remarques géologiques : La formation du plateau continental. Remarques hydrologiques : Les climats marins. Les secteurs bionomiques de l'Irlande à l'Espagne. Description des facies bionomiques : Principes de détermination des facies. Les facies : subcôtiers ; de bordure continentale ; de la pente atlantique ; coralliens ; de la plaine bathypélagique. Conclusions géographiques : La répartition géographique des facies bionomiques. Les délimitations biogéographiques. Suppléments : Répertoire zoologique de la faune sous-marine entre le 43^e et le 54^e Nord. Liste générale des stations des navires océanographiques, utilisées dans cet ouvrage. 304 p. 14 x 23, 56 cartes et fig., 8 pl. hors-texte, 1948 NF 12,00

LES RICHESSES DE LA MER. Technologie biologique et océanographique (Boudarel N.). Aspect des océans ; physique terrestre. Composition de l'eau de mer. Mouvements de la mer. La vie dans les océans. Les algues. Productions d'origines animales. Les engins de pêche. Les pêches. Les conserves et industries annexes. 548 p. 16,5 x 25,5, 1 020 fig., 1948 NF 30,00

LES FRONTIÈRES DE L'Océan (Bourcart J.). La limite entre terre et mer. Les mécanismes d'action de la mer. L'érosion marine : les côtes rocheuses et les falaises. Les apports de la mer : les côtes sableuses et vaseuses. L'ingression de la mer dans le continent : rias, fjords et estuaires. Le socle continental. 318 p. 14 x 19, 77 fig., 1952 NF 9,00

LA VIE ÉTRANGE DES RIVAGES MARINS (Le Danois Éd.). La structure des rivages. La vie dans les roches des côtes atlantiques. La vie dans les sables et les vases des côtes atlantiques. Les rivages de la méditerranée. 192 p. 22 x 28, nombr. dessins, 84 planches en héliogr. et 16 hors-texte en coul., relié toile, 1953 NF 38,50

LES MERVEILLES DES OCÉANS (Douglas J.-S.). Traduit de l'américain. L'exploration des profondeurs. Les terres sous-marines. La course des fleuves salés. Les jardins de l'océan. Les limons primitifs. « Insectes » des mers. Étoiles de mer, oursins et holothuries. Poissons et mammifères. Mammifères déguisés en poissons. 236 p. 14 x 23, 1954 NF 10,00

PASSEPORT POUR L'OCÉAN. Ressources marines (Malkus A.). Traduit de l'américain par A. de Périnelle et Fouéré R. — Les mystères de la mer. La mer et le globe. La vie de la mer. La vie dans la mer. La mer au secours de l'homme. 222 p. 16 x 21, 16 pl. photos hors-texte, 1959 NF 9,60

LA VIE DE L'OCÉAN (Carson R.-L.). Les rivages, le large et les profondeurs explorés par la grande naturaliste américaine. 220 p. 16 x 21,5, nombr. fig., 1952 NF 7,00

LES OCÉANS (Rouch J.). (A.C. n° 310). Les procédés d'observation. Les résultats. Les applications. 216 p. 11 x 16,5, 14 fig., 1957 NF 4,50

LA HOULE et son action sur les côtes et les ouvrages côtiers (Djounkovski N.-N. et Bojitch P.-K.). Généralités. Théorie des vagues courtes à deux dimensions. Facteurs déterminant les caractéristiques et la nature des vagues. Protection contre les vagues par les ouvrages portuaires. L'action des vagues sur les ouvrages de protection portuaire. L'entraînement des matériaux mobiles par les vagues. L'érosion des côtes maritimes non abritées. Les moyens de défense. L'ensablement des côtes maritimes non abritées. Les moyens de défense. Observation et étude des vagues. 104 p. 16 x 25, 233 fig., relié toile, sous jaquette, 1959 NF 55,00

