

L'HOMME ET LA MER¹

Influence de la mer sur le développement des sociétés

par

HENRI ROTSCHI

Chef de la section d'océanographie physique de l'Institut français d'Océanie (Nouméa, Nouvelle-Calédonie), H. Rotschi a pris part à l'expédition « Capricorn » organisée en 1952-1953 par la Scripps Institution of Oceanography de l'Université de Californie. Il est également membre de la section d'océanographie physique du Comité national français de géodésie et géophysique.

L'HOMME PREND CONSCIENCE DE LA MER

Explorations jusqu'au XIX^e siècle

A la naissance des civilisations, aussi loin que remonte la connaissance que nous avons de la science de nos ancêtres, l'Océan qui « embrasse la terre d'un flot ininterrompu » est considéré comme un fleuve dont l'écoulement, tel une roue, cerne les limites du monde. Le traverser est une entreprise homérique que seuls les plus braves ou les plus cupides tenteront.

Avant d'entreprendre une telle aventure, ce sont les marchands qui, de génération en génération, et probablement pendant de nombreux siècles, tracent leur route sur de fragiles esquifs à rames, dotés de voiles rudimentaires et sans gouvernail, le long de rivages dont les arrière-pays sont détenteurs de toutes les richesses de l'époque : aromates, épices, ivoire, or, argent, gemmes et bois précieux. Deux mille ans av. J.-C., c'est-à-dire longtemps avant que la guerre de Troie n'ait eu lieu, les Phéniciens, ces pionniers du commerce international et de la découverte des mers, fondent des établissements sur les rivages de la mer Rouge et de l'océan Indien. En mer Arabique les premiers phares font leur apparition, entretenus par une caste de prêtres voués au feu continu, qui servent de boîte à lettres pour les navigateurs de l'époque et de bibliothèque parlée, qui reçoivent tous les renseignements sur les routes suivies, les dangers rencontrés, les techniques de navigation employées, les formes des côtes, les régimes des vents et des courants. Des écoles sont fondées où s'enseigne l'art de naviguer et de tracer une route à partir des observations astronomiques.

C'est la mer Méditerranée qui sert réellement de berceau à cette prodigieuse

1. Cet article, rédigé sans que l'auteur ait eu connaissance de celui de M. Deacon, publié dans cette même revue il y a quelques mois (vol. IX (1958), n° 2) comporte quelques analogies avec ce dernier — ce dont l'auteurs'excuse.

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

no 1570

aventure humaine, celle qui conduit les hommes sur les grandes voies océaniques, attirés d'abord par des buts purement lucratifs, ensuite par le seul besoin de connaissance désintéressée. Les Phéniciens qui essaient d'est en ouest, après avoir passé les Colonnes d'Hercule, descendent vers le sud le long des côtes africaines et remontent vers le nord le long des rivages européens jusqu'à l'Angleterre, dans des régions où le froid, le brouillard, les vents violents et les forts courants de marée qui les déconcertent — car ils sont totalement inconnus en Méditerranée — et contre lesquels ils ne sont pas armés, les refoulent vers le sud.

A cette navigation côtière, petit cabotage de marchands plus soucieux de l'intérêt de leur commerce que du développement de la géographie, succède bientôt l'ère des grandes explorations maritimes, ouverte par Pytheas le Marseillais, 330 ans av. J.-C. Géographe et astronome, celui-ci pousse jusqu'au cercle polaire et se trouve bloqué dans sa progression vers le nord par les glaces dérivantes devant lesquelles il fait demi-tour. Il semble avoir reconnu au passage la Grande-Bretagne, les îles Shetland et l'Islande ou la Norvège. Que rapporte-t-il de ce voyage? Ni or, ni argent, ni rien qui se vende, mais une reconnaissance des abords des régions arctiques et une explication astronomique et rigoureuse du soleil de minuit. Ce père des océanographes est le premier à recourir aux calculs astronomiques pour déterminer la position d'un lieu.

Les grandes explorations maritimes entraînent dans leur sillage l'imagination de tous les intellectuels méditerranéens et les poussent à exercer leur sagacité sur tous les aspects de la géographie sensibles aux hommes de cette époque. Pythagore déduit la sphéricité de la terre des récits des marins. Avec Hérodote, Aristote, Hipparque et Ptolémée, il jette les bases de ce qui sera un jour l'océanographie. On sonde, on trace des cartes, on détermine la position des ports, on calcule dans le ciel les distances parcourues. Les courants, les vents et les marées ne sont plus les manifestations terrifiantes de dieux en colère, mais des auxiliaires dont on a appris à se servir pour élargir les voies maritimes, le long desquelles coule le flot des échanges humains et qu'utilisent tour à tour armées, idées, richesses.

Est grand, fort et puissant le pays dont les ports sont les plus nombreux, les plus vastes, les plus commodes et les mieux situés pour canaliser ce flot ininterrompu de biens matériels, ressort de toutes les actions humaines, les routes qui y conduisent étant jalonnées d'un grand nombre de feux et de marques soigneusement entretenus. Il n'est point de puissance hors de la mer, sinon par et pour elle.

La paix romaine change tout cela; aux aventures océaniques, elle préfère les conquêtes continentales — et les vieilles frayeurs séculaires, les peurs superstitieuses renaissent au cœur des héritiers des premiers découvreurs.

Ce sont les Vikings et les Arabes qui entretiennent le feu sacré et tentent les premières traversées de l'Atlantique. Les seconds introduisent dans le

monde occidental l'usage du gouvernail à étambot, de la boussole et de l'astrolabe. A partir de ces améliorations techniques, toutes les grandes navigations sont possibles. C'est sans elles cependant que les Vikings, dans des barques non pontées, aux voiles carrées, explorent la mer du Nord, atteignent la Gaule et le sud de l'Angleterre. Ils découvrent l'ouest de la Grande-Bretagne, puis l'Islande, le Groenland et débarquent en Amérique du Nord.

Quelques siècles plus tard, Henri le Navigateur lance ses caravelles à la découverte de la route du pays des épices et de l'or et, moins de cent ans après, Vasco de Gama atteint les Indes. A cette progression des Occidentaux vers l'est répond, à peu près à la même époque, l'invasion du Pacifique par les Polynésiens, qui confient leur vie à leurs frères pirogues à balanciers et à la connaissance qu'ils ont des étoiles.

Puis, Christophe Colomb ayant montré le chemin des Amériques, c'est la grande ruée à la recherche de routes inédites et directes vers l'Asie et à la découverte du seul continent qui soit encore à découvrir, le continent antarctique, auquel on attribue nettement plus d'attraits qu'il n'en possède en réalité. C'est Balboa qui découvre le Pacifique, Magellan qui fait le tour du monde et procède aux premiers sondages par grands fonds, Cook, qui, à la place d'un continent antarctique, découvre un océan couronnant la terre autour du pôle, sillonne le Pacifique du nord au sud et d'est en ouest, suivi bientôt de Bougainville et de beaucoup d'autres, chasseurs de phoques et chasseurs de baleines en particulier.

Finalement, c'est la recherche du passage par le nord, dans laquelle s'illustrent surtout Davis, Hudson, Barentz et Béring.

Au seuil du XIX^e siècle la terre est bien connue... ou presque; il ne reste plus à découvrir que quelques îles perdues dans l'immensité liquide et à explorer les pôles. Mais l'on ne sait rien des profondeurs océaniques, de la nature des fonds et de leurs formes.

Géographie des mers et documents nautiques

Quarante siècles au moins se sont écoulés depuis qu'un homme, mû par la curiosité et le goût du lucre, a pris la mer. Quel est le fruit de tant d'efforts? Une *Géographie physique de la mer*, publiée en 1855 par le lieutenant Maurry, de la marine américaine; celui-ci rassemble les renseignements qui ont été accumulés jusqu'alors sur les vents et les courants et que des marins de toutes les nations ont bien voulu lui communiquer. La synthèse qu'il en fait lui permet de publier des cartes qui, mises entre les mains des capitaines, les amènent à modifier les routes des grands parcours océaniques, raccourcissant par exemple de plusieurs dizaines de jours les traversées vers l'Australie ou par le cap Horn. Ce sont les premières Instructions nautiques, actuellement livre de chevet de tout capitaine et de tout officier de navigation, contenant tous les détails connus sur la géographie physique des mers, les abords des côtes, les vents, les courants

et les marées, les dangers et les signes, sans lesquels plus d'un bateau se perdrait à vouloir aborder des côtes inaccessibles.

Il est bien évident que de nombreux documents avaient été établis antérieurement à cette publication, par les capitaines soucieux de ne pas perdre le bénéfice de l'expérience acquise. Malheureusement tous ces renseignements, destinés à faciliter la navigation et ouvrant donc la porte de la richesse et du pouvoir, avaient été soigneusement conservés dans le secret des cabinets des armateurs et des cabines des capitaines.

Les portulans et les périples sont les plus anciens documents qui nous soient parvenus et nous permettent de juger des connaissances techniques des anciens marins. Les premiers étaient des cartes décrivant les atterrissages sur les côtes de la Méditerranée; ils accompagnaient les instructions nautiques de l'époque, tandis que les périples donnaient tous les détails nécessaires sur la forme des côtes, les abris et les possibilités d'approvisionnement.

