

Académie des sciences

**Séance solennelle de réception des Membres élus en 2003
15 juin 2004**

**Les océans : un milieu naturel, carrefour des disciplines
Jean Dercourt, Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences**

Une découverte scientifique intervient dans une société qui peut soit l'accueillir, soit l'ignorer ; les lois de Mendel en sont l'exemple le plus clair et toutes les disciplines en fournissent. A une heure où la structuration de la recherche dans la société est en France à l'ordre du jour, je voudrais examiner les liens entre découvertes et état de réceptivité de la société aux nouveautés scientifiques, par les scientifiques eux-mêmes, les industriels, les militaires et les diplomates. Je le ferai à partir du développement de la connaissance du milieu océanique qui couvre près de trois quarts de la surface du Globe.

* * *

Au XIXe siècle, l'étude de ce milieu, composé d'océans et de mers, se concentre sur les côtes et les mers bordières ; tout était à découvrir et beaucoup le fut alors : décrire, nommer, observer, détecter les modes de vie se fit dans un enthousiasme dont témoignent les sociétés scientifiques locales, les amateurs et les mécènes qui permirent aux facultés des sciences d'implanter des laboratoires marins, c'est ainsi que naquirent les stations de Wimereux, Dinard, Roscoff, Concarneau la plus ancienne de France, Arcachon, Biarritz, Banuyls, Marseille, Villefranche fondée par les Russes après la guerre de Crimée et il y en eut beaucoup d'autres. Pêches, dragages et chalutages sont les principales techniques employées, elles n'atteignaient que de modestes profondeurs.

L'essentiel des espèces littorales et côtières fut ainsi détecté dans le plancton, le necton et le benthos. Au-delà de ces descriptions, progressivement, la biologie enrichit les stations marines où les élevages commencèrent. Des découvertes majeures se déroulent alors, je n'en citerai qu'une, celle de la fécondation de l'ovule d'oursin et son développement cellulaire par Caullery à Wimereux, mais la biologie marine, la physiologie, la génétique maintenant poursuivent leurs activités dans des stations de mieux en mieux équipées.

* * *

Après les sémaphores des frères Chappe et à partir de 1838, les télégraphes issus des lois de l'électromagnétisme découvertes en 1819 par Oersted prirent un développement qui bouleversa la société d'alors. La communication changea de vitesse. L'innovation de l'électro-aimant par Arago permit à Samuel Morse de mettre au point une transmission par câbles. Les câbles tirés à terre sans grandes difficultés s'arrêtaient aux côtes, aucun n'était posé sur les fonds marins. La première liaison joignit le 27 décembre 1851 Calais et Douvres. La fragilité des câbles en freina le développement en mer, qui ne se fit que sur le plateau continental et commença modestement tant les avaries techniques que les faillites des entreprises étaient nombreuses. Ces temps héroïques ne durèrent guère. L'obligation fut de mieux connaître les grands fonds, le milieu marin et d'interpréter les ruptures si coûteuses. Les grands fonds devinrent un objectif de la science mais aussi un outil de puissance financière, diplomatique et commerciale. Le grand bond intervint le 21 juillet 1866, lorsqu'un câble unit Terre-Neuve à l'Irlande. D'emblée le Royaume-Uni fut le principal compétiteur et l'Amirauté fut sensible aux demandes de scientifiques qui avaient déjà montré leur aptitude à réussir des travaux en mer profonde. Elle mis à leur disposition un navire militaire et confia à la Royal Society le soin d'établir les objectifs de la mission qui fut la première expédition

14 juin 2004

scientifique multidisciplinaire de l'histoire. *Le Challenger*, frégate de trois mats, dotée d'un moteur auxiliaire à vapeur, conduite par vingt officiers hydrographes, assistés par 240 hommes d'équipage, accueillit six scientifiques dans les coffrages prévus pour les canons et installa le laboratoire dans la réserve de boulets. Le 21 décembre 1872, le navire quitta Portsmouth, il y revint le 24 mai 1876 en ayant effectué 725 jours de mer. Pendant plus de 20 ans, les échantillons furent examinés, 76 scientifiques contribuèrent à la rédaction de 50 forts gros rapports. Cette expédition fut suivie d'autres souvent plus spécialisées et parfois plus courtes.