LES POISSONS

NOUVELLE HISTOIRE NATURELLE DES POISSONS (Norman J.-R.). Traduit de l'anglais et annoté par Le Danois Éd. — Introduction. Forme et locomotion. Respiration. Nageoires. Peau, écailles et épines. Bouche et mâchoires. Dents et nourriture. Organes venimeux, électriques, lumineux et reproducteurs de son. Organes internes. Système nerveux et organes des sens. Coloration. Conditions de vie. Distribution et migrations. Reproduction. Accouplement, mœurs nuptiales et instinct familial. Développement. Poissons fossiles et phylogénie. Classification. Les poissons et l'industrie humaine. Mythes et légendes. Appendice sur un coelacanthide vivant. 352 p. 14 x 23, 150 fig., 1950 NF 9,60

POISSONS (Le Danois Éd., Millot, Monod J. et Rudler P.). Quelques lois naturelles : Le déterminisme vital des océans. Ambiances et couleurs. Régions boréales : Mers arctiques. L'aventure glaciaire des saumons. Bords de Terre-Neuve et du Grand Nord. La grande masse vivante des mers boréales. Régions tempérées : un coup de chalut sur la Grande Sole. A bord des petits bateaux. Fleuves et lacs des continents du Nord. Régions tropicales : Au grand large. Requins. Mer des Sargasses. L'épopée des thons. La féerie des coraux. Du Nil au Congo. En descendant l'Amazone. Marécages d'Asie. Régions australes : Au pays du Coelacanth. Sous la Croix du Sud. Dans les grands fonds : En bathyscaphe. Dans la nuit froide des abysses. Tableau de classification sommaire des poissons actuels. 208 p. 22,5 x 28, 96 pl. photos dont 16 pl. hors-texte en couleurs, relié toile, sous jaquette couleurs, 1956 NF 38,50

ATLAS DES POISSONS: POISSONS MARINS (Bougis P.). Tome I: Généralités. Requins. Raies. Clupes. Gades. Poissons plats: Anatomie et physio-

logie. Classification générale des poissons fossiles et actuels. 202 p. 13,5 x 18,5, 52 fig., 16 photos et 12 pl. couleurs hors-texte, représentant 52 espèces, couverture quadrichromie pelliculée, 1959 NF 16,50

Tome II: Perches de mer. Thons. Rascasses. Poissons de récifs. Poissons coffres. Coelacanth, etc. 234 p. 13,5 x 18,5, 50 fig., 16 photos et 12 pl. couleurs hors-texte, représentant 62 espèces, couverture quadrichromie pelliculée, 1959 NF 16,50

LA FAUNE DES OCÉANS (Boulenger E.-G.). Histoire naturelle de la mer. Le monde mystérieux des profondeurs marines où la lutte pour la vie est plus âpre, plus incessante, peut-être, que sur la terre. 202 p. 14 x 23, 51 fig., 1951 NF 3,60

LES PRODUITS DE LA PÊCHE (Penso G.). Traduit de l'italien par Montera P. (de). Les produits de la pêche dans l'alimentation humaine : composition chimique et valeur alimentaire des produits de la pêche. Inspection sanitaire des produits de la pêche: fraîcheur et avarie des produits de la pêche. Poissons et mollusques venimeux. Maladies des poissons, des mollusques et des crustacés. Les mollusques comestibles vecteurs de maladies infectieuses. Altérations des conserves de poissons, de mollusques et de crustacés. Conservation du poisson frais: conservation du poisson vivant. Réfrigération. Congélation. Industrie des produits de la pêche, conserves et produits dérivés. Salage. Séchage. Fumage. Marinage. Stérilisation. Extraits de poisson. Huiles et farines de poisson. Colle de poisson et autres sous-produits. Équipement industriel. Bibliographie. 418 p. 18,5 x 27, 334 fig., en noir et en couleurs, 1953 NF 45,00

LES PRODUITS D'ORIGINE MARINE ET FLUVIALE (Besnard W.). Étude des matières premières : origines, applications alimentaires et industrielles. Leur importance dans l'économie mondiale. 365 p. 14,5 x 22,5, 23 pl., 14 fig., 1 carte, 2 diagrammes et 66 tabl. NF 7,50