Puis parurent des cartes marines plus générales : les premières qui nous soient restées datent de la fin du xvi^e siècle; elles sont essentiellement consacrées à l'Europe occidentale et à l'Atlantique est. Peu à peu, les connaissances des géographes se généralisant, les cartes offertes au public s'améliorent et s'étendent; mais les meilleures sont, de très loin, celles qui sont établies par les soins des compagnies privées — telle la Compagnie des Indes — qui se sont attachées des hydrographes et qui disposent d'un jeu remarquable de cartes constituant un de leurs secrets professionnels les plus jalousement gardés.

Il faut l'entrée en scène de Maury pour que l'intérêt d'une mise en commun des connaissances nautiques devienne si évident que la voie aux Instructions nautiques modernes et aux cartes précises s'en trouve brusquement ouverte.

Cependant, le domaine de la mer est assez vaste pour que l'esprit des hommes se soit attaqué aussi à d'autres aspects de la physique du globe. Au xvii^e siècle, Varenus publie une *Géographie des terres et des mers*, qui contient la somme de toutes les connaissances de l'époque sur l'astronomie et la météorologie, ainsi que la première description scientifique des phénomènes périodiques dont la mer est le siège — phénomènes qui avaient déjà fourni à Léonard de Vinci l'occasion d'exercer son inépuisable curiosité. Par la suite, les mathématiques, dont l'essor est prodigieux, se saisissent de tout ce qui peut être soumis à leur analyse. Newton et Laplace donnent la première explication scientifique des marées, Bernouilli jette les bases de l'hydrodynamique, qui permettra d'analyser les mouvements des fluides. Parallèlement se développe un vif intérêt pour tout ce qui touche la mer. La zoologie entreprend la description des animaux marins, alors que paraissent les premières collections zoologiques, et les géographes dessinent le fond des mers.

Quand vient le xix^e siècle, les hommes de pensée et les hommes d'action — qu'ils soient savants, économistes ou politiques — ont pris conscience de l'importance que revêt pour toutes les activités humaines le monde des mers.

Il ne s'agit plus alors de découvrir de nouvelles routes et de nouveaux continents, de rechercher de nouvelles mines d'or ou d'autres sources de biens de consommation, mais d'étendre la mainmise de l'homme sur un univers fluide qui échappe totalement à son contrôle et qu'il n'arrivera à utiliser à ses propres fins qu'à partir de connaissances précises qui lui font totalement défaut. De cette ignorance il a pris peu à peu conscience et ce sentiment va pousser les grandes nations maritimes à lancer de nombreuses expéditions scientifiques dans toutes les directions, à la suite du *Challenger*, battant pavillon britannique, premier navire océanographique parti étudier les océans pendant quatre ans. L'océanographie est née : on découvre l'océan.

Qu'est donc en réalité ce monde auquel l'humanité va consacrer tant d'efforts?

Les océans et leur univers

Sur une surface terrestre de 510 millions de kilomètres carrés, l'eau salée en recouvre 361, soit 70,8 %, laissant aux continents la part modeste de 29,2 %. La planète Terre est donc en réalité la planète Océan; d'autant plus que ces eaux, qui imposent leur présence sous tous les cieux et à toutes les latitudes et que l'on a séparées arbitrairement, pour les besoins de la géographie, en mers et en océans, ne constituent en réalité qu'une seule entité, l'océan, continu du nord au sud et de l'ouest à l'est, cernant au sud notre géoïde d'une couronne liquide, l'océan Antarctique, et lançant vers le nord trois énormes bras, les océans Atlantique, Pacifique et Indien, aux multiples tours et détours, qui sont autant de mers adjacentes, méditerranées ou marginales.

Ces 70,8 % de la sphère terrestre occupés par l'océan sont couverts d'un volume total de 1 370 millions de kilomètres cubes d'eau, dont l'épaisseur moyenne est de 3 800 mètres, contre une hauteur moyenne des continents de l'ordre de 840 mètres. En d'autres termes, c'est une épaisseur de 2 440 mètres d'eau qui recouvrirait la planète tout entière si, sur cette dernière, la matière solide était répartie selon une couche uniforme au lieu d'être craquelée, plissée, toute en bosses — les géosynclinaux — et en creux — les anticlinaux.

D'autre part, contrairement à ce que l'on a pu penser pendant longtemps, l'océan n'a pas un fond plat : 76 % du fond des mers sont à des profondeurs comprises entre 3 000 et 6 000 mètres et l'on y retrouve tous les traits essentiels du relief terrestre, à la seule différence que, placés à l'abri de l'érosion, ils ont encore la forme qu'ils reçurent au moment où ils furent formés, tout au moins pour les dorsales (c'est-à-dire les chaînes de montagnes sous-marines), les formes en creux ayant, pour la plupart, été comblées par les sédiments.

La mer est aussi une solution et, depuis que les méthodes analytiques se sont suffisamment affinées pour permettre la détermination de quantités

extrêmement petites, on a découvert qu'elle contenait, dissous, pratiquement tous les éléments naturels connus de la classification de Mendeleieff. Même dans les cas où la concentration de ces derniers est très faible, le volume énorme des eaux fait que l'océan reste la plus grande réserve de minéraux de toutes sortes de notre planète.

D'autre part, la vie, se souvenant qu'elle a pris naissance au sein des eaux, bien avant le précambrien — il y a de cela près de deux mille millions d'années — a conservé pour ce milieu une prédilection marquée : 300 000 espèces d'animaux peuplent la mer, répartis aussi bien dans les eaux littorales superficielles qu'au contact du fond des fosses les plus profondes du Pacifique, vivant dans les zones éclairées de la mer aussi bien que dans les couches qui ne reçoivent jamais la lumière du soleil et qu'éclairent seulement, de temps à autre, les lueurs des photogènes des organismes abyssaux. On y trouve des organismes microscopiques qui, répétés par milliards, forment le zooplancton, nourriture de prédilection des espèces les plus grosses, les baleines, qui atteignent aisément un poids d'une dizaine de tonnes. On y rencontre des organismes mous — telles les méduses, qui, par la composition de leur être, semblent faire corps avec l'eau elle-même, s'y fondre totalement, au point qu'il est parfois difficile de distinguer l'animal du milieu — et d'autres qui sont de véritables forteresses. Il y a des herbivores et des carnivores, des êtres paresseux et d'autres actifs, certains sédentaires et d'autres nomades.

L'océan, c'est enfin 250 000 kilomètres de côtes, avec ses havres et ses dangers, ses longues poussées vers l'intérieur des terres, fournissant les meilleurs ports, par les contacts fluviaux que ceux-ci ont avec l'arrière-pays, et les meilleurs abris, ses fines pointes rocheuses posées en sentinelles devant les continents, ses plages et ses falaises, tout un monde pétrifié que les vagues remodelent sans cesse pour le plus grand bien de l'homme, quand les parties comblées offrent de nouveaux champs d'activité à l'invention humaine, ou pour son plus grand mal, quand l'érosion s'attaque aux œuvres vives, aux ouvrages portuaires, aux ouvrages de défense.

Monde physique aux pulsations rythmées, monde animal à l'étonnante multiplicité de vie, l'océan s'impose à l'homme, même là où il n'est pas présent. En effet, masse liquide ininterrompue du pôle à l'équateur, il oppose au froid polaire comme à la chaleur tropicale l'inertie thermique d'un énorme volant qui ne cesse de faire pression sur les climats en restituant aux régions froides une partie de la chaleur absorbée dans les basses latitudes. Recevant des grands fleuves terrestres un débit de 13 millions de kilomètres cubes à l'heure, il les restitue à l'atmosphère, en un cycle perpétuel, cette dernière entraînant sous forme de nuages, dans la course folle des vents, la vapeur d'eau produite et la déversant dans les contrées les plus éloignées, en pluie ou en neige, sève de la terre issue du dialogue émouvant du soleil et de l'océan.

Banquier du monde pour les ressources minérales, pour la vie, pour l'énergie solaire qu'il renferme sous forme thermique et dynamique, régulateur clima-

tique, dispensateur de toute l'eau douce, parrain de toutes les formes de vie tant terrestres que marines, l'océan est tout cela. De quelles armes a-t-on disposé pour en faire l'inventaire?

L'océanographie et son histoire

L'arme, c'est l'océanographie dans la définition la plus générale qu'on en puisse donner, c'est-à-dire l'ensemble des sciences consacrées à l'étude de la mer : la dynamique, qui étudie les déplacements horizontaux et verticaux, les mouvements permanents ou temporaires, périodiques ou apériodiques; la physique, qui s'intéresse aux propriétés optiques, acoustiques, électriques, etc.; la chimie, dont le domaine englobe la nature et les propriétés de la solution qu'est l'eau de mer, la variation de ces propriétés liée à des phénomènes dynamiques ou biologiques; la biologie, qui examine la nature des êtres vivants qui peuplent la mer et la bionomie, ou cycle biologique des différentes espèces; la géographie physique, la géologie et la géophysique, disciplines auxquelles ressortissent la morphologie des côtes et du fond, la nature des sédiments ainsi que la nature du sous-sol marin.

