

QU'EST-CE QUE L'OCÉANOGRAPHIE ?



I. Introduction

A. L'océanographie, une science multiple

L'océanographie est une science qui étudie les mers, les océans : leurs limites et leurs interactions avec l'air, le fond, les continents mais aussi les organismes qui y vivent.

Ce n'est pas une science comme une autre car elle fait intervenir de nombreuses disciplines scientifiques, à l'image de la multiplicité de ses domaines d'études.

Ainsi, les océanographes s'intéressent à la dynamique des fluides (courants, marées...), à la chimie de l'eau de mer, à la géologie* des fonds marins, à la biologie* ou au comportement des êtres vivants qui peuplent ces fonds, ...



Pour faire progresser les connaissances dans ces domaines, diverses disciplines plus ou moins connues du grand public coopèrent, telles que la biologie* et la microbiologie* marines, la chimie*, la biochimie*, la géologie, la sédimentologie*, ou encore la géophysique* qui englobe la géodésie*, la sismologie*, l'hydrologie*, la météorologie*...

L'océanographe n'est bien évidemment pas un spécialiste dans toutes ces disciplines à la fois !

C'est la mutualisation des savoirs acquis dans les différentes branches qui composent l'océanographie qui permettent de mieux connaître et comprendre l'océan.



B. Précision de vocabulaire

Océanographie : formé de *-océan* et *-graphie*. Ce terme daterait de 1584 mais n'est vraiment employé qu'à partir de 1876¹, date de la fin de la première campagne océanographique moderne de la corvette britannique HMS (Her Majesty's Ship) *Challenger*. Le suffixe *-graphie* désigne l'action d'écrire, par extension décrire.

Océanologie : formé de *-océan* et *-logie*. Néologisme datant de 1966. Méthodes et opérations scientifiques, techniques mises en œuvre en vue de la prospection, de l'exploitation économique ou de la protection des océans¹.

Le suffixe *-logie*, issu du grec *-logos*, désigne le discours, par extension la rationalité, l'étude.

Océanographie ou Océanologie ?

Suivant les sources ou les personnes consultées, des flottements existent dans les définitions... On peut rencontrer les termes « océanographie » et « océanologie » employés comme des synonymes. L'océanologie (terme issu de l'anglais « oceanology ») correspond parfois à la définition d'océanographie appliquée (à destination des services, industries)... D'autres expliquent que l'océanologie, par opposition à l'océanographie, ne se contente pas de décrire l'océan mais de comprendre ses mécanismes. En réalité, ce terme est employé à un stade particulier de développement de l'océanographie. C'est-à-dire à partir du moment où « les travaux scientifiques et la technologie permettent d'aborder une nouvelle étape, celle de la conquête et de l'exploitation des océans au profit des hommes. Océanologie est un terme générique qui recouvre les sciences océanographiques et les activités de recherche et de développement relatives à l'espace océanographique »².

¹ Source : Le Petit Robert, édition 2003.

² Source : L'océanologie : La recherche et la mer / Bruno Chomel de Varagnes. - Paris : La documentation française, 1974

C. L'océan en quelques chiffres



71% de la surface du globe est couverte par l'océan soit 361 millions de km².

Le volume de l'océan global est estimé à 1 370 millions de km³, soit 97% de l'eau de la planète.

Les océans sont définis d'après les caractéristiques suivantes :

- leur superficie est élevée
- leur profondeur importante
- il existe de larges communications entre eux
- leurs rivages appartiennent à deux continents différents.



Formation des océans :

Il y a 4,5 milliards d'années, la Terre était incandescente et entourée d'une masse nuageuse contenant de la vapeur chargée en eau. 400 millions d'années plus tard, il se met à pleuvoir massivement, l'eau sort de son état gazeux. Ce déluge entraîne un refroidissement progressif du globe. Ce sont ces pluies diluviennes qui sont à l'origine des océans. Ils réguleront le climat et permettront il y a 4 milliards d'années l'installation de la vie (des processus chimiques ayant eu lieu dans l'eau à l'état liquide sont à l'origine de la vie).

Superficie des océans :

- Océan Atlantique : 106 106 km²
- Océan Pacifique : 180 106 km²
- Océan Indien : 75 106 km²

Certains auteurs considèrent parfois en plus la zone autour du continent Antarctique, limitée par un front thermique entre le 38^e et le 40^e parallèle sud comme un quatrième océan, baptisé **Austral ou Antarctique**. (Un front thermique désigne une brusque variation de la température de la mer et permet de délimiter des masses d'eau).