LA PÊCHE MARITIME ET LE PÊCHEUR EN MER (Dupouy A.). (A.C. n° 300). Marée basse. La faune des mers. Barques et engins. Ports de pêche. Pays de pêcheurs. Pêche moderne. Un allié : le client. Une alliée : la science. La vie de chaque jour. Le sens du métier. 216 p. 11 x 16,5, 1955 NF 4,50

VIE ET MŒURS DES MOLLUSQUES (Fischer P.-H.). Place des mollusques dans la nature. Les peuplements de mollusques. Activité individuelle. Évolution individuelle. Sensibilité et psychisme. 312 p. 14 x 23, 180 fig., 1950 NF 12,00

MŒURS ÉTRANGES DES MOLLUSQUES (Hyatt Verrill A.). Structure et développement. Comment se produisent les dessins et les couleurs des coquilles. Coquillages rares. Constructeurs de radeaux. Perceurs de rochers. Naufrageurs. Coquillages géants, etc. 173 p. 14 x 23, 108 fig., 1953 NF 7,00

EXPLORATION, CHASSE SOUS-MARINES

ENCYCLOPÉDIE DU MONDE SOUS-MARIN. Archéologie. Chasse. Cinéma. Énergie des mers. Exploration. Films. Géologie. Ichtyologie. Législation. Marées. Monstres marins. Nageurs de combat. Océanographie. Optique. Photographie. Plongées. Records. Sauvetage. Sous-marins, etc. 560 p. 13,5 x 18, dont 464 p. de texte et 96 p. d'illustration héliogr., nombr. fig., relié toile, sous jaquette, couleurs, 1957 NF 31,50

LES DÉCOUVERTES SOUS-MARINES MODERNES (Doukan, Dr G.). Exploration sous-marine indirecte. Chasse sous-marine. Exploration directe au scaphandre autonome. Tourisme sous-marin. Archéologie sous-marine. Les épaves. Profondeurs extrêmes. Photographie et cinéma sous-marins. Télévision sous-marine. Plongées et biologie marine. 229 p. 14 x 23, 47 dessins de l'auteur et 23 photos hors-texte, 1954 NF 15,00

LIBRAIRIE

L'EXPLORATION SOUS-MARINE (Rebikoff D.). Principes et physiologie de la plongée autonome. Histoire du scaphandre autonome. Le scaphandre autonome moderne. Comment plonger. Quelques aventures sous-marines. Les domaines de l'exploration sous-marine. La photographie et le cinéma sous-marins. 255 p. 16 x 21, 21 héliogravures et 6 photos en couleurs, 1952 NF 10,00

LE MONDE DU SILENCE (Cousteau J.-Y. et Dumas F.). Hommes-poissons. L'ivresse des profondeurs. Épaves. Groupes de recherches sous-marines. Plongées sous la Terre. Les trésors des épaves. Un musée englouti. Par cinquante brasses. Le dirigeable sous-marin. Compagnons de mer. La légende des monstres. Gros plans de requins. L'eau de la mer. Où le sang coule vert. Épilogue. 224 p. 15 x 23,5, 100 illustrations dont 20 en couleurs, 1953 NF 9,90

CHASSES AUX FAUVES DE LA MER (Isy-Schwartz M.). Mes premières flèches. Le royaume des mérous. Requin-renard, lamparos et bandits. Ange des mers aux Canaries. Brésil : paradis sous-marin. Au pays des mérous géants. Première rencontre avec la raie-manta. Barracuda ou le tigre des mers. Mon record du monde. Gustave et le poisson-pilote. Dans la mer des Caraïbes. Le Club des chasseurs sous-marins de France. 240 p. 14 x 19,5, 18 pl. photos hors-texte, 1955 NF 7,80