L'océanographie est née réellement au cours de l'expédition du *Challenger*, aboutissement de toutes les croisières intéressées ou désintéressées qui, depuis Christophe Colomb et Magellan, avaient petit à petit soulevé le voile de superstitions et d'ignorance qui recouvrait la mer. Pendant quatre ans, le *Challenger*, corvette à quatre mâts, dotée d'une machine auxiliaire, parcourt l'océan et, sous la conduite des savants les plus éminents de Grande-Bretagne, entreprend des recherches dans tous les domaines des sciences de la mer, pour rapporter à Édimbourg une moisson extraordinairement riche et abondante d'échantillons et de spécimens de toutes sortes d'espèces, d'observations et de mesures, dont l'étude, l'analyse et la description fourniront la matière de quarante volumes considérés, pendant de longues années après leur publication, comme le document océanographique de base, ouvrant tous les principaux chapitres de l'océanographie, en particulier la morphologie sous-marine, la physique, la chimie de la mer et la géologie sous-marine. Ces chapitres, que les recherches ultérieures ont contribué à compléter, les études actuelles et futures se proposent de les achever. La voie étant tracée, les croisières ultérieures n'ont fait que la suivre; jusqu'à la seconde guerre mondiale, des expéditions allemandes, françaises, américaines, russes, scandinaves sillonnent les mers, y recherchent les plus grands fonds, y découvrent des fosses — celles de Porto Rico, de Mindanao, du Japon, des Mariannes, des Tonga-Kermadec, etc. — dont les profondeurs oscillent entre 8 000 et 10 000 mètres, remontent à la surface des espèces vivantes, collectées à des profondeurs de plus en plus grandes, commencent à percevoir les principaux traits du relief océanique, accumulent les observations sur la nature des sédiments marins. Au fur et à mesure que s'affinent les méthodes de mesures physiques et chimiques, tant en mer qu'au labora-

toire, la connaissance de la physique et de la chimie de la mer se précise. En particulier, des propriétés physiques, telles que la densité, la chaleur spécifique, sont rapidement connues, alors que celles qui dépendent de la dynamique des eaux en mouvement, comme la viscosité et la transparence, livrent leurs secrets moins vite. La composition de l'eau de mer est déterminée avec précision vers 1880; vingt ans plus tard, on découvre la constance relative de cette composition, c'est-à-dire un des faits les plus importants en océanographie physique, puisque la majorité des analyses de sels publiées jusqu'à ce jour sont fondées sur la relation entre la teneur en chlorure de sodium et la quantité totale de sels dissous. Puis on analyse l'intervention de sels minéraux, faiblement concentrés dans les couches superficielles de la mer, dans les premiers maillons du cycle alimentaire, et le rôle qu'ils jouent dans la photosynthèse des algues marines — rôle identique à celui des engrais du sol. Les recherches biologiques sont, au départ, consacrées presque totalement à la description des multiples espèces qui peuplent la mer. Dans la mesure où les groupes taxonomiques sont de mieux en mieux définis et où leur structure est parfaitement connue, les travaux s'orientent ensuite vers les relations complexes des organismes entre eux et avec le milieu où ils vivent. Enfin, la dynamique de la mer se précise; non seulement, l'étude directe des grands courants océaniques permet d'en déterminer le cours et l'importance, mais l'application à la mer de la mécanique des fluides et des théories élaborées pour l'analyse de la circulation atmosphérique donne une base mathématique solide à nos connaissances sur les déplacements des masses d'eau; la description des vagues, des marées et des ondes internes progresse parallèlement, à partir du développement de l'hydrodynamique.

Une telle évolution des recherches et un pareil enrichissement de nos connaissances n'ont été rendus possibles que par les améliorations considérables introduites dans les techniques d'observation et de prélèvement en mer. Sans parler de l'apparition de la navigation à vapeur, les progrès les plus spectaculaires sont, sans aucun doute, ceux qui sont intervenus dans les méthodes de sondage par grands fonds; du sondage ponctuel au plomb à main, l'on est passé au sondage au plomb avec des machines à sonder, puis au sondage continu par le son, qui exécute en quelques secondes ce que la machine faisait en plusieurs heures. Les échantillonnages de vase se font avec des dragues ou des ramasseurs plus ou moins efficaces; puis apparaissent les tubes carottiers, de plus en plus perfectionnés, qui prélèvent des boudins de sédiment dont la longueur atteint déjà quelques mètres. La mesure des températures de l'eau à différentes profondeurs se fait avec une extrême précision, approchant du centième de degré centigrade, grâce à des thermomètres spécialement conçus, dits thermomètres à renversement. De même, il devient possible de collecter à n'importe quelle profondeur des échantillons d'eau d'un à deux litres, avec des bouteilles à renversement construites de manière telle que plusieurs bouteilles placées aux profondeurs voulues sur le câble de travail peuvent être déclen-

chées en chaîne et recueillent chacune un échantillon d'eau; un thermomètre, couplé avec chaque bouteille, enregistre la température exacte du niveau de prélèvement. De nombreux courantomètres sont construits, mesurant les courants *in situ*, à diverses profondeurs, et donnant soit le courant instantané, soit le courant global au bout d'une certaine durée de fonctionnement. Parallèlement, on fabrique des dragues, pour la collecte des organismes vivant sur le fond, et diverses formes de filets apparaissent, permettant d'étudier la répartition de la vie animale microscopique à tous les niveaux. On invente également des filets spéciaux pour l'étude des algues microscopiques du phytoplancton.

La seconde guerre mondiale fait accomplir un pas de géant à l'océanographie. Pour des raisons tactiques, il devient indispensable de mieux connaître les propriétés physiques de la mer et, en particulier, ses propriétés acoustiques, les méthodes de détection par le son et les ultra-sons prenant une importance primordiale du fait de la construction d'appareils tels que l'Asdic ou les sondeurs à ultra-sons à faisceau sonore dirigé. La vitesse de transmission du son dépendant de la densité — c'est-à-dire de la température et de la salinité, le premier facteur jouant un rôle beaucoup plus important dans les couches superficielles, fréquentées par les sous-marins — il est nécessaire de pouvoir mesurer rapidement la variation continue de la température avec la profondeur. Le bathythermographe donnant, sur plaque de verre fumé, une représentation graphique de cette dernière jusqu'à 300 mètres est inventé, et les mesures se multiplient dans tous les océans. De même les échosondeurs, installés sur de nombreux bâtiments militaires, fournissent une moisson inépuisable de sondages. La stratégie des débarquements dépendant étroitement de la configuration des côtes, des marées et des courants qu'elles créent, de la nature des fonds, l'analyse des processus littoraux se généralise et de nouvelles techniques optiques et photographiques sont mises au point pour la poursuite des études sur les côtes ennemies. Dans le même sens, la mécanique des fluides s'applique à préciser l'effet de la configuration des côtes sur la propagation de la houle, et l'action de l'atmosphère sur l'état de la mer.

Après la guerre, les sondeurs à ultra-sons se perfectionnent, les faisceaux sonores devenant de plus en plus minces et de plus en plus directionnels, les mécanismes d'enregistrement des échos donnant une précision accrue, qui est maintenant de l'ordre de moins d'un mètre pour des profondeurs de plus de 5 000 mètres. Les tubes carottiers se transforment et il est possible de prélever des carottes de sédiments de vingt mètres de long et d'étudier, par conséquent, des sédiments vieux de quelque 150 millions d'années. Les méthodes de réfraction sismique permettent de mesurer avec précision l'épaisseur des sédiments; les études magnétiques et gravimétriques en mer donnent un moyen de relier les anomalies du champ magnétique à certains caractères de la topographie sous-marine et de détecter des gisements de pétrole. Les engins de capture se perfectionnent eux aussi, offrant la possibilité de travailler avec

certitude dans n'importe quelle couche intermédiaire. L'emploi de bouées émettant des signaux radio ouvre la voie à l'étude directe et généralisée des courants marins, tant superficiels que profonds. Les traceurs radio-actifs fournissent de nouvelles méthodes pour l'analyse du déplacement des sédiments, aussi bien que pour l'évaluation de la quantité de matière vivante produite dans les couches supérieures de la mer. L'électronique mise au service de la recherche en mer permet non seulement, grâce aux systèmes de radionavigation, de mieux situer les navires, mais aussi de déterminer en mer un grand nombre de variables et fournit des appareils mesurant d'une manière continue la variation de la température et de la salinité en fonction de la profondeur; on construit également un appareil de mesure des courants superficiels instantanés à partir d'un navire en route. Bref, l'océanographie est devenue affaire d'hommes de science hautement spécialisés, appartenant à des disciplines aussi variées que la géophysique ou la chimie, l'électronique ou la mathématique pure, et la recherche en mer est maintenant un travail d'équipe, l'activité de chacun dépendant du travail de tous, chaque nouvelle avance dans une direction entraînant une amélioration des connaissances d'ensemble puisque, dans la mer, la plus petite particule en voie de sédimentation dans la fosse la plus profonde est liée, par son histoire, à de multiples phénomènes, dont certains n'ont rien à voir directement ni avec la géologie sous-marine, ni avec la sédimentation.

OCÉANOGRAPHIE ET CIVILISATION AU XX^e SIÈCLE

Bien que la mer ait inspiré nombre de poètes, de romanciers, de musiciens, il est évident que c'est dans le domaine des activités économiques qu'elle a exercé la pression la plus forte. Nul ne s'étonnera donc de constater que, lorsque l'océanographie a vu ses recherches prendre une direction pratique, c'est, en général, dans le sens d'une amélioration de l'économie mondiale que ces recherches se sont orientées — si l'on ne tient pas compte de l'influence des guerres sur le développement même des sciences de la mer. Parmi les activités humaines dépendant plus étroitement de l'océan et dans l'épanouissement desquelles la recherche a joué un très grand rôle, il en est trois dont l'importance dépasse largement le cadre des nations strictement maritimes et qui se situent d'emblée sur le plan universel et mondial : ce sont la pêche, l'exploitation de la mer comme source de matières premières et la navigation. Une analyse rapide va nous permettre de dégager le rôle joué jusqu'à présent par divers aspects de l'océanographie dans l'exercice de ces trois activités humaines fondamentales.

