



Après l'ère des capitaines, celle des savants

LA GRANDE AVENTURE CONTINUE

par Henri Rotschi

Photo © Pierre Pittet, Genève

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.

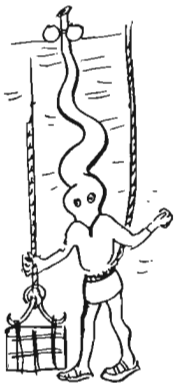
Ce sont les Vikings et les Arabes qui entretiennent le feu sacré et tentent les premières traversées de l'Atlantique. Les seconds introduisent dans le monde occidental l'usage du gouvernail à étambot, de la boussole et de l'astrolabe. A partir de ces améliorations techniques, toutes les grandes navigations 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

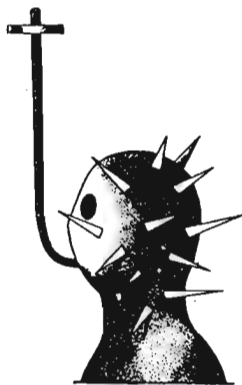
caravelles à la découverte de la route du pays des épices et de l'or et, moins de cent ans après, Vasco de Gama atteint les Indes. A cette progression des Occidentaux vers l'est répond, à peu près à la même époque, l'invasion du Pacifique par les Polynésiens, qui confient leur vie à leurs frères pirogues 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 couron-

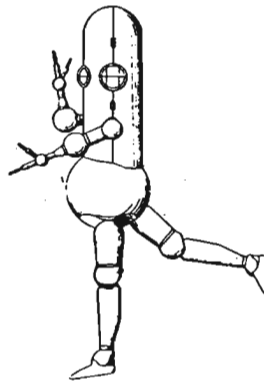
Dessins tirés de "A La Recherche du Monde Marin" par P. de Latil et J. Rivoire.



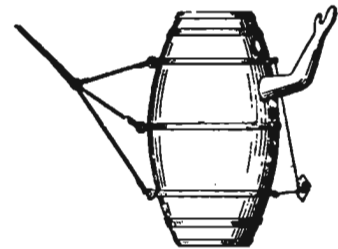
© Dessin Albert Brenet.
Plongeur grec suivant une description d'Aristote.



Masque sous-marin selon un dessin de Léonard de Vinci.



Le « vêtement de plongée articulé » de William Carrey, 1802.

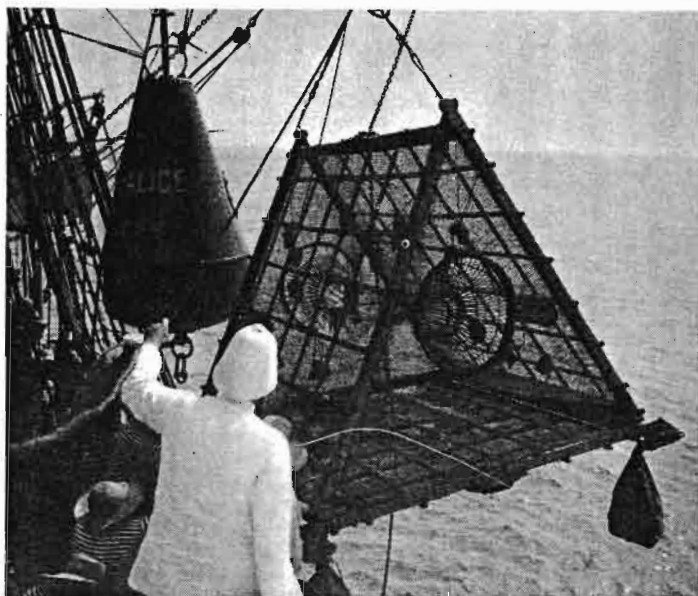


Le « pêcheur sous-marin » de Le Batteux, dans son tonneau, 1853.

LES PIONNIERS

L'ère de l'exploration océanographique débuta dès 1872 avec la corvette britannique **Challenger** qui parcourut 70 000 milles marins et fit le tour du monde pendant trois ans et demi. A partir de 1885, le Prince Albert I^{er} de Monaco arma des navires océanographiques. A droite, son yacht **Princesse Alice II**, dans un fjord du Spitzberg au début du siècle. Ci-dessous, photographié de dos, le prince manœuvre la nasse triédrique inventée et utilisée par lui pour la capture des poissons des grandes profondeurs. Il fonda l'Institut Océanographique de Paris et le Musée Océanographique de Monaco, contribuant ainsi à donner aux hommes le goût de l'exploration de l'univers marin.

Photos Musée Océanographique de Monaco



nant 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.