EXPÉDITION « MOANA ». Le Tour du monde de la chasse sous-marine (Gorsky B.). Tome I: Polynésie-Caraïbes. 284 p. 16 x 21, 22 pl. photos hors-texte dont 8 en couleurs, 1957 NF 9,90
Tome II: Ouest-Pacifique, Océan Indien, Mer rouge, Méditerranée. 286 p. 16 x 21, 22 pl. photos hors-texte dont 8 en couleurs, 1957 NF 9,90

DANS LE SILLAGE DES MONSTRES MARINS. Le Kraken et le Poulpe colossal (Heuvelmans B.). Ici, tout est possible. Ceux qui ont les pieds attachés à la tête. Arbre généalogique du formidable kraken. Histoire entière du calmar-chef. La part de l'ombre. 498 p. 14,5 x 19, 4 cartes, 64 illustr., 29 hors-texte, reliure souple, 1958 NF 15,00

A LA RECHERCHE DU MONDE MARIN (Latil P. de et Rivoire J.). 384 p. 14,5 x 20,5, 47 illustr. hors-texte et nombreux dessins dans le texte, 1954 .. NF 9,90

TROIS CHASSEURS SOUS LA MER (Hass H.). Traduit de l'allemand par Daussy H. 224 p. 15,5 x 21, 16 photos hors-texte, 1956 NF 11,00

BALEINES ET BALEINIERS (Budker P.). Les cétacés. Baleines, baleinoptères, cachalots. « Les Travaux et les Jours... ». Migrations, reproduction, alimentation. « Pique la baleine ». Baleines tropicales. Un certain dossier. Protection, réglementation. 194 p. 15 x 21, 11 fig., 32 pl. photos, relié toile, sous jaquette plastique, 1958 NF 18,00

LA GRANDE AVENTURE DES BALEINES (Blond G.). Des baleines et des hommes. Créatures du cinquième jour. L'ère du cachalot. Les baleiniers de l'Antarctique. 211 p. 15,5 x 21,5, 12 photos, relié toile, 1953 NF 10,50

LA PÊCHE SPORTIVE DES GROS POISSONS DE MER (Burnand T.). Quels sont les gros poissons de mer ? Procédés et matériel de pêche au moyen gros : Les pêches de terre. La pêche à la traîne. Les différentes actions de pêche au moyen gros. Pêches métropolitaines. La pêche au moyen gros sur les Côtes d'Afrique Noire.

Où trouver les gros poissons de mer ? La pêche au tout gros. 134 p. 16 x 20, 50 photos, 1960 .. NF 9,90

L'AVENTURE SOUS-MARINE (Diolé Ph.). Baptême de l'eau. La conquête des profondeurs. Rencontres. Grottes marines. Domestication. Noces. L'aigue vierge. Sensibilité sous-marine. Musées sous la mer. Les étapes de la mer. 267 p. 14 x 19, 32 hors-texte en hélios, 1951 NF 6,90

PROMENADES D'ARCHÉOLOGIE SOUS-MARINE (Diolé Ph.). Jeunesse de l'archéologie. Chefs-d'œuvre par 40 m de fond. Les voyages de Dionysos. De Monaco à Narbonne. Fos-sur-Mer. Le carrare de St-Tropez. Le port de Charchell. L'homme et la mer. Un scaphandre pour Clio. L'enjeu. 268 p. 14 x 19, 16 pl., 1952 NF 7,80

DU NAUTILUS AU BATHYSCAPHE (Latil P. de). Les beaux rêves de Jules Verne. Défense d'aller plus bas. Les monstres des ténèbres. Peut-on pêcher la serpent de mer ? Les plus grandes pêches du monde. La vie à 10 000 m. Une incarnation de Nemo ? Scénario de film pour l'an 2000. Toutes les apparences d'un match. De plus en plus profond. 188 p. 16 x 21, 54 illustr. dont 12 en couleurs, sous jaquette couleurs, 1956 NF 12,50