Océanographie et pêche

Les statistiques annuelles des pêches de la FAO signalent qu'en 1954, 24,2 millions de tonnes de poissons, crustacés et mollusques furent pêchés en mer.

La pêche apparaît ainsi comme l'industrie d'extraction des ressources de la mer la plus importante, en même temps que la plus ancienne. Certaines de ses caractéristiques en font cependant une industrie déséquilibrée.

En effet, bien que l'hémisphère sud contienne 57 % des mers du monde, 72 % des pêcheries mondiales sont localisées dans l'hémisphère nord, où la concentration de la population est plus grande, où le niveau d'industrialisation atteint par les nations occidentales permet un développement plus rapide des pêches industrielles et où les zones peu profondes, dans lesquelles se pratiquent les méthodes de pêche les plus intensives, comme le chalut de fond, sont plus étendues.

D'autre part, bien que la liste des espèces pêchées soit particulièrement longue, dans l'ensemble des gros pays producteurs — tels que le Japon, les États-Unis, la Grande-Bretagne, les pays scandinaves — la majorité de la production, de l'ordre de 70 à 80 %, est représentée par un très petit nombre d'espèces, parmi lesquelles on peut noter la morue, le merlu, l'églefin, le hareng, la sardine, l'anchois, le thon, la bonite et le maquereau. Il en résulte que, pour ces espèces activement pourchassées, le taux d'exploitation est près d'atteindre la limite à partir de laquelle une pêche intensive crée une surexploitation et une disparition des stocks.

Enfin, si des tonnages appréciables de poissons capturés ne sont pas destinés à la consommation humaine directe mais à la transformation en farines alimentaires pour le bétail et en huiles industrielles (c'est le cas du hareng scandinave et du menhaden des États-Unis), d'autres espèces existent en grandes quantités mais ne sont pas exploitées, faute de débouchés, la commercialisation des poissons sur les grands marchés mondiaux n'intéressant qu'un petit nombre d'espèces. Finalement, les grandes pêches sont toutes concentrées dans les zones littorales des continents, dans les mers de faible profondeur, sur le plateau continental; seule la pêche du thon pélagique, dans le Pacifique, fait exception à cette règle.

Néanmoins, cette industrie progresse à pas de géant. De 1948 à 1955, le tonnage pêché dans le monde a augmenté de 40 %, passant de 19,4 à 27,7 millions de tonnes. Cette progression est évidemment due à l'augmentation du nombre de bateaux; mais elle est également liée à une amélioration des techniques de pêche employées — amélioration qui accompagne l'accroissement de nos connaissances sur la biologie des espèces exploitées et sur le milieu dans lequel elles vivent.

Par exemple, dans le cycle alimentaire de la mer, qui conduit des algues minuscules, dérivant à la surface des eaux et constituant l'équivalent marin de l'herbe des prairies, aux poissons prédateurs vivant d'une multitude de proies aux dimensions les plus variées et victimes finalement de l'activité humaine, on trouve un nombre de maillons beaucoup plus élevé que dans le cycle terrestre; chaque passage d'un niveau biologique au niveau supérieur, mieux organisé, se fait avec des pertes énormes de rendement. D'autre part,

en admettant, ce qui est le cas actuellement, que la quantité de matière organique produite par photosynthèse dans la mer est équivalente à celle qui est produite sur terre, le fait que la photosynthèse en mer soit réalisée sur une surface deux fois plus grande que celle des continents et sur une profondeur variant entre 20 et 100 mètres selon les latitudes, alors que, sur terre, elle est limitée à la couche superficielle, implique une plus grande dispersion de la matière vivante d'origine marine, donc une plus grande difficulté de récolte. D'un autre côté, la photosynthèse épuise rapidement les sels nutritifs en solution dans les couches superficielles de la mer (ces sels jouent un rôle identique aux engrais terrestres) et, après quelques cycles, la production de matière organique à partir de l'énergie solaire et de la chlorophylle des algues ne devient possible que si les sels nutritifs utilisés dans les cycles précédents sont régénérés en quantités suffisantes. Les mécanismes de régénération sont de trois sortes : a) mélange de couches superficielles avec des couches profondes plus riches, entraînées en direction de la surface par un mouvement ascendant des eaux; un tel mouvement se produit le long des côtes ou à la surface de séparation de deux masses marines nettement différentes, lorsque des vents assez forts entraînent au loin les eaux superficielles et que celles-ci sont remplacées par des eaux profondes; il se produit alors ce que les océanographes appellent un *upwelling* ou une divergence; b) refroidissement des eaux superficielles qui, devenues plus lourdes que celles des couches sous-jacentes, plongent sous ces dernières et sont remplacées en surface par des eaux profondes plus riches; c) turbulence verticale intense, provoquée par le contact de deux courants océaniques permanents.

Ces phénomènes, que l'on peut appeler les mécanismes d' « autolabourage » de la mer, permettent aux eaux superficielles touchées par l'énergie solaire d'entretenir une forte population d'algues, qui favorisent elles-mêmes la présence d'organismes animaux microscopiques, constitutifs du zooplancton, nourriture de base des poissons. Du point de vue océanographique, c'est donc dans les régions de divergence intense que des pêcheries industrielles ont les plus grandes chances de se développer. Pratiquement, c'est ce qui s'est produit, puisque les *upwellings* dus au vent ont favorisé l'apparition de pêches très importantes de la sardine, le long de la côte californienne, en Afrique du Sud, et le long des côtes du Maroc, et du thon, le long de la côte Pacifique du continent américain et, plus particulièrement, le long des côtes du Chili et du Pérou, où se produit l'un des *upwellings* les plus intenses du monde, dont une des importantes conséquences est l'industrie du guano, résultat de la capture annuelle, par les oiseaux, d'un tonnage de poissons de l'ordre de plusieurs millions de tonnes. Le refroidissement hivernal est à l'origine des pêches de la morue, du hareng, de l'églefin à Terre-Neuve, dans la région de l'Islande, du Groenland, du Labrador, de la mer de Barentz, et de la baleine dans la zone antarctique; cette région est, en effet, fertilisée par l'eau arctique ayant coulé dans le nord de l'Atlantique et ayant accompli le voyage du nord au sud, le

long du fond, en s'enrichissant en sels nutritifs au fur et à mesure de sa progression en direction du pôle sud. La rencontre de deux courants — le chaud Gulf Stream et le froid Labrador en Atlantique, le chaud Kuroshivo et le froid Oyashivo le long des côtes du Japon — favorise également des pêches intensives (sardine du Maine, sardine et hareng du Japon).

Si l'on est en mesure, actuellement, d'expliquer scientifiquement l'existence des grandes pêcheries, l'apport de l'océanographie ne se borne pas à une interprétation passive des faits. L'exemple le plus frappant en est la découverte de nouvelles zones de pêche du thon dans la région équatoriale du Pacifique, à la limite des courants équatoriaux nord et sud et du contre-courant — région que les recherches océanographiques ont fait apparaître comme particulièrement productive, donc pouvant nourrir une importante population de prédateurs, et où les essais ultérieurs ont révélé de gros stocks de thons pélagiques.

Un autre rôle que peut jouer l'océanographie vis-à-vis de la pêche est, d'abord, l'explication des fluctuations qui interviennent dans les tonnages pêchés annuellement d'une espèce déterminée, puis la prévision de ces fluctuations, permettant de modifier, en conséquence, les techniques de pêche et de déplacer éventuellement les zones d'exploitation. En effet, le rendement d'une pêche est lié à l'abondance de la population mise en exploitation. Cette dernière dépend de l'équilibre qui s'établit entre la croissance et la reproduction de la population, d'une part, et la mortalité naturelle ou due à la pêche, d'autre part. Lorsque, pour une densité géographique donnée, les deuxièmes termes excèdent les premiers, le stock décroît et les rendements de pêche diminuent. Cependant, croissance et reproduction, qui ressortissent à la bionomie de l'espèce, sont toutes deux fonctions du milieu, car elles dépendent de l'adaptation de l'organisme aux conditions physiques, telles que température et salinité, et de la quantité d'aliments disponibles — laquelle, nous l'avons vu, est liée à la dynamique des masses d'eau. Que, pour des raisons météorologiques bien précises, le climat physique du milieu se trouve brusquement modifié, qu'il se produise une diminution du taux de réapprovisionnement des couches superficielles en sels nutritifs, et l'équilibre de la population s'en trouve totalement bouleversé, entraînant des changements catastrophiques dans les taux de capture et, en conséquence, dans l'économie de toute une région côtière. Un exemple caractéristique d'un tel mécanisme est la disparition quasi totale, et qui dura plusieurs années, des sardines du voisinage des côtes californiennes vers 1950. Cette disparition réduisit à presque rien une activité portant, les années précédentes, sur des centaines de milliers de tonnes. Elle était due à une légère modification du régime des vents responsables de l'*upwelling* de Californie; celui-ci se trouva réduit dans des proportions telles que la reproduction de la sardine fut presque complètement stoppée, la population tombant à un niveau tellement bas que toute exploitation industrielle en était impossible; cette situation se maintint jusqu'au moment où, le régime des vents étant

redevenu normal, il se recréa, le long des côtes, un *upwelling* intense. La connaissance détaillée d'un tel mécanisme dans lequel l'aspect météorologique agit sur l'aspect océanographique, qui, lui-même, pèse sur l'aspect biologique, permet de prévoir des évolutions de cet ordre et de prendre les mesures de conversion indispensables au maintien de l'équilibre économique de la zone considérée.