Le Challenger avait parcouru l'Atlantique puis le Pacifique et distingué des plaines abyssales profondes de 4 000 mètres et des hauts fonds. Dans le Pacifique ces caractéristiques se retrouvèrent mais, en outre, des fosses s'allongeaient au large des côtes occidentales.

L'essentiel de la mission était atteint et le Royaume-Uni avait fait éclater sa prééminence.

Le congrès géographique international réuni à Berlin en 1899 confia à un éminent océanographe, responsable de nombreuses expéditions en mer profonde, le Prince Albert 1^{er} de Monaco, membre associé étranger de l'Institut, la responsabilité d'établir la première carte bathymétrique générale des océans ; il l'a présentée en 1903, s'appuyant sur 18 400 sondages dont beaucoup avaient été fournis par les câbliers.

Une nouvelle technique, fondée sur le temps écoulé entre l'émission d'un son et la réception de son écho, fut mise au point à partir des travaux d'Arago. Dès 1807, il avait proposé cette méthode fondée sur la vitesse de propagation des sons dans l'eau. Ce principe fut testé dans le lac de Genève, puis au large de Marseille, mais seulement après le désastre du Titanic dans la nuit du 14 au 15 avril 1912, la technique améliorée fut généralisée. En 1915, Paul Langevin utilisa les ultrasons et l'effet piézo-électrique, ce qui fut appliqué immédiatement à la détection des sous-marins puis, la paix revenue, à la détermination des reliefs océaniques.

Pendant 50 ans, cette technique a progressé. Le rayonnement acoustique devint un balayage large de plusieurs kilomètres sur le fond, initialement développé à des fins militaires, il fut plus tard accessible à des fins scientifiques et commerciales. La carte bathymétrique mondiale obtenue par ces méthodes précises et longues est due à Bruce Heezen et Mary Thraps, en France publiée par Paris Match, diffusée en poster, elle devint célèbre et est connue de tous.

Les satellites ont renouvelé l'obtention de la topographie du plancher océanique car la surface de l'océan n'est pas plane mais présente des creux et des bosses, images des reliefs sous-marins. Depuis les années 1970, les documents remarquables précisent la carte d'Heezen et Thraps.

On y lit que les continents s'étendent sous 200 à 300 mètres d'eau, en un plateau continental, large de quelques dizaines ou centaines de kilomètres. Une pente le prolonge vers le large, devient plus forte de quelques degrés et cette marge fait transition avec les plaines abyssales. Dans tous les océans, un relief moins profond, il n'est couvert que de 2 000 mètres d'eau, forme une large ride qui d'un océan à un autre enserme la Terre en un immense filet.

* * *

D'une côte à l'autre, deux types de croûtes océaniques s'affrontent, l'une continentale peu profonde et l'autre océanique, la marge qui les sépare est calme, autour de l'Atlantique, de l'Antarctique, de l'Australie et au flanc Ouest de l'Océan indien, sans séisme, sans volcan, alors qu'elle est active, sismique, volcanique et marquée par des fosses autour du Pacifique et sur la façade septentrionale et orientale de l'Océan indien.

Mais quelles roches constituent ces fonds ? Sur les plateaux continentaux, les pêcheurs ramènent souvent dans leurs filets, des blocs de granite, de gneiss, de calcaires analogues à ceux affleurant dans les régions émergées voisines. Ainsi, jusqu'à 300 mètres de fond, les traits géologiques dans leur complexité se prolongent en mer.