Plus de 4 000 ans se sont écoulés depuis qu'un homme, mû par la curiosité et le goût du Jucre, a pris la mer. Quel est le fruit de tant d'efforts ? Une *Géographie physique de la mer*, publiée en 1855 par le lieutenant Maury, 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 périple 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 périple 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 xv^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 attaché 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, Bernoulli 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.

L'océanographie, dans la définition la plus générale qu'on en puisse donner, est 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* (voir « Courrier » n° 7, juillet 1954), 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 Edimbourg 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 laboratoire, 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.

Une dynamique se précise

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.

L'océanographie, science toute neuve

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'im-

porte 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 déclenchées 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.

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, 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.

Comment est fait le lit des océans

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

Les océanographes sont parfois obligés de se livrer à de véritables acrobaties au cours de leurs recherches en pleine mer. Ici, un savant américain de Woods Hole Institution s'accroche à une plate-forme suspendue au-dessus des eaux pour surveiller la descente d'un bidon de 180 l destiné à recueillir des échantillons d'eau à différentes profondeurs.

Photo © R.E. Baylor, Woods Hole, U.S.A.



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 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.

Naissance de l'aquaculture

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 minéraux de toutes sortes.

La mer inépuisable sera donc la première source extra-continente 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'« aquaculture ». 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 Etats-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 Etats-Unis prévoient, pour 1960, un budget océanographique de 58 millions de dollars.

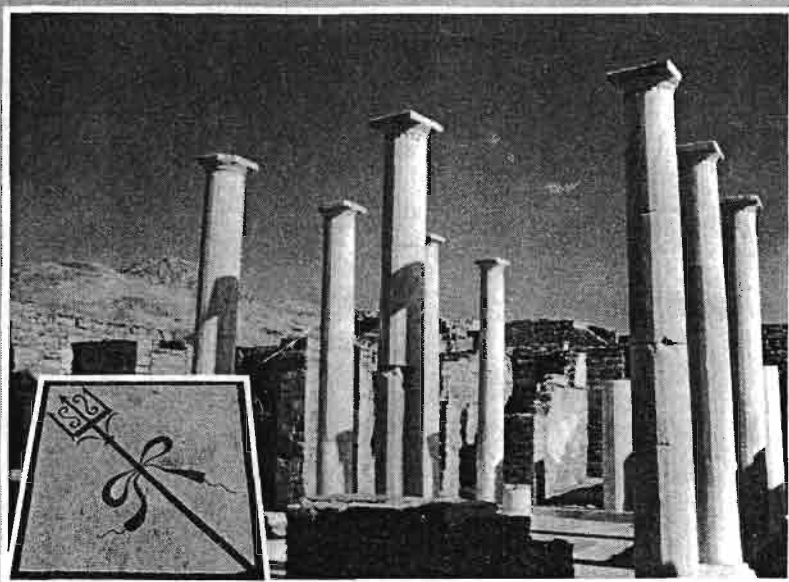
Ensuite et surtout, la mer universelle, baignant des rivages de toutes nationalités et posant des problèmes de tous ordres et ressortissant à de multiples sciences, aucune nation ne peut prétendre en saisir seule le sens profond et en comprendre la vie. Les travaux de recherche, tendant toujours vers 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 occa-

LE MARCHAND DE VIN IDENTIFIÉ

Il y a plus de deux mille ans, une galère qui transportait des amphores remplies de vin coula devant Marseille. Les plongeurs de l'équipe du Commandant Cousteau ont retrouvé les amphores (ci-dessous à gauche) qui portent la marque du marchand de vin armateur. Grâce à cette même marque ins-

critée dans le dallage, ils ont identifié, à Delos, la villa (ci-dessous à droite) de Marcos Sestios. Pour fêter l'événement, les plongeurs archéologues, costumés en personnages de l'antiquité, mangèrent et burent du vin nouveau dans la vaisselle et les amphores enfin retrouvées (à droite).

Photos © Les Requins Associés



sion supplémentaire de mieux se comprendre et de s'entraider plus efficacement.

Les grandes artères du négoce

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, leurs 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'acharment, 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.

De formidables énergies sont maîtrisées

C ELLES-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 présen-



tent 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.

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 condi-

tions, 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.

L'héritage des mers disparues

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 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 des 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 accroisse-

ment 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.



Photo © Woods Hole Oceanographic Institution

CE « MARTIEN » A CAGOULE est en vérité la tête d'un petit requin photographié par en-dessous. Rarement rencontré, il appartient à un genre de la famille des Oxynotidae dont on ne connaît que trois espèces dans la Méditerranée et les eaux d'Australie. Il ne dépasse guère un mètre de long et possède une denture différente de celle des autres requins.