Un autre aspect de la liaison entre la pêche et le milieu est le fait que, pratiquement, toutes les grandes pêches dépendent des migrations trophiques ou de prématuration des espèces exploitées. Une connaissance intime des habitudes sexuelles des poissons et de la biologie des proies dont ils se nourrissent, ainsi que du lien existant entre ces dernières et le milieu, permet de prévoir largement à l'avance les périodes de déplacement des bancs, leur profondeur et les zones de plus grande concentration. Ceci, conjugué avec l'amélioration des techniques de pêche, en particulier avec l'emploi d'échosondeurs localisant très précisément les bancs, autorise une exploitation plus rationnelle et, surtout, plus efficace des innombrables ressources vivantes que la mer recèle en son sein.

La mer, source de matières premières et d'énergie

En rappelant que l'eau salée est pratiquement une solution de tous les éléments connus, en plus ou moins grande concentration, mais contenant en général quelque 35 g de sels par litre d'eau, et que le volume global des mers est voisin de 1 300 millions de kilomètres cubes, ce qui porte les réserves de chlorure de sodium ou sel de cuisine à l'impressionnant tonnage de 38 millions de milliards de tonnes — on aura signalé l'un des aspects les plus essentiels de l'océan, considéré comme banquier de l'humanité en ce qui concerne de nombreuses matières premières, plus abondantes là que partout ailleurs, mais banquier un peu usuraire car, pour beaucoup de corps, les taux de concentration sont tellement faibles que le coût de l'extraction, dans l'état de nos techniques, dépasse largement la valeur des denrées extraites. C'est l'expérience que fit Haber, chimiste de l'expédition du *Météor*, qui, de 1924 à 1928, sillonna l'Atlantique. Ayant conçu le projet d'aider l'Allemagne à payer ses dettes de guerre grâce à l'or qu'il extrairait de la mer, il entreprit de laborieuses études sur la concentration des métaux précieux et sur la meilleure manière de les séparer des autres éléments. Si la réserve d'or de la mer est énorme (10 milliards de tonnes), et la réserve d'argent 50 fois supérieure, les concentrations sont tellement basses — 0,0003 mg par litre dans le premier cas et 0,000006 mg par litre dans le second — que le coût du traitement (concentration et extraction) est rapidement apparu comme prohibitif. Haber renonça donc à son projet.

La mer n'est cependant pas toujours aussi avare. La consommation mondiale de sel est de l'ordre de 25 millions de tonnes par an, et tout ce sel est d'origine

marine, soit qu'il ait été produit directement par les nombreux marais salants qui ceignent les côtes des pays chauds et dont la production moyenne est 10 millions de tonnes, soit qu'il ait été extrait des mines de sel gemme, reliquat d'anciennes mers évaporées. Ce chlorure de sodium, dont chaque habitant de la terre consomme 8 kilogrammes par an, est aussi une matière première de base de l'industrie chimique pour la fabrication des carbonates et bicarbonates de soude, de l'acide chlorhydrique, des hypochlorites et des perchlorates.

La magnésium, métal clef de l'industrie aéronautique, est presque entièrement extrait de l'eau de mer, qui en contient plus d'un kilogramme par mètre cube. Il en est de même de la potasse, qui, sous forme de sels, est utilisée comme engrais ainsi que dans l'industrie chimique, du brome, dont 99 % des réserves mondiales sont contenues dans la mer et qui entre dans la préparation des antidétonnants ajoutés aux essences à haut indice d'octane, ainsi que dans celle de nombreux sédatifs, produits colorants et produits photographiques.

Les algues, couverture vivante de beaucoup de rives, sont, elles aussi, une source inépuisable de richesses, puisqu'elles se reconstituent au fur et à mesure de la récolte. Divisées en trois groupes essentiels — les algues vertes, les algues brunes et les algues rouges — on en collecte près de 500 000 tonnes par an. Utilisées parfois comme nourriture, surtout aux îles Hawaï et au Japon, où l'on consomme les algues vertes, autrefois principal fournisseur de soude pour les industries du verre et du savon, de potasse et d'iode, elles sont devenues d'importantes sources de produits de base. En particulier, on extrait des algues brunes une matière colloïdale, semblable à la cellulose, que l'on appelle algine, et qui est un excellent émulsionnant et gélifiant ayant trouvé de nombreuses applications dans les industries alimentaires, pharmaceutiques et textiles; les algues rouges fournissent des hydrates de carbone utilisés dans l'industrie alimentaire, de l'agar-agar ou gélose, utilisé en pharmacie comme excipient et en bactériologie comme support de culture, et également des produits gélifiants et émulsionnants.

L'application des méthodes de prospection géophysique en mer a, d'autre part, rendu possible, dans certaines zones particulièrement favorables du plateau continental, l'inventaire des dépôts sédimentaires dans lesquels le pétrole et les gaz naturels sont susceptibles de s'être accumulés. Les trois techniques les plus couramment employées sont la gravimétrie, qui cherche à déterminer les anomalies de la pesanteur liées à la distribution de roches de densités différentes, le magnétisme, qui, par la mesure des anomalies du champ magnétique terrestre, permet également de définir la forme de la distribution sédimentaire, et la prospection sismique, qui, par l'analyse de la vitesse de propagation d'ondes sismiques artificiellement produites, donne un moyen d'aborder l'étude de la nature et de l'épaisseur des différentes couches sédimentaires. Ces recherches, pratiquées à grande échelle dans le golfe du

Mexique, au large de la Californie, dans le golfe Persique, dans la mer Caspienne et dans la mer Noire en particulier, ont ouvert la voie à l'exploitation du pétrole sous-marin, qui est devenue pratique courante dans certaines régions, comme le long des côtes du Texas, de la Louisiane et de la Californie.

La présence d'une stratification thermique marquée dans les couches supérieures de la mer, surtout aux latitudes moyennes et basses, ouvre, en outre, de nouvelles perspectives en ce qui concerne l'extraction de vastes quantités d'énergie connue sous le nom d'énergie thermique des mers. La possibilité d'actionner une turbine avec de faibles pressions de vapeur, de l'ordre de quelques centièmes d'atmosphère, ayant été démontrée, on peut envisager l'utilisation de la différence de température entre les couches superficielles de la mer dans les régions tropicales où l'eau atteint toujours une température supérieure à 20° C et les couches sous-jacentes, où, très rapidement, la température est inférieure à 10° C. Il est possible, en effet, d'évaporer, sous vide partiel, une eau de mer superficielle dégazéifiée et d'utiliser la vapeur ainsi fabriquée dans une turbine fonctionnant sous vide, la condensation s'effectuant au contact de l'eau froide pompée à la profondeur voulue. Une partie de l'énergie produite par la turbine est dissipée dans le système de dégazage, dans les pompes à vide et dans celles qui établissent la circulation de l'eau chaude superficielle et de l'eau froide profonde, le reliquat étant disponible pour une utilisation industrielle. Le bas prix de revient de l'installation, dans les régions côtières dont la configuration et le régime hydrologique sont tels qu'il est possible de pomper sans trop de difficultés de l'eau du fond, fait que l'on dispose là d'une source de puissance extrêmement intéressante, et ceci d'autant plus qu'elle n'est tributaire d'aucun minerai condamné à l'épuisement à plus ou moins longue échéance, puisque la présence du soleil est un gage certain de la permanence de la stratification thermique de l'océan comme de celle de la houle, des vagues et des marées, qui représentent également des sources inépuisables d'énergie.

Les deux premières ont fait l'objet de nombreuses tentatives d'utilisation artisanale ou industrielle, qui ont toutes plus ou moins échoué, compte tenu de l'intermittence de ces manifestations périodiques et des quantités énormes d'énergie mises en jeu par les vagues de tempête, capables de déplacer sans grande difficulté des blocs de plusieurs centaines de tonnes. Il n'en est pas de même de la marée qui, en certains points privilégiés, peut provoquer des variations considérables du niveau de la mer, comme dans la baie de Fundy, dans l'estuaire de la Severn ou dans la baie du Mont-Saint-Michel, où des dénivellations de l'ordre de 10 mètres sont courantes. Ces dernières se reproduisant deux fois par jour et tout au long de l'année, la tentation était grande d'essayer de les utiliser à des fins pratiques. Le pas a été franchi lorsqu'on a décidé de construire une usine marémotrice de 18 groupes de 20 000 kilowatts chacun dans l'estuaire de la Rance; c'est également la France qui a poursuivi les

premiers essais d'utilisation industrielle de l'énergie thermique des mers, en construisant une centrale électrique de 7 000 kilowatts à Abidjan.