La nature des grands fonds, un des objectifs du *Challenger*, fut plus difficile à établir ; certes, les câbliers relevaient des esquilles de basalte sur la ride, mais ceci ne retint pas l'attention, alors qu'un dragage du *Challenger* sur la ride de l'Atlantique Nord récolta des blocs de granite. Ce fait eut un écho considérable. Eduard Swess éminent géologue autrichien en

déduisit, en 1891, que « *ce sont les effondrements qui ont permis aux eaux de se rassembler dans les mers profondes* » ; celles-ci sont « *des continents anciens enfouis sous les eaux* ».

En fait, la multiplication des dragages sur les rides océaniques, les photographies puis les observations en sous-marins scientifiques établirent leur nature basaltique. Les blocs dragués par *le Challenger* avaient été prélevés dans les débris morainiques arrachés par les glaciers descendant du continent groenlandais et transportés au sud par les icebergs. Même en granite, une hirondelle ne fait pas le printemps !

Désormais, la nature de la croûte est claire : sous les sédiments des océans, elle est basaltique et sous ceux des continents, elle est granitique. Le long de leur marge, deux mondes s'affrontent, calmement, sans séisme ni volcan, et violemment lorsqu'elles sont volcaniques et sismiques. En dépit des travaux précurseurs de Wegener, en 1916, récusée par la géophysique, il fallut attendre 1962 que Harry Hess suggère une clef d'interprétation. Son hypothèse simple est fondée sur la notion d'expansion océanique et se formule ainsi : les rides sont le siège de la formation continue de la croûte océanique. De la profondeur du globe terrestre, montent des courants de roches basaltiques qui, se figeant avant d'atteindre la surface, élargissent la ride et donc les océans et écartent les continents solidaires des océans le long des marges stables.

L'idée était lancée, il fallait l'étayer, la période était propice pour entreprendre de très grands programmes de recherche ; n'oublions pas que le *spoutnik* avait émis le 4 octobre 1957. Son bip-bip humilia les États-Unis et l'Europe, soulignant leur retard scientifique et technique dans ce domaine. Des grands programmes fort coûteux sont lancés, certains le seront en océanographie et tous destinés à vérifier les hypothèses de Hess, à établir l'âge de la croûte océanique - qui, si Hess avait vu juste - devait être plus jeune près de l'axe de la ride et de plus en plus vieille en s'en éloignant. A partir de cette hypothèse fondatrice, de nombreuses données furent acquises, et cette hypothèse fut complétée par une autre. Le globe terrestre ayant un volume constant, l'accroissement de surface océanique induit des résorptions de volume de croûte océanique basaltique s'engloutissant sous les continents, le long des marges sismiques et volcaniques ; la théorie de la **Tectonique du globe** (ou tectonique des plaques) fut alors élaborée par William Morgan et Xavier Le Pichon, en 1968.

Cette théorie s'amplifia par de grands programmes internationaux de forages en eau profonde où la place de chercheurs français fut fort importante par « **une marche à la mer** », selon le mot heureux de Jean Aubouin, elle conduisit les géologues confirmés de la Terre aux Océans. Après la mise en service d'une plate-forme de forage en eau profonde en 1968, le *Glomar-challenger* confirma pleinement la théorie de la tectonique globale. Elle fut étendue aux temps très anciens, bien antérieurs aux 180 millions d'années, âge des plus vieilles roches des océans actuels.

* * *

Agassiz et Humboldt avaient - au XIXe siècle - supposé les grands fonds plats et monotones, nous venons de voir qu'ils étaient accidentés, variés et offraient une morphologie interprétable. Forbes admettait en 1830 que les grands fonds étaient azoïques au-delà de 500 mètres puis Huxley, en 1868, crut reconnaître un organisme protoplasmique englobant de menus corpuscules qu'il nomma *Bathybius*, base possible de l'ensemble de l'évolution du l'on trouverait des survivants d'espèces aujourd'hui disparus. Si le *Bathybius* se révéla un artefact résultant du contact de sédiments avec le liquide de conservation dans les bocaux. Un pêcheur au large des Comores remonta un cœlacanthe, poisson identique à ceux qui peuplaient les mers du Devonien, il y a 400 millions d'années. La découverte fut renouvelée sur la même espèce, mais on en resta là !