LE BATHYSCAPHE à 4 050 m au fond de l'océan (Houot G. et Willm P.). Autour des plans. La nuit du 15 au 16 mai 1953. Lancement. Les données du problème. Petites plongées. Première grande descente. La fin d'un cycle. Alerte dans la sphère. Promenade dans un canyon. Premiers contacts avec l'Atlantique. Moins 4 050. Balbutiements scientifiques. 194 p. 15 x 24, 4 fig., 46 photos hors-texte dont 8 en couleurs, 1 carte, 1954 NF 7,95

AU FOND DES MERS EN BATHYSCAPHE (Piccard, Professeur A.). De la stratosphère au fond des mers. Le « Trieste ». Regards sur l'avenir. Compléments techniques. Annexe. 292 p. 16 x 21,5, 49 photos hors-texte, 27 dessins, 1954 NF 8,90

LA PLONGÉE. Marine Nationale (Groupe d'études et de recherches sous-marines). Notions de physique appliquées à la plongée. Appareils et matériel de plongée. Physiologie et accidents de la plongée. Tables de plongée. Calcul des tables de plongée. Mélanges respiratoires. La plongée libre. Pratique du scaphandre autonome. La photographie sous-marine. 154 p. 15 x 20, 18 fig., 30 photos hors-texte. Table des plongées à l'air. Annexe : table des plongées successives, relié, 1955 NF 13,00

TRAITÉ DE PLONGÉE (Guillaume Dr J. et Rivoire J.). Mythes et histoire de la plongée sous-marine. Le milieu physique. Les bases physiologiques de la plongée. Les techniques de la plongée. Ses applications. 214 p. 14 x 22, 55 fig., 1955 NF 12,00

MANUEL DE L'HOMME SANS POIDS. Plongeur autonome (Gruss R.). Aptitudes. Le scaphandre. Matériel de complément. La plongée. Incidents. Maniement du matériel. Instructions formelles de plongée. De quelques animaux marins. 77 p. 14 x 18,5, 10 fig., 6 illustr. phot. dans le texte, 1953 NF 4,00

LA PLONGÉE SOUS-MARINE ET LE DROIT (Dumas J.). Notions générales. Les différents modes d'acquiescer la propriété. La réglementation de la chasse sous-marine. La plongée en scaphandre. Le sauvetage des épaves. Les choses du cru de la mer et autres épaves particulières. 192 p. 13,5 x 18,5, 1957 NF 6,00

Les commandes doivent être adressées à la LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE, 24, rue Chauchat, Paris (9^e). Elles doivent être accompagnées de leur montant, soit sous forme de mandat-poste (mandat-carte ou mandat-lettre), soit sous forme de virement ou de versement au Compte Chèque Postal de la Librairie : Paris 4192-26. Au montant de la commande doivent être ajoutés les frais d'expédition, soit 10 % (avec un minimum de NF 0,90). Envoi recommandé : NF 0,60 de supplément.

Il n'est fait aucun envoi contre remboursement.

N'ATTENDEZ PAS !

Commencez chez vous dès maintenant les études les plus profitables

grâce à l'enseignement par correspondance de l'Ecole Universelle, la plus importante du monde, qui vous permet de faire chez vous, en toutes résidences, à tout âge, aux moindres frais, des études complètes dans toutes les branches, de vaincre avec une aisance surprenante les difficultés qui vous ont jusqu'à présent arrêté, de conquérir en un temps record le diplôme ou la situation dont vous rêvez. L'enseignement étant individuel, vous avez intérêt à commencer vos études dès maintenant.