Il est bien évident que l'apparition d'une nouvelle utilisation de la mer et de ses réserves a posé beaucoup de problèmes d'ordre scientifique et technologique et a été l'aboutissement d'une longue série d'études. L'extraction d'une matière première chimique implique une connaissance parfaite de ce milieu très complexe qu'est l'eau de mer. La création d'une usine marémotrice perturbant le régime normal de propagation de la marée le long des côtes nécessite de délicates recherches sur les répercussions de cette installation sur le régime côtier voisin. Toute création industrielle située au contact de l'eau de mer soulève les questions de la corrosion, auxquelles il n'est pas facile de répondre. Les études sur la physique de la mer, la chimie, la géologie, la dynamique et bien d'autres branches de l'océanographie, qui ont connu un développement prodigieux ces dernières années, ont seules autorisé une telle évolution des techniques d'exploitation des ressources de toutes sortes que la mer tient en réserve.

La mer principale route commerciale du monde

L'histoire du monde est liée à celle du développement du commerce international, qui, de tout temps, a emprunté la voie maritime, non seulement pour les échanges intercontinentaux, mais aussi pour le petit et moyen cabotage entre régions d'un même pays, car partout la mer a devancé la route et a ouvert aux nations souveraines la voie de l'épanouissement économique et politique. Si l'évolution des transports maritimes a longtemps dépendu de l'amélioration de nos connaissances sur la mer, la topographie côtière, le régime des vents et des courants, par beaucoup d'aspects elle se confond avec le développement de l'océanographie, et cette dernière est encore appelée à jouer un rôle déterminant dans l'exploitation des grandes routes commerciales du monde.

En effet, le prix de revient d'une journée de mer pouvant atteindre des sommes considérables, aucun cargo ou aucun paquebot n'entreprend une traversée intercontinentale sans tenir compte, dans le tracé de sa route, d'une part, de la nature, de la force et de la direction des grands courants océaniques qu'il peut rencontrer au cours de son voyage et qui risquent de lui faire gagner ou de lui faire perdre de précieuses heures, voire même des journées entières, d'autre part, des conditions météorologiques établies, de leur évolution probable et de leur action sur l'état de la mer que l'on peut évaluer, au moment du départ, avec une certaine exactitude. L'océanographie, en s'appliquant à étudier les grands courants tels le Gulf Stream, le Labrador, les courants équatoriaux, à déterminer leurs causes, leur cours, leur fluctuation, a donc rendu un service inestimable au commerce international.

Ce dernier ne serait pas aussi intense si la Providence, dans sa générosité, n'avait pas taillé, dans des côtes en général battues par la houle et les vagues,

des havres de paix sous la protection desquels les navires peuvent se livrer, en toute sécurité, aux opérations de chargement et de déchargement. Partout où la nature s'est montrée trop parcimonieuse et où les activités humaines réclamaient des wharfs, des quais, des docks, l'homme a créé ces abris. Ainsi sont nés les ports naturels et artificiels, contre lesquels houle, vagues et courants s'acharnent, tantôt détruisant les ouvrages de protection, tantôt transportant des alluvions et les déposant dans les bassins, dans les chenaux, tendant soit à faire du port une cité continentale, soit à le noyer sous l'assaut furieux des flots. Il a donc fallu mettre au point toute une science de la protection des côtes, en construisant des jetées et des épis, en modifiant la forme des ouvrages, partout où il se révèle nécessaire de détourner un courant, de provoquer un envasement artificiel, de réfracter une houle. De tels aménagements sont fondés sur une profonde connaissance de la dynamique côtière, du régime des marées et des courants qui y sont associés, du régime de la houle et des vagues, dont la propagation est modifiée par chaque haut fond ou avancée de terre dans la mer et qui sont intimement liés au régime météorologique dominant et à l'interaction entre l'atmosphère et la mer. Météorologie et dynamique, hydraulique et sédimentation sont des facteurs essentiels du problème de l'aménagement des côtes.

Celles-ci d'ailleurs ne doivent pas seulement offrir des ports adaptés au trafic qu'ils permettent; il est nécessaire qu'elles soient saines pour la navigation, c'est-à-dire que tous les dangers et écueils qu'elles présentent pour des bateaux de tonnages variés soient parfaitement connus, inventoriés et localisés. C'est, en général, le travail des divers services hydrographiques nationaux, qui ont la responsabilité d'établir des cartes détaillées des abords des côtes, contenant tous les renseignements nécessaires sur les courants, les hauts fonds, les amers, etc. Autrefois, ces cartes étaient dessinées d'après de laborieux sondages à main. L'introduction des sondeurs à ultra-sons permet une exécution beaucoup plus rapide du travail. Cependant, si certaines côtes sont particulièrement bien cartographiées, parce qu'elles servent depuis très longtemps de support à un intense trafic maritime, d'autres — celles des pays sous-développés pour la plupart — nécessitent un énorme travail que seules des méthodes révolutionnaires permettent de mener à bien rapidement. De telles méthodes existent et elles ont été développées pendant la guerre. Elles consistent, pour des fonds sableux, à étudier sur des photographies la variation de la brillance du sable vu à travers la couche d'eau — la brillance étant fonction de la profondeur — ou, pour des côtes quelconques, déterminant les caractéristiques des vagues au large, à déduire la profondeur de la modification de la hauteur de celles-ci et de leur vitesse de translation, ces deux données dépendant de l'intensité du frottement sur le fond, donc de l'épaisseur de l'eau. Le technicien, là encore, a trouvé des applications inattendues, mais non sans intérêt économique, à des études purement théoriques, que l'océanographie a développées au cours des dernières années.

L'océanographie, science moins que centenaire, tributaire pendant longtemps de la curiosité de quelques riches nations maritimes, ayant, comme beaucoup de branches de la technologie, largement bénéficié des circonstances créées par les deux dernières guerres mondiales, peut porter néanmoins à son actif de belles conquêtes techniques et une amélioration certaine du niveau de vie mondial. Là cependant ne s'arrête pas sa contribution au bien-être de l'humanité et les perspectives d'avenir sont plus brillantes encore, dans la mesure où il nous est loisible de prévoir que la société moderne évoluera dans un sens tel qu'il sera fait de plus en plus appel à la mer en tant que source de nourriture, de matières premières industrielles et d'énergie.

Les réserves alimentaires et leur exploitation

Nous avons vu que l'océanographie est intervenue à plusieurs reprises dans l'évolution des pêches, aussi bien en précisant la biologie des espèces capturées qu'en définissant les rapports qui peuvent exister entre ces dernières et le milieu. La science des pêches est essentiellement l'étude des espèces susceptibles de faire l'objet d'une exploitation intensive, la description générale de l'ensemble de la population de chaque espèce et de la manière dont elle réagit vis-à-vis des modifications qui interviennent dans le milieu ou qui sont dues à la pêche elle-même; son objectif est de trouver une réponse pratique à des questions portant sur le type de la population, sa localisation, son importance et ses réactions vis-à-vis de différents *stimuli*.

Dans le domaine de la zoogéographie marine et, plus particulièrement, de la répartition du poisson, nos connaissances des zones largement exploitées sont assez bonnes, mais elles sont pratiquement nulles pour le reste de l'océan, c'est-à-dire pour la plus grande partie de ce dernier. Or des régions qui ont été considérées pendant longtemps comme parfaitement stériles peuvent recéler des stocks considérables d'organismes commercialement exploitables. Tel a été récemment le cas pour la mer de Béring, qui fournit des crabes en quantité, pour le golfe du Mexique où l'on exploite des crevettes, pour les eaux profondes du Pacifique équatorial, où l'on trouve des thons. Il appartient donc à l'océanographie de faire l'inventaire complet des ressources marines, de décrire les caractères des masses d'eau pouvant exercer une influence sur la répartition des différentes populations et de fournir au biologiste des pêches toutes les données nécessaires sur l'évolution de ces conditions, afin que ce dernier ait un moyen de prévoir les réactions du poisson vis-à-vis du milieu.

Les caractères physiques, chimiques et biologiques doivent permettre également de mieux suivre les variations de l'abondance du poisson. Celle-ci est évidemment liée aux conditions du milieu qui déterminent la productivité

d'une région. Cette dernière dépend des conditions météorologiques, de l'état des eaux et de leur dynamique. Des études générales devraient donc fournir un moyen d'évaluer à l'avance les chances d'une région de nourrir une population définie. Mais les variations du stock sont également déterminées par l'équilibre qui s'établit entre le taux de reproduction et de croissance et le taux de mortalité. Reproduction et croissance dépendent de facteurs génétiques et de facteurs externes. L'océanographie interviendra dans l'étude des disponibilités alimentaires, de la croissance des populations, de l'évolution des groupes d'âge, du taux de production de matière organique. Toutes ces données entrent en jeu pour la prévision de l'évolution des stocks.

La pêche s'orientera dans le sens d'une exploitation maximum des ressources marines. Mais celles-ci, du moins en ce qui concerne les organismes, ne sont pas inépuisables; elles appartiennent à la catégorie de ce que l'on pourrait appeler les ressources « auto-équilibrées », dans la mesure où le renouvellement des stocks dépend du milieu physique et de la taille de la population elle-même, cette dernière étant liée au taux d'exploitation. L'océanographie aidera à définir, pour chaque population d'espèce, les taux limites de capture marquant la frontière entre la sous-exploitation et la sur-exploitation, comme il a été fait pour la baleine; par une étude systématique de la répartition de la vie en mer, elle définira de nouvelles zones où la pêche est possible. Elle améliorera les rendements en développant des méthodes de prédiction de l'époque et de la localisation des concentrations.