Bien avant que ces hypothèses n'aient été avancées, Antoine Russo, dès 1810 décrivait des poissons inconnus en surface ou sur le plateau continental, pêchés fréquemment au large de Nice avec des palangres posées à plus de 1 000 mètres de fond. Lors de la présentation de ces résultats à l'Académie, Georges Cuvier souligna l'importance de la découverte. Elle vint trop tôt, les faits pesèrent moins que les songes.

14 juin 2004

Des découvertes sporadiques dues aux ingénieurs câbliers avaient bien remonté des êtres vivants fixés sur les câbles, mais déjà en 1868, au large des Shetlands, de riches faunes d'oursins avaient été mises en évidence sous 915 mètres d'eau. Puis, *le Challenger* découvrit dans les grands fonds, des faunes variées ; depuis lors, toutes les missions scientifiques et de nombreux câbliers montrèrent que les faunes étaient présentes mais différentes de celles connues en surface sur les plateaux continentaux. Toutes ces populations s'inscrivent dans la chaîne alimentaire dont l'énergie résulte de l'assimilation chlorophyllienne en surface.

En 1976, au large des Galapagos, une des découvertes biologiques majeures du XXe siècle est faite, à l'axe de la ride de l'Océan Pacifique, sous 2 000 mètres d'eau : des oasis de vie exubérantes sont photographiées puis observées, prélevées par sous-marins scientifiques aux alentours de montées d'eau chaude enrichies en hydrogène sulfuré, cette molécule est à la base d'une chaîne alimentaire biologique fondée non pas sur la photosynthèse mais sur la chimiosynthèse du soufre.

Ainsi non seulement les grands fonds ne sont pas azoïques, mais deux chaînes alimentaires s'y déroulent synchroniquement, il est tentant de rechercher là une des origines possibles de la vie sur Terre, il y a quatre milliards d'années, dans les océans alors chauds où le volcanisme était intense.

* * *

Le 21 juillet 1969, Niels Armstrong marche sur la lune et les États-Unis estiment avoir rattrapé leur retard scientifique et technologique. Mais bien vite une nouvelle alerte se produit. En 1972, le Club de Rome publie un ouvrage tiré à 32 millions d'exemplaires, en 37 langues, intitulé « Les limites de la croissance ». Il y est établi qu'au rythme d'alors, la civilisation industrielle allait manquer de matières premières et énergétiques. Le message fut bien reçu, d'autant plus que l'année suivante, en 1973, intervenait le premier choc pétrolier ; il mit fin aux « Trente glorieuses ».

L'océan et les mers furent, comme les continents, une cible essentielle à la recherche de matières premières et énergétiques. Des nodules poly-métalliques dans le Pacifique furent activement étudiés et les techniques de prélèvement et de traitement, conçues, le cadre juridique international, élaboré. Simultanément, les explorations à Terre mirent à jour et établirent l'exploitabilité de minerais au Canada, en Afrique, en particulier au Gabon, en Australie . . . Situés dans différents continents les risques géopolitiques étaient dispersés, les coûts d'exploitation, connus, et de toute manière plus faibles qu'eussent été ceux des océans, où, de ce fait, les travaux cessèrent. Ces nodules gisent toujours au fond de l'océan.

Pour l'énergie, l'alerte ne prit aucun Etat, aucune Compagnie au dépourvu ; la crise du canal de Suez de 1956 avait conduit non seulement à modifier les routes maritimes et les modes de transport, mais aussi à diversifier les zones de production. Les découvertes et leurs exploitations se multiplièrent en Mer du Nord dans les grands deltas, celui du Mc Kenzie et du Mississippi par exemple, et, chemin faisant, permirent de mieux connaître les bassins sédimentaires immergés, sur les plateaux continentaux immergés, prolongements des bassins terrestres beaucoup plus modestes.

La carte géologique de l'Europe publiée en 1971, alors limitée aux terres émergées, diffère significativement de celle que je présenterai au congrès géologique de Florence en août prochain. L'Europe et son plateau continental est - de l'Atlantique à l'Oural - une superposition de vastes bassins sédimentaires d'où ressortent des massifs anciens et d'où émergent les chaînes alpines constituées des mêmes sédiments que ceux du bassin et écrasant un ancien océan.

Désormais sur les plateaux continentaux, les découvertes se font rares et les exploitations s'étendent aux marges continentales des golfes du Mexique, de Guinée, au large du Brésil et en mer Caspienne. Aujourd'hui, les plaines abyssales peuvent receler encore des gisements exploitables, mais les profondeurs sont considérables, les modes de transformation de matières organiques, leur maturation et leur migration dans les roches sont encore à découvrir

* * *

14 juin 2004

En 1993, une nouvelle inquiétude sociale mondiale se profile. Nous avons vu que les craintes du Club de Rome ont servi de déclencheurs à l'accroissement des découvertes et des mises en productions de matières premières et énergétiques. Mais la crainte d'accumulation de déchets industriels, évoquée alors, n'a pas été prise en compte. Il faudra attendre que des faits nouveaux - comme la découverte du trou d'ozone au-dessus de l'Antarctique qu'a si bien décrit notre très regretté Gérard Mégie - se produisent. En 1993, à Rio de Janeiro, une prise de conscience mondiale intervint. Il en résulte un effort international majeur pour analyser les conséquences de l'accroissement du gaz carbonique dans l'atmosphère, c'est le déchet le plus évident produit par tous les pays, quel que soit leur degré de développement. Les travaux, grâce aux satellites, se concentrèrent d'abord sur la composition et la dynamique de l'atmosphère. Car depuis les travaux d'Arrhenius, au début du XXe siècle, le monde savait que la production de gaz carbonique accroîtrait la température du globe mais le rôle de l'océan avait été, dans tous les travaux préliminaires, insuffisamment pris en compte. Les progrès ont été rapides, essentiellement dus aux données satellitaires permettant de recevoir des informations en temps réels. Le rôle du couplage océan-atmosphère s'est avéré être majeur dans l'évolution climatique : l'océan était tantôt une pompe à gaz carbonique, tantôt un émetteur.

Il n'existe plus de climatologie sans ce couplage ; quiconque étudie la dynamique des océans contribue à la connaissance du climat sur l'ensemble du Globe.

* * *

De cette épopée océanique, je tirerai quatre leçons :

- 1) Les résultats scientifiques les plus théoriques, parfois après de longs délais, ont renouvelé par des à coups totalement imprévus la connaissance des Océans.
- 2) Lorsque la communauté succombe au « penser-correct », des découvertes majeures sont négligées ou rejetées. Pensons-y lorsqu'on évoquera l'évaluation comme clef de voûte de la structuration de la recherche et des programmes, faisons qu'elle ne soit pas un éteignoir.
- 3) Les découvertes de rupture s'accompagnent rapidement d'un foisonnement d'innovations technologiques. En océanographie, ce foisonnement n'a pas suivi le marché, mais en a créé un, tout à fait inattendu.
- 4) L'opinion publique peut s'enflammer et dicter une politique de recherche qui permet un bond en avant par la mise en place de grands programmes et parfois d'institutions. Mais, des structures de recherche indépendantes doivent pouvoir poursuivre des objectifs totalement différents, car là se préparent, aujourd'hui, les révolutions océanographiques de demain.

Ceci ne s'appliquerait-il pas à d'autres secteurs ?