L'**océan Arctique** n'ayant qu'une superficie d'environ 14 106 km² est plutôt considéré comme une mer glaciaire.

II. Océanographie – Présentation

A. Naissance de l'océanographie

1. 18^e siècle : les voyages d'exploration scientifique

L'exploration de l'océan a d'abord eu besoin de la navigation et de ses progrès. La navigation se développe parallèlement à l'intensification des échanges commerciaux suite à la naissance de l'agriculture en Egypte et en Mésopotamie (vers 8 000 ans av. J.-C.). Les Phéniciens de l'Antiquité sont à l'origine de l'art de la navigation lointaine (entre 1 200 et 600 ans av. J.-C, en mer Rouge, Atlantique Est, océan Indien). La science de la navigation s'éveille avec la civilisation grecque. Dès la Haute Antiquité (- 58 av. J.-C. à 250 ap. J.-C.), des philosophes comme Aristote (384-322 av. J.-C.), puis Pline l'Ancien (23-79), étudient les organismes marins.

Cependant avant le 19^e siècle, on ne peut pas véritablement parler d'océanographie même si les premiers grands navigateurs recueillent des observations sur les mers qu'ils traversent et réalisent des cartes. Durant le Moyen Âge, l'exploration des océans s'intensifie grâce aux Arabes, Vikings, Chinois et Polynésiens. Les musulmans, en développant leur commerce, utilisent l'astrolabe*, rapportent des boussoles* de Chine, enrichissent la géographie de connaissances mathématiques et astronomiques*. La Renaissance est l'ère des grandes découvertes, de l'expansion maritime. La cartographie (édition des cartes et plans) se développe : les navigateurs et les scientifiques se mettent à échanger des informations car ce sont les compilateurs qui font les cartes et non plus les marins eux-mêmes. Des noms de marins célèbres sont restés (le navigateur italien Christophe Colomb, 1450-1506 ; les navigateurs portugais Vasco de Gama, 1469-1524 et Fernando Magellan, 1480-1521...) mais les motivations de ces voyages sont avant tout économique et religieuse (établir des comptoirs, des colonies ; évangéliser les populations locales...).

Au cours du 18^e siècle, en Europe, de nouveaux courants scientifiques et philosophiques émergent (Les Lumières).



Un vent nouveau souffle sur les sciences naturelles, les océans deviennent objets de découvertes et des naturalistes* embarquent sur les navires.

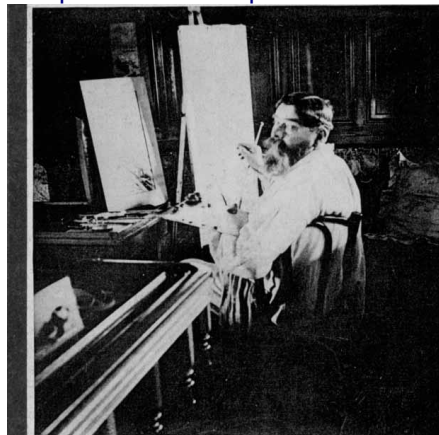
Suite aux expéditions commerciales, des progrès techniques ont permis d'améliorer la navigation (meilleure connaissance des côtes, des vents et des courants).

Des expéditions scientifiques, financées par les gouvernements ou par des académies scientifiques* voient le jour. Ainsi des scientifiques sont envoyés explorer les mers et cartographier de nouvelles régions.

Des naturalistes* et des peintres embarquent pour dessiner et classer les nouvelles espèces découvertes dont, les animaux et végétaux marins.

De cette façon, l'inventaire des espèces marines s'enrichit. Les articles consacrés à la mer dans l'Encyclopédie sont de plus en plus nombreux.

Dès les expéditions scientifiques du 18^e, des peintres embarquaient pour représenter les espèces découvertes.