Enfin, en facilitant la mise au point des méthodes de pêche, elle aidera à la création de nouvelles exploitations. Car — faut-il le rappeler? — à part l'équipement électronique de radionavigation et de détection des bancs de poissons, le matériel et les techniques ont peu évolué au cours des siècles. Une des conséquences les plus frappantes de cet état de fait est que, compte tenu de l'inefficacité relative des appareils de capture, seules les populations à forte densité sont normalement exploitées. On estime que, dans le contexte commercial actuel, les concentrations économiques rentables sont de l'ordre de 10 à 50 grammes de matière vivante par mètre carré. De telles concentrations sont relativement rares et limitées à des zones côtières parfaitement définies, ce qui explique la répartition anormale des grandes pêcheries, que l'on a évoquée précédemment. Il est très probable que les espèces qui vivent en concentrations inférieures à la concentration critique et qui ne peuvent être utilisées commercialement maintenant, représentent une biomasse, c'est-à-dire une population vivante globale, ou bien supérieure à celle que constituent les espèces particulièrement grégaires. Leur exploitation deviendra possible lorsque, par exemple, on aura développé des techniques permettant de grouper les poissons de manière que les procédés classiques soient utilisables. La création, en mer, de champs magnétiques, électriques ou acoustiques semble offrir la solution d'avenir, mais pour le moment on sait peu de choses sur les réactions des organismes à de telles excitations.

Dans tous les cas, l'objectif n'est plus une capture due au hasard, mais une récolte systématique.

La notion de récolte peut d'ailleurs s'appliquer également au plancton. Si l'on tient compte du fait que, dans le cycle alimentaire de la mer, les neuf dixièmes ou les dix-neuf vingtièmes de la nourriture consommée à chaque niveau sont utilisés uniquement pour le métabolisme basal, le dixième ou le vingtième restant étant stocké, on arrive à la conclusion que la valeur alimentaire du poisson ne représente guère plus que le millième ou le dix millième de celle des algues du phytoplancton, dix à vingt fois plus abondantes que le zooplancton. Ce dernier peut donc être considéré, quantitativement parlant, comme une source possible non négligeable de protéines d'origine animale, la démonstration de sa valeur alimentaire ayant été faite par l'expédition du Kon-Tiki et par le docteur Bombard, qui ont corroboré la preuve fournie par l'existence de baleines ne vivant que de ces organismes minuscules. Récolter le plancton afin d'éliminer les pertes énormes qui se produisent à chaque stade de la chaîne alimentaire apparaît donc comme une idée particulièrement séduisante qui, si elle ne semble pas réalisable immédiatement à cause de la grande dispersion de l'objet à récolter, pourra être reprise sérieusement lorsque la technologie aura mis au point des méthodes permettant de filtrer économiquement de très gros volumes d'eau. En effet, la répartition en poids de zooplancton est si infime que l'extraction d'un kilogramme de ce dernier nécessite le filtrage de mille tonnes d'eau environ.

Une autre possibilité d'avenir est l'intervention directe de l'homme à la base du cycle alimentaire. Nous savons que, pour se développer, les algues microscopiques ont besoin de lumière et de gaz carbonique — ces deux éléments étant toujours présents dans les couches superficielles en quantités suffisantes — ainsi que de sels nutritifs tels que phosphate, nitrate, silicate, qui sont en quantités très faibles et qui arriveraient rapidement à l'épuisement total si des mécanismes de renouvellement n'entraient pas en jeu. Seules sont fertiles les régions dans lesquelles fonctionnent, de façon particulièrement active, de tels mécanismes, tributaires soit d'un régime spécial de vents, soit d'un refroidissement hivernal intense qui provoque un *upwelling* (remontée d'eau profonde en surface). En produisant des *upwellings* artificiels, on multiplierait d'autant les zones riches de la mer. On pourrait créer, par exemple, un réchauffement local des eaux profondes qui, allégées, tendraient à remonter en direction de la surface; on a déjà suggéré l'emploi, comme source de chaleur, de réacteurs nucléaires immergés. Un enrichissement des eaux superficielles, permettant de faire de l'« aquiculture », peut, dans certains cas, être réalisé par l'addition à l'eau des sels nutritifs nécessaires. Cette opération n'est cependant rentable que si elle porte sur de faibles volumes d'eau, c'est-à-dire sur des lacs et des baies relativement fermées et de profondeur réduite ou sur des régions côtières où le régime dynamique est tel que les eaux stagnent pendant assez longtemps.

La découverte du pétrole sous-marin a donné un essor considérable à la prospection géophysique du plateau continental, c'est-à-dire de la partie pratiquement plate du socle des continents qui s'étend de la ligne de rivage à la profondeur de 200 m — celle-ci marquant, en général, l'apparition d'une rupture de pente et d'une plongée du talus vers les grandes profondeurs. Ce plateau, prolongement marin des terres émergées qui ont été, tour à tour, soulevées et submergées, a la même structure que ces dernières et recèle, par conséquent, les mêmes ressources minérales. On estime qu'il contient un volume de sédiments pétrolifères de l'ordre de 120 millions de kilomètres cubes, détenant une réserve d'huile brute de l'ordre de 400 milliards de barils, soit près de 40 milliards de tonnes. Cela équivaut au tiers des réserves totales du monde, à 45 fois la consommation énergétique de 1956 et à près de 5 % des réserves totales en énergie fossile. On voit donc que le potentiel pétrolier de la mer est loin d'être négligeable et que son exploitation se développera au fur et à mesure de l'amélioration des techniques de forage en mer à des profondeurs de plus en plus considérables — le seul obstacle actuel à cette activité étant l'effet de la corrosion, de la houle et des vagues sur du matériel qui n'est pas prévu pour travailler dans des conditions aussi dures.

D'autre part, l'aménagement des côtes va ouvrir de nouvelles possibilités en ce qui concerne l'exploitation d'usines marémotrices. Le coût de fonctionnement de telles usines étant bas, il est probable que, dans certaines conditions, il sera plus intéressant de faire appel à la marée plutôt qu'à l'atome, là où la configuration côtière rend de telles installations relativement aisées. Le projet d'aménagement de l'estuaire de la Severn devant fournir 2,3 milliards de kilowattheures, celui de la baie de Cobscook (dans la baie de Fundy) 340 millions de kilowattheures, et celui du Mont-Saint-Michel 12,5 milliards de kilowattheures, on voit quelles réserves formidables de puissance sont encore disponibles dans la mer. D'autres réserves sont aussi stockées sous forme d'énergie thermique et n'attendent que quelques progrès technologiques pour faire leur apparition sur le marché. Ces ressources sont d'autant plus importantes qu'elles appartiennent à la catégorie des ressources permanentes de la mer, qu'aucune exploitation n'épuisera jamais.

Le développement spectaculaire, au cours de ces dernières années, de la géologie sous-marine et des techniques de photographie des grands fonds a permis de mettre en évidence que de vastes régions du fond de la mer sont couvertes de concrétions métallifères, que l'on appelle des nodules et qui sont composées essentiellement d'oxydes de fer et de manganèse mélangés à des métaux plus rares, tels que le nickel, le cobalt et le cuivre, en quantités non négligeables. L'immense superficie susceptible d'être couverte de tels nodules donne aux minerais stockés de cette manière une valeur inestimable; on envisagera sans doute de les exploiter après épuisement des gisements terrestres. Ces

réserves sont disponibles sur-le-champ et seuls des problèmes techniques en empêchent l'exploitation immédiate.

D'autres ressources minérales de la mer prendront aussi une grande importance lorsque des procédés économiques de concentration de l'eau de mer auront été mis au point. La saumure résiduelle des marais salants fournit du sulfate de sodium, du chlorure de potassium, du chlorure de magnésium et de l'oxychlorure de magnésium. Des mers fossiles, telles que le lac Searles en Californie, on extrait du borax, du brome, du lithium, des sels de potassium et de sodium. Il en est de même de la mer Morte, dont la concentration en sels est dix fois plus élevée que celle de l'océan. Ce que la nature a fait au cours des siècles et tout au long de l'histoire géologique de la Terre, l'homme peut tenter de le reproduire en utilisant toutes les sources d'énergie qu'il trouve à sa disposition.

C'est ainsi que, dans la recherche de la fertilisation de zones actuellement désertiques faute d'eau, on peut être amené à utiliser l'énergie nucléaire pour la préparation d'eau douce à partir d'eau salée, le coût de l'opération étant réduit par la récupération, dans les saumures résiduelles, de matières premières industrielles comme celles qui ont été évoquées plus haut, ou même de l'uranium qui est en solution dans l'eau de mer, en concentration telle que sa fission totale fournirait cent fois l'énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau. Néanmoins, quand on fait le bilan d'une telle opération, qu'on le compare à l'action du soleil sur la mer et à l'énergie dépensée à la surface de l'océan pour l'évaporation de ses couches superficielles — celle-ci étant à peu près dix mille fois supérieure à l'énergie totale utilisée par l'homme sous forme de charbon, de pétrole ou d'énergie hydro-électrique — on constate que nos moyens d'intervention sont très réduits et notre champ d'activité extrêmement limité.