Demandez l'envoi gratuit de la brochure qui vous intéresse :

- Br. 36.600 : **Les premières classes** : 1^{er} degré, 1^{er} cycle : Cours préparatoire (Cl. de 11^e), Cours élémentaire (Cl. de 10^e et 9^e), Cours moyen (Cl. de 8^e et 7^e), Admission en 6^e.
- Br. 36.605 : **Toutes les classes, tous les examens** : 1^{er} degré, 2^e cycle : Cl. de fin d'études, Cours Complémentaires C.E.P., Brevets, C.A.P.; 2^e degré : de la 6^e aux Cl. de Lettres sup. et de Math. spéc., Baccalauréats, B.E.P.C., Bourses; **Classes des Collèges techniques**, Brevets d'enseign. industr. et commerc., Bacc. technique.
- Br. 36.602 : **Les études de Droit** : Capacité, Licence, Carrières juridiques (Magistrature, Barreau, etc.).
- Br. 36.614 : **Les études supérieures de Sciences** : P.C.B., Certificats d'études sup. (M.G.P., M.P.C., S.P.C.N., etc.), C.A.P.E.S. et Agrégation de Math.
- Br. 36.623 : **Les études supérieures de Lettres** : Propédeutique, certif. d'ét. sup., C.A.P.E.S., Agrégation.
- Br. 36.627 : **Grandes Ecoles et Ecoles spéciales** : Polytechnique, Ecoles normales sup., Chartes, Ecoles d'Ingénieurs, Militaires (Terre, Air, Mer), d'Agriculture, de Commerce, Beaux-Arts, Administration, Ecoles Professionnelles, Ecoles spéciales d'Assistances sociales, Infirmières, Sages-Femmes.
- Br. 36.604 : **Carrières de l'Agriculture** (Régisseur, Directeur d'Exploitation, Chef de culture, Aviculteur, Apiculteur, etc.), des **Industries agricoles** (Laiterie, Sucrerie, Meunerie, etc.), du **Génie rural** (Entrepreneur, Conducteur, Chef de chantier, Radiesthésie), de la **Topographie** (Géomètre expert).
- Br. 36.615 : **Carrières de l'Industrie et des Travaux publics** : Electricité, Electronique, Physique nucléaire, Mécanique, Automobile, Aviation, Métallurgie, Mines, Prospection pétrolière, Travaux publics, Architecture, Métier, Béton armé, Chauffage, Froid, Chimie, Dessin industriel, etc.; C.A.P., B.P., Brevets de technicien (Bât., Tr. Publics, Chimie); Préparations aux fonctions d'ouvrier spécialisé, Agent de maîtrise, Contremaître, Dessinateur, Sous-Ingénieur.
- Br. 36.603 : **Carrières de la Comptabilité** : Caissier, Chef-magasinier, Teneur de Livres, Comptable, etc.; Prép. au C.A.P. d'Aide-Comptable, au B.P. de Comptable, au Diplôme d'Etat d'Expert-Comptable.
- Br. 36.616 : **Carrières du Commerce** : Employé de bureau, Sténodactylo, Employé de Banque, Publicitaire, Secrétaire, Secrétaire de Direction, etc.; prép. aux C.A.P. et B.P.; **Publicité, Banque, Bourse, Assurances, Hôtellerie.**
- Br. 36.607 : **Pour devenir Fonctionnaire** (France et Outre-Mer; jeunes gens et jeunes filles, sans diplôme ou diplômés) dans les P.T.T., les Finances, les Travaux publics, les Banques, la S.N.C.F., la Police, le Travail et la Sécurité Sociale, les Préfectures, la Magistrature, etc.; **Ecole Nationale d'Administration.**
- Br. 36.617 : **Les Emplois Réservés** aux militaires, aux victimes de guerre et aux veuves de guerre : examens de 1^{re}, de 2^e et de 3^e catégorie; examens d'aptitude technique spéciale.
- Br. 36.610 : **Orthographe, Rédaction, Versification, Calcul, Dessin, Ecriture.**
- Br. 36.619 : **Calcul extra-rapide et calcul mental.**