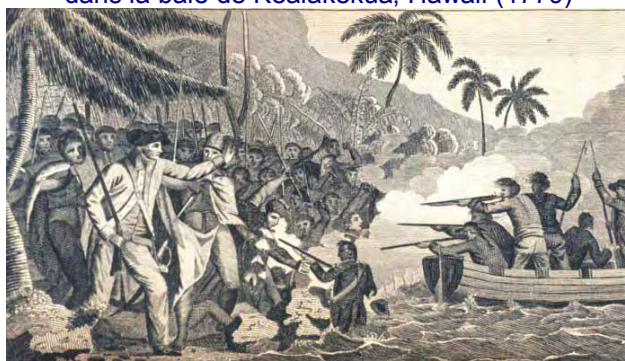


Louis Tinayre (1861-1942) peignant à bord en 1912.
In: "Results of the Scientific Campaigns of the Prince of Monaco." Vol. 89. Credit: NOAA Rice Library of the NOAA Centers for Coastal Ocean Science

Les voyages des grands navigateurs du 18^e siècle qui explorèrent l'immensité du Pacifique donnent lieu à de riches publications et suscitent un engouement pour l'étude de l'océan et la diversité des êtres vivants le peuplant. Même si ces grands navigateurs (l'anglais James Cook, 1728-1779 ; les français Louis Antoine de Bougainville, 1729-1811 et le comte de La Pérouse, 1741-1788) étaient surtout des explorateurs et des commerçants, des naturalistes avaient aussi participé aux périples.

Le naturaliste français Philibert Commerson (1727-1773) embarque en 1766 avec Bougainville pour son voyage autour du monde ; le naturaliste et botaniste britannique Joseph Banks (1743-1820...) prend le départ du premier voyage de James Cook en 1768. Leurs voyages inspirèrent les futures expéditions purement scientifiques du 19^e et 20^e siècles.

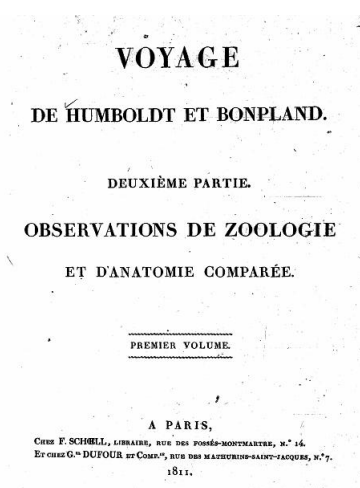
La mort du Capitaine James Cook dans la baie de Kealakekua, Hawaii (1779)



In: "A Collection of Voyages round the World ... Captain Cook's First, Second, Third and Last Voyages ...", 1790. Photo. Mr Sean Linehan, NOS, NGS (Treasures of the NOAA Library Collection)

Pendant la première moitié du 19^e, se développent ce qu'on appelait des croisières de naturalistes*. Ainsi Charles Darwin (1809-1882), à 22 ans, participe en tant que naturaliste volontaire à l'expédition de reconnaissance et d'exploration scientifique dans les mers du Sud à bord du HMS (Her Majesty's Ship) *Beagle*. Pour cette mission, le navire a été doté de laboratoires. Charles Darwin procède à des observations multiples, étudie les récifs coralliens, utilise des filets à plancton pour capturer des petites créatures dérivant dans les eaux. Ces observations et la collection qu'il réalise lui permettent d'écrire un résumé de sa théorie qui devient en 1859 un classique de la littérature scientifique : *De l'origine des espèces au moyen de la sélection naturelle ou la préservation des races favorisées dans la lutte pour la vie*.

2. Seconde moitié du 19^e siècle : naissance de l'océanographie



Source : Gallica (BNF)

<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k61302z>

Au début du 19^e siècle, les pratiques d'inventaire commencent à changer.

Par exemple, le baron Alexander Von Humboldt (1769-1859), naturaliste et voyageur allemand qui a exploré l'Amérique tropicale et l'Asie centrale, ne se contente plus d'inventorier la faune et la flore mais tente d'en comprendre l'organisation spatiale. Il aurait même proposé une politique d'exploitation des ressources en Amérique du Sud après y avoir constaté de mauvaises pratiques de pêche.

Quelques dates représentatives du développement de l'océanographie :

1725

- Le comte italien Luigi Ferdinando Marsili (1658-1730), membre de l'Académie royale des sciences de Paris, publie à Amsterdam *L'Histoire physique de la mer*. Ce livre aborde entre autre la configuration du fond de la mer dans le Golfe du Lion, des relevés de température en Méditerranée, les coraux... Cet ouvrage est considéré comme le premier livre d'océanographie.

1750

- Dès cette date, on utilise des dragues* pour récolter des animaux et des végétaux du littoral. Les espèces sont ensuite étudiées dans les Musées d'Histoire Naturelle.

1751

- Publication par Diderot des 1^{ers} volumes de *L'Encyclopédie* qui consacre de nombreux articles à la mer.

1752

- En France, est créée l'Académie de Marine, société savante* composée d'hydrographes*, de marins, d'astronomes*, de naturalistes*, qui participent à des voyages d'exploration.

1769

- L'américain Benjamin Franklin établit la première carte du Gulf Stream en s'appuyant sur les données fournies par les chasseurs de baleine.

1795

- Création en France du Bureau des Longitudes. Il s'agit de reprendre "la maîtrise des mers aux anglais", grâce à l'amélioration de la détermination des longitudes en mer.

1799

- Le physicien français Laplace établit dans le quatrième livre de son *Traité de mécanique céleste* une théorie dynamique des marées (utilisée jusqu'en 1992 !)

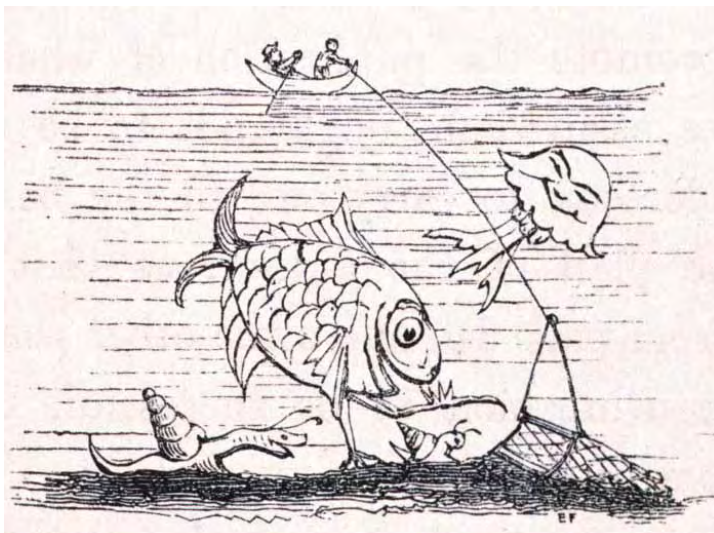
1841

- Le naturaliste britannique Edward Forbes (1815-1854) effectue des expériences de dragage en mer Égée prouvant que la faune se raréfie au fur et à mesure des profondeurs. Celui-ci affirme que la vie n'existe plus après 550 mètres de profondeur ; il qualifie cette zone d'azoïque ; c'est-à-dire où il n'y a pas de trace de vie animale. Il ignore alors que des crustacés ont déjà été trouvés à plus de 1 000 mètres de profondeur par des pêcheurs de Nice, selon les observations du naturaliste niçois Antoine Risso, auteur d'un ouvrage d'ichtyologie* publié en 1810 (première description des poissons et crustacés de Méditerranée). En 1818, le capitaine anglais John Ross (1777-1856) avait quant à lui remonté de la Baie de Baffin (dans l'océan Arctique, entre le Groenland et la terre de Baffin), grâce à une petite benne, un échinoderme* vivant de plus de 1 800 m de profondeur.

Edward Forbes



Source : The Report of the Scientific Results of the Exploring Voyage of *HMS Challenger* during the years 1873-1876 published 1885-95



→ Frontispice d'*Histoire naturelle des mers européennes* par Edward Forbes (posthume), édité par Robert Godwin-Austen (1855 ca.)

NOAA Collect - Photographie Steve Nicklas, NOS, NGS

1851

- Michael Sars (1805-1869) naturaliste et prêtre norvégien publie une liste d'espèces récoltées à environ 550 mètres de profondeur au large des côtes norvégiennes.

1861

- Suite à la remontée d'un câble entre la Sardaigne et l'Algérie, le naturaliste français Henri de Milne Edwards (1800-1885) découvre des vers à tube (sorte de ver marin) et des madréporaires* qui proliféraient à plus de 1 800 mètres.

1868

- Les Britanniques lancent plusieurs campagnes pour découvrir les espèces des grands fonds. Charles Wyville Thomson (1830-1882) naturaliste écossais, à bord du *Porcupine* rapporte les premières mesures et prélèvements jusqu'à 3 500 mètres.

1874

- Parution du premier ouvrage d'océanographie traitant des grandes profondeurs *The Depths of the Seas* (traduit en français sous le titre *Les abîmes de la mer*) par Charles Wyville Thompson.

En France, 2 entités participent activement au développement de l'océanographie : l'institution universitaire (la Faculté des Sciences de Paris ; le Muséum national d'Histoire naturelle) et La Marine Nationale.

En 1880 et 1883, la France équipe deux navires pour participer elle aussi à cet effort de recherche : le *Travailleur* et le *Talisman*. Alphonse Milne-Edwards, professeur de zoologie au Muséum National d'Histoire Naturelle, effectue de 1880 à 1884 des expéditions, du golfe de Gascogne à Madère et en Méditerranée, à bord du *Travailleur*, aviso à roues de la Marine nationale. Le *Talisman*, un éclairer d'escadre, est plus grand que le *Travailleur* et peut effectuer des voyages plus lointains. En 1883, le *Talisman* fait des récoltes profondes jusqu'aux îles du Cap Vert, dans la mer des Sargasses et au large des Açores, découvrant une profondeur de 6 250 mètres. L'observation du relief sous-marin au large des Açores et l'examen des pierres poncees et des roches volcaniques remontées par les dragues, font comprendre qu'il existe « une grande chaîne volcanique parallèle à la côte d'Afrique » ; c'est la dorsale médio-atlantique qui ne sera mise en évidence que plus d'un demi-siècle plus tard ! Tous les animaux récoltés sont décrits et figurent depuis dans les collections du Muséum national d'Histoire naturelle à Paris.

Les campagnes océanographiques se multiplient alors dans le monde entier : les Etats-Unis en 1888, l'Allemagne en 1899, les Pays-Bas 1900.

C'est le début des véritables campagnes océanographiques. La naissance de l'océanographie a donc été contemporaine des découvertes réalisées par les premiers biologistes curieux de savoir si la vie existait dans les grandes profondeurs.

Ce sont aussi le développement de la navigation intercontinentale et la pose de câbles transatlantiques qui engageront ces campagnes. En effet, suite à divers échecs (rupture d'un câble télégraphique entre l'Irlande et Terre Neuve), il devient nécessaire de mieux connaître les profondeurs de l'Atlantique. Jusque là, on croyait que le fond des océans était plat et on ignorait la composition du substrat dans lequel les câbles risquaient de s'enliser si les fonds étaient trop meubles.

3. Fin 19^e, début 20^e : les stations marines

Les biologistes marins, afin de collecter les animaux vivants, ont pris l'habitude de se rendre sur le littoral. Ils ont alors besoin de lieux pour stocker, conserver et étudier les espèces récoltées. Les stations marines sont donc créées pour pallier ce problème.

Autrefois les naturalistes effectuaient leurs observations directement sur les plages ou à bord, lors d'expéditions en mer. Ici, le Professeur allemand Hergesell utilisant un électroscope sur le pont, en 1910, lors d'une campagne du Prince Albert 1^{er} de Monaco →

Carl Vogt (1817-1895), zoologiste allemand, tente de créer un laboratoire marin à **Trieste** (Italie). Il lance ainsi l'idée d'un laboratoire fixe permettant des études plus approfondies mais son projet n'aboutit pas.



In: "Results of the Scientific Campaigns of the Prince of Monaco." / Credit: NOAA Rice Library of the NOAA Centers for Coastal Ocean Science

Il inspirera le zoologiste belge Pierre Van Beneden (1809-1894) qui fait transformer une huîtrière d'**Ostende** (Belgique) en 1843 pour en faire un laboratoire maritime mais celui-ci finit par être abandonné.

En France, les stations marines se développent rapidement. Elles sont destinées à l'enseignement et accueillent durant l'été des chercheurs de différentes disciplines. Elles sont principalement consacrées à la biologie marine.

Victor Coste (1807-1873), naturaliste* français, s'intéresse à l'ichtyologie*. Il fonde en 1859 la station marine de **Concarneau** (Finistère), le premier laboratoire maritime des côtes françaises, qui jouera un

rôle important dans la recherche scientifique de l'époque. C'est aujourd'hui la plus ancienne station de biologie marine existant au monde.



Victor Coste



Station marine de Concarneau

← ↑ Crédit : Michel Gigan (Laboratoire de Biologie Marine de Concarneau)

Depuis 1996, la station est gérée par le Muséum National d'Histoire Naturelle en concertation avec le Collège de France. En plus des activités de recherche, on y trouve un marinarium (musée-laboratoire).

Suivront les stations fondées par le professeur titulaire de la chaire de Zoologie de la Sorbonne, Henri de Lacaze-Duthiers : **Roscoff** (Finistère), en 1872 ; puis **Banyuls-sur-Mer** (Pyrenées-Orientales) en 1882.



Station biologique de Roscoff, l'aquarium de recherche vers 1910

Source : <http://www.sb-roscoff.fr/sbrHistorique/index.html> (image issue du diaporama réalisé par André Toulmond)



La Station de Banyuls-sur-Mer

Les Archives du Laboratoire Arago, <fontfamily><param>Times</param>© </fontfamily>2007 / N° IMN-JG-3550

La même année (1882), deux jeunes zoologistes : Hermann Fol et Jules Barrois fondent le « Laboratoire des Hautes Etudes » à **Villefranche-sur-Mer** (Alpes Maritimes) ; après diverses évolutions au cours de la fin 19^e et du 20^e siècle (en 1884, A. de Koretneff, professeur de l'université de Kiev, en fait le « Laboratoire russe de zoologie » ; en 1931, il est rattaché au Ministère de l'éducation nationale français, mis à disposition de l'Université de Paris et rattaché au Laboratoire Arago, à Banyuls-sur-Mer ; en 1971 la station devient indépendante de Banyuls) le laboratoire de zoologie marine devient peu à peu pluridisciplinaire pour donner naissance au centre d'Etudes et de Recherches océanographiques de Villefranche-sur-Mer (CEROV), qui deviendra l'Observatoire océanologique en 1989.

En 1863, la société des sciences naturelles et archéologiques d'Arcachon organise une exposition internationale dont les locaux servent par la suite à la création de la station marine d'**Arcachon** (Gironde) qui sera achevée en 1883.

En 1874, la faculté des sciences de Lille fonde le laboratoire marin de **Wimereux** (à proximité de Boulogne-sur-Mer) et l'université de Caen, celui de **Luc-sur-Mer** (Calvados). En 1879, l'université de Montpellier crée le laboratoire de **Sète** (Hérault). En 1900, un professeur de zoologie de Lille crée la station de **Portel** au sud de Boulogne-sur-Mer.

À la demande des professeurs du Muséum national d'histoire naturelle, est créé en 1888 le laboratoire marin de l'île de Tatihou, dans la Cotentin. En 1923, sur les conseils de Jean Charcot, le Laboratoire maritime vient s'installer dans les locaux de la Marine nationale à **Saint-Servan**, à l'embouchure de la Rance. Il est ensuite transféré à **Dinard** en 1935.

La même année est achevée la station d'**Endoume** (Bouches-du-Rhône) rattachée à la faculté des sciences de Marseille. Il est aujourd'hui l'une des composantes du Centre Océanologique de Marseille (Université de Méditerranée, Aix-Marseille 2).

Entre 1891 et 1900, l'université de Lyon installe la station marine de **Tamaris**, dans la rade de Toulon (Var).

La France crée également des stations marines dans ses colonies : **Castiglione** en Algérie, **Salâmmo** en Tunisie, **Nha Trang** au Vietnam...

Avec la création de toutes ces stations débute en France, au sein de l'enseignement supérieur, une recherche en biologie marine de qualité, associée à l'enseignement, deux activités qui n'ont cessé de se développer.

Des pays étrangers installent également à la fin du XIX^e siècle des laboratoires sur leurs côtes.

En 1871, en Russie, la station biologique de **Sébastopol** est créée sur les bords de la mer Noire. En 1872, l'Allemand Anton Dohrn (1840-1909) crée la station zoologique de **Naples** (Italie). Cette station marine était considérée à l'époque comme le plus grand établissement mondial dédié à la recherche. Contrairement aux stations françaises, elle n'est pas rattachée à une université mais est privée, ouverte toute l'année, à la disposition des chercheurs.

Certains scientifiques l'ayant fréquentée, créent à leur tour un laboratoire marin dans leur pays : le laboratoire de **Misaki** (Japon) créé en 1887 par Kakichi Mitsukuri (1858-1903), **Plymouth** (Angleterre) créée en 1888 par Edwin Ray Lankester.

En Californie, à San Diego, un 2^{ème} laboratoire américain voit le jour en 1903 : le [Scripps Institution of Oceanography](http://sio.ucsd.edu/).

Pour en savoir plus : <http://sio.ucsd.edu/>

Répondant à des besoins économiques, l'activité des stations marines à la fin du 19^e siècle et au début du 20^e siècle est intense tandis que l'océanographie en haute mer souffre de moyens financiers et techniques limités.

4. Fin 19^e, début 20^e : essor de l'océanographie

- **Les campagnes océanographiques modernes**

En 1872, a lieu la première campagne océanographique moderne autour du monde. Le premier navire à but scientifique, la corvette HMS (Her Majesty's ship) *Challenger* part d'Angleterre pour quatre ans de mission et rapporte des milliers d'échantillons et d'observations. Cette campagne lança le début des grandes expéditions scientifiques dans le monde entier et à son retour en 1876, le terme "océanographie" commence à être réellement employé.

En savoir plus sur la campagne du HMS *Challenger* :

III. A.1ère campagne océanographique moderne : la campagne multidisciplinaire du HMS Challenger

Ainsi, jusqu'en 1914, de nombreuses expéditions allemandes, américaines et monégasques ont lieu.



Dans le laboratoire de bord (1903)

In: "Results of the Scientific Campaigns of the Prince of Monaco." Vol. 89. Credit: NOAA Rice Library of the NOAA Centers for Coastal Ocean Science

Les résultats des recherches sont publiés dans 110 volumes intitulés *Résultats des campagnes scientifiques accomplies sur son yacht par Albert Ier, Prince Souverain de Monaco*: ils concernent l'étude des courants superficiels et l'exploration zoologique des fonds, jusqu'à moins 6 035 mètres.

Il est aussi le fondateur du Musée océanographique de Monaco ouvert en 1910 et de l'Institut océanographique de Paris inauguré en 1911.

De 1885 à 1915, le prince Albert I^{er} de Monaco (1848-1922), lui-même navigateur et océanographe, met à disposition des scientifiques successivement ses yachts l'*Hirondelle*, l'*Hirondelle II*, la *Princesse Alice* et la *Princesse Alice II*. 28 campagnes de recherche océanographique sont menées en Méditerranée et dans l'Atlantique nord. Les yachts sont spécialement conçus pour des travaux océanographiques: ils sont équipés de laboratoires avec tables à roulis, tables éclairantes, réservoirs d'alcool spéciaux et ils disposent d'une distribution d'eau distillée et d'eau de mer. Les scientifiques, grâce à ce matériel moderne, peuvent alors recueillir des animaux qui échappaient aux engins de récolte habituels.



Prince Albert I^{er} de Monaco (1910)

In: "Results of the Scientific Campaigns of the Prince of Monaco." Vol. 89. Credit: NOAA Rice Library of the NOAA Centers for Coastal Ocean Science

- **Organismes internationaux de coordination**

C'est à cette même époque que sont créés les organismes internationaux de coordination :

- 1889, début des réunions qui ont conduit à la création à Copenhague le 22 juillet 1902 d'un **Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM)** ; la France y adhère en 1918. Ce conseil

coordonne et assure la promotion de la recherche marine dans l'Atlantique Nord. Il compte aujourd'hui 20 membres : Allemagne, Belgique, Canada, Danemark, Espagne, Estonie, Etats-Unis, Finlande, France, Irlande, Islande, Lettonie, Lituanie, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Royaume-Uni, Russie, Suisse.

Pour en savoir plus : <http://www.ices.dk/indexfla.asp>

- 1912, création de la **CIESM (Commission internationale pour l'exploitation scientifique de la Méditerranée)** qui soutient la recherche en Méditerranée et en mer Noire dans de multiples disciplines marines et environnementales. Elle compte aujourd'hui 23 pays membres. Cette commission fut créée suite au 9^e congrès de géographie (1908, Genève) où l'idée de l'exploration océanographique de la Méditerranée, dans l'intérêt de la pêche marine, avait été avancée. Un comité spécial avait alors été composé par le Prince Albert I^{er} de Monaco (le Président) et par plusieurs professeurs : Cori (Trieste), Vinciguerra (Rome), Regnard (Paris), Navarete (Madrid).

Pour en savoir plus : <http://www.ciesm.org/index.htm>

- **Programmes de recherche systématiques**

Entre 1918 et 1957, sont mis en place des programmes de recherche systématiques nationaux : exploration de l'Atlantique Sud de 1925 à 1927 par le navire allemand *Meteor* (c'est le premier à réaliser l'étude hydrographique* d'un océan entier et à être équipé d'un sondeur* ultrasonore) ; étude de l'océan Austral au début des années 1930 par le navire britannique *Discovery*.

Ballon météorologique à bord du METEOR (1928)



Abb. 61. Verdunstungsmeßer und zugehöriger Regenmesser auf dem Achterdeck.



Abb. 62. Rollen eines Neunliterballons.



"The Meteor Expedition," by F. Spiess, German Atlantic Expedition 1925-1927. Crédit : Steve Nicklas, NOAA Collect

L'année **Géophysique Internationale (AGI) de 1957** sera le point de départ des programmes internationaux de recherche à l'échelle du globe. Entre juillet et décembre 1958, période d'activité solaire maximum, de nombreuses études des phénomènes géophysiques* eurent lieu afin de mieux connaître les propriétés physiques de la Terre et ses interactions avec le soleil, en divers points du globe, notamment dans les régions polaires, peu étudiées jusqu'alors.

- **Développement des instituts océanographiques dans le monde**

- **Allemagne**

En 1980, est créé l'**Institut Alfred Wegener**, principal centre de recherche de l'Allemagne en matière polaire, maritime et climatologique, dont le siège est à Bremerhaven. Les recherches menées par l'Institut concernent aussi bien la tectonique des plaques que la structure des chaînes alimentaires tout en passant par les causes et conséquences des changements climatiques.

Pour en savoir plus : <http://www.awi.de/en/>

- **Canada**

Créé en 1962 par le gouvernement du Canada et situé sur les rives du bassin de Bedford, à Dartmouth, en Nouvelle-Écosse, l'**Institut océanographique de Bedford (IOB)** est le plus grand centre de recherches océaniques du Canada et le premier grand centre fédéral à vocation océanographique. L'Institut effectue des recherches orientées pour le compte du gouvernement du Canada, dans le but de guider et d'étayer le processus décisionnel gouvernemental dans un vaste éventail de domaines touchant à l'océan et concernant, notamment, la souveraineté, la défense, la protection de l'environnement, la santé et la sécurité, les ressources halieutiques et les ressources naturelles ainsi que la planification et la gestion de l'environnement et des océans.

Pour en savoir plus : <http://www.bio.gc.ca/welcome-f.html>

- **Etats-Unis**

En 1888, aux Etats-Unis, près de Boston le Woods Hole, un institut créé par Charles Otis Whitman (1842-1910), et qui deviendra le Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI).

Pour en savoir plus :
<http://www.whoi.edu/>

Woods Hole (laboratoire d'origine à Buoy Wharf, Massachusetts)



Credit: Stefan Claesson, Gulf of Maine Cod Project, NOAA National Marine Sanctuaries; Courtesy of National Archives

En 1970, trois agences du gouvernement américain fusionnent (United States Coast and Geodetic Survey, 1807 ; le Weather Bureau, 1870 ; le Bureau of Commercial Fisheries, 1871) pour fonder la NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration), agence américaine responsable de l'étude de l'océan et de l'atmosphère. Sa mission est de comprendre et prévoir les changements de l'environnement, d'administrer les ressources marines et côtières afin de concilier les besoins économiques, sociaux et environnementaux des États-Unis dans ces domaines.

Pour en savoir plus : <http://www.noaa.gov/>



← Vue sur le quai du laboratoire des pêches marines de la NOAA

Crédit : NOAA's National Weather Service (NWS) Collection
Photographe : Lieut. Commander Mark Moran, NOAA Corps, NMAO/AO

➤ France

Entre les 2 guerres, l'océanographie des pêches acquiert de l'importance avec la création, en 1920 de l'Office Scientifique et Technique de Pêches Maritimes (OSTPM). Objectif : recueillir sur les lieux de pêche des informations à transmettre aux pêcheurs, réaliser des études sur la biologie des espèces marines commercialisées et le milieu marin. Au début des années 1930, l'OSTPM met en service le chalutier océanographique *Président Théodore Tissier* qui va effectuer de nombreuses campagnes océanographiques, dans l'Atlantique nord en particulier. En 1953, l'OSTPM devient l'ISTPM (Institut Scientifique et Technique de Pêches Maritimes). Il doit alors répondre aux besoins de reconstruction des outils de production et de transformation détruit par la guerre, à la nécessité d'introduction de nouvelles technologies et de création à terre de laboratoires bien équipés et en