Et pourtant, l'idée se fait jour, petit à petit, que cet équilibre énergétique qui règle les rapports entre la mer et l'atmosphère et qui fait que les climats sont tels que nous les connaissons, est métastable, dans la mesure où quelques-uns des processus atmosphériques le sont. Une légère pression sur un phénomène local pourrait amener des modifications sur une grande échelle. Lorsque l'on connaîtra parfaitement les mécanismes contrôlant le temps et les climats, il sera possible, sans doute, de déterminer dans ces derniers les points névralgiques sur lesquels pourrait porter une intervention humaine en vue de modifier le régime atmosphérique dans un sens voulu. Par exemple, l'emploi de l'énergie nucléaire pour faire fondre une partie de la calotte glaciaire arctique qui obstrue les voies de communication maritimes de la Sibérie devrait faire l'objet d'un examen sérieux et approfondi, étant donné qu'on pense qu'il pourrait en résulter un accroissement exagéré des glaciers européens et nord-américains; actuellement on rejette une telle expérience, car il est possible que les vents du nord, qui sont secs, s'humidifient en soufflant sur un océan Arctique débarrassé de ses glaces et vident leurs nuages sur les montagnes déjà enneigées

de l'hémisphère nord, amenant insensiblement une baisse de température. Par contre, c'est vers une hausse de cette dernière que conduirait, de nos jours, l'excessive consommation de charbons, pétroles et autres combustibles, déversant dans l'atmosphère d'énormes tonnages de gaz carbonique, dont une partie est absorbée par l'océan, mais dont le reste enrichit l'atmosphère et peut provoquer, à la longue, une augmentation de 1 à 2° C de la température de l'air, en emprisonnant au niveau du sol les radiations à grande longueur d'onde. Il pourrait se déclencher, de cette manière, une réaction en chaîne dont le terme final serait la fusion des glaces et l'immersion d'une bonne partie des terres actuellement émergées. Le sort de l'humanité dépend des capacités d'absorption de la mer en ce qui concerne le gaz carbonique et du cycle dynamique amenant successivement en surface toutes les couches profondes. Là encore, l'intervention humaine pourrait tenter de redresser l'équilibre que les agissements inconsidérés de l'homme ont compromis.

Enfin, l'avenir énergétique de l'humanité étant lié à l'application industrielle de l'énergie thermonucléaire, il ne faut pas oublier que l'océan est la plus grande réserve d'hydrogène du monde.

Les transports maritimes et leur évolution

Dans le présent, de nombreux facteurs limitent le développement des transports maritimes. Parmi ces facteurs, les plus importants semblent être la taille des navires, la difficulté de navigation dans les glaces, la capacité réduite des installations portuaires et les techniques de manipulation du fret (conditionnement plus ou moins rationnel, embarquement et débarquement).

En ce qui concerne la taille des navires, l'application de l'énergie atomique à leur propulsion, une meilleure connaissance de l'action de la mer sur les coques et la mise au point de revêtements mettant ces dernières à l'abri des salissures marines qui grèvent assez considérablement leur coût d'exploitation permettront sans doute de faciliter et d'accélérer les échanges par voie maritime. Une autre perspective d'avenir est l'emploi de brise-glaces mûs par des moteurs atomiques et dont l'utilisation généralisée, libérée du coût du carburant, donnerait la possibilité de maintenir toujours ouvertes certaines voies que l'hiver soustrait actuellement au trafic. L'exploit du *Nautilus*, enfin, laisse présager qu'un jour la navigation sous-marine, soustrayant le bâtiment à l'agitation superficielle, donc le libérant des servitudes météorologiques, et permettant également l'utilisation de la voie par le pôle Nord, qui réduit, dans certains cas, de moitié la route à parcourir, pourra prendre une importance économique considérable.

Le rendement d'un bateau dépend également des techniques de manipulation du fret, ainsi que nous l'avons signalé plus haut, et il est lié aux capacités des installations portuaires. Celles-ci sont tributaires de la nature des sites dans lesquels les ports ont été créés; que ces derniers soient naturels ou artificiels,

ils sont sans cesse soumis aux pressions de la mer, qui tend à modifier et à détruire ce que l'homme a construit. S'opposer à l'action dévastatrice de l'océan est une nécessité qui s'impose aux ingénieurs, les techniques de construction et de protection des ouvrages étant appelées à évoluer en fonction des acquisitions de l'esprit humain dans le domaine des processus côtiers.

La mer, poubelle des industries

Il a toujours semblé tout naturel que les déchets des villes côtières soient déversés dans la mer. Il est apparu, cependant, peu à peu que l'utilisation inconsidérée de la mer comme poubelle pouvait avoir des conséquences catastrophiques pour la faune et la flore, dans la mesure où les conditions locales ne permettaient pas un mélange rapide des eaux résiduelles avec l'eau de mer et une dispersion de l'eau ainsi polluée. Tout déversement d'égout dans la mer doit donc être précédé d'une étude complète du régime des marées et des courants, de la distribution de la densité en fonction de la profondeur, des taux de mélange, de la vitesse de disparition des bactéries dangereuses, et les résultats de ces études doivent conditionner le choix d'un emplacement.

Ce problème prend d'ailleurs une importance aiguë en ce qui concerne les déchets radio-actifs des industries nucléaires. Ces résidus extrêmement dangereux, dont la production croît sans cesse, ne peuvent être ni détruits, ni atténués, ni utilisés à aucune fin et les sites terrestres où ils peuvent être abandonnés sans danger pour l'humanité sont rares. On a donc envisagé de les noyer dans des blocs de béton et d'immerger ces derniers dans les fosses océaniques, ou partout où l'on peut considérer que l'eau est stagnante. Cette technique n'est applicable qu'à la condition que l'eau soit effectivement stagnante ou que la vitesse de déplacement soit lente, au point que les eaux profondes, mettant plusieurs milliers d'années avant de réapparaître à la surface où elles servent de support à la vie animale et végétale, y parviennent complètement débarrassées de toute forme de radiation dangereuse pour l'humanité.

CONCLUSION

Comme M. Jourdain faisait de la prose sans le savoir, pendant de longs siècles les marins ont été océanographes sans s'en douter. Si l'océanographie, science coûteuse entre toutes, influençant de nombreuses activités humaines, n'a jamais bénéficié de la publicité accordée à d'autres manifestations de l'esprit inventif des hommes, il n'en reste pas moins que l'ensemble des hommes qui ont quelque responsabilité dans l'orientation de l'évolution économique du monde prennent mieux conscience, jour après jour, du rôle que la mer est appelée à jouer dans un avenir relativement prochain.

Les besoins, en matières industrielles de base et en énergie, d'une humanité qui s'oriente, dans l'ensemble, vers une élévation accélérée de son niveau de

vie, se développant selon un rythme qu'il nous est facile d'évaluer, on sait que les ressources naturelles terrestres ne pourront faire face pendant longtemps à une demande accrue de protéines d'origine animale et végétale, de charbon et de pétrole, tout autant que de minerais de toutes sortes.

La mer inépuisable sera donc la première source extracontinentale de ces denrées à laquelle il devra être fait appel, bien avant que la lune ou quelque autre planète hypothétique soit en mesure de les fournir en quantités appréciables. On pêchera davantage et plus rationnellement, on extraira sans doute de gros tonnages de protéines d'origine planctonique, on développera, dans des zones privilégiées, l'« aquiculture ». Les champs d'algues exploités méthodiquement produiront aliments et denrées industrielles. La mer domptée fournira de l'énergie à bas prix à des contrées dépourvues de ressources énergétiques naturelles, hydrauliques ou fossiles. Une partie de l'énergie disponible sera utilisée à l'exploitation des ressources minérales dissoutes dans l'eau de mer ou prisonnières de la vase des fonds marins.

Ce tableau, qui n'a rien de futuriste, ne prendra cependant forme que lorsqu'un certain nombre de conditions auront été remplies.

D'abord, les outils dont disposent les océanographes — laboratoires, navires, matériel d'équipement et d'études — doivent être améliorés en qualité et en quantité. Comparés à la tâche à accomplir, ce qu'ils sont aujourd'hui paraît en effet dérisoire. Certains pays l'ont compris, qui ont créé des instituts nationaux d'océanographie disposant de fonds considérables, prélevés sur divers chapitres du budget national (défense, industrie, commerce) et dotés de grosses unités pour le travail en mer. C'est le cas, entre autres, du Japon, de l'URSS et des États-Unis; ces pays ont mis en œuvre des moyens avec lesquels aucun autre pays ne peut rivaliser et consacrent à ces recherches des sommes qui eussent paru extravagantes il y a seulement quelques années : c'est ainsi que les États-Unis prévoient, pour 1960, un budget océanographique de 58 millions de dollars.

Ensuite et surtout, la mer universelle, baignant des rivages de toutes nationalités et posant des problèmes de tous ordres et ressortissant à de multiples sciences, aucune nation ne peut prétendre en saisir seule le sens profond et en comprendre la vie. Les travaux de recherche, tendant toujours vers une plus grande efficacité, devront donc inéluctablement s'organiser sur une base internationale. Les travaux conjoints, dont le Pacifique septentrional et équatorial furent l'objet de la part de navires canadiens, américains, japonais et français, la coopération internationale instituée à l'occasion de l'Année géophysique internationale sont autant d'exemples de la voie qui deviendra celle de l'océanographie dans les années à venir et qui fournira aux nations maritimes une occasion supplémentaire de mieux se comprendre et de s'entraider plus efficacement.

Océa

L'HOMME ET LA MER
Influence de la mer sur le développement
des sociétés

HENRI ROTSCHI

Extrait de
Impact — Science et Société
Vol. X, (1960), N° 2