- Br. 36.606 : **Carrières de la Marine Marchande** : Admiss. dans les Ecoles Nat. de la Marine March., Elève-Officier au long cours, Lieutenant au cabotage; Capitaine de la Marine Marchande; Patron au bornage; Capitaine et Patron de Pêche; Officier Mécanicien de 2^e ou de 3^e classe de l'Ecole nationale de la Marine marchande; Certificats internationaux de Radio de 1^{re} ou de 2^e classe (P.T.T.).
- Br. 36.624 : **Carrières de la Marine de Guerre** : Ecole Navale; Ecole des Elèves-Officiers; Ecole des Elèves-Ingénieurs mécaniciens; Ecole du Service de Santé; Commissariat et Administration; Ecole de Maistrance; Ecoles d'Apprentis marins; Ecoles de Pupilles; Ecoles techniques de la Marine; Ecole d'application du Génie Maritime.
- Br. 36.618 : **Carrières de l'Aviation** : Ecoles et carrières militaires : Ec. de l'Air, Ec. mil. de sous-off., élèves-off., Personnel navigant, Mécaniciens et Télémécaniciens; Aéronautique civile; Carrières administratives; Industrie aéronautique. — Hôtesse de l'Air.
- Br. 36.601 : **Radio** : Certificats internationaux; Construction, dépannage. — **Télévision.**
- Br. 36.626 : **Langues vivantes** : Anglais, Espagnol, Allemand, Russe, Italien, Arabe. — **Tourisme.**
- Br. 36.608 : **Etudes musicales** : Solfège, Harmonie, Composition, Direction d'orchestre; Piano, Violon, Flûte, Clarinette, Accordéon, Guitare, Instruments de Jazz; Chant, Professorats publics et privés.
- Br. 36.620 : **Arts du Dessin** : Dessin pratique, Cours universel de Dessin, Anatomie artistique, Illustration, Figurines de mode, Composition décorative, Aquarelle, Gravure, Peinture, Pastel, Fusain; Professorats.
- Br. 36.625 : **Carrières de la Couture et de la Mode** : Coupe, Couture (Flou et tailleur), Lingerie, Corset, Broderie; C.A.P., B.P., professorats officiels; Préparations aux fonctions de Petite Main, Seconde Main, Première Main, Vendeuse-Retoucheuse Modiste, Coupeur hommes, Chemisier, etc. — **Enseignement Ménager** : Moniteur et Professorat.
- Br. 36.611 : **Secrétariats** (Secrétaire de direction, Secrétaire particulier, Secrétaire de médecin, d'avocat, d'homme de Lettres, Secrétaire technique); **Journalisme**; **L'Art d'écrire** (Rédaction littéraire et l'Art de parler en public (Eloquence usuelle)).
- Br. 36.621 : **Cinéma** : Technique générale, Décoration, Prises de vues, Prise de son. — **Photographie.**
- Br. 36.609 : **L'Art de la Coiffure et des Soins de Beauté.**
- Br. 36.628 : **Toutes les Carrières féminines.**

La liste ci-dessus ne comprend qu'une partie de nos enseignements. N'hésitez pas à nous écrire. Nous vous donnerons gratuitement tous les renseignements et conseils qu'il vous plaira de nous demander.

DES MILLIERS D'INÉGALABLES SUCCÈS

remportés chaque année par nos élèves dans les examens et concours officiels prouvent l'efficacité de l'enseignement par correspondance de

L'ÉCOLE UNIVERSELLE, 59, boulevard Exelmans - PARIS-XVI^e

14, Chemin de Fabron, NICE (A.-M.) - 11, place Jules-Ferry, LYON

VOYAGES TOURISTIQUES EN

AMERIQUE

DU

SUD



Croisières de
28 à 43 jours

Départs bi-mensuels
de Hambourg
Anvers - Le Havre

2 circuits au choix :

15 jours au Brésil
pour **6.388 NF**

ou 12 jours au Brésil,
Uruguay, Argentine
pour **6.784 NF**



POUR TOUTS RENSEIGNEMENTS S'ADRESSER :

Compagnie Maritime des Chargeurs Réunis

3, BOULEVARD MALESHERBES - PARIS - ANJOU 08-00

Aux agents et représentants de la Cie ainsi qu'aux agences de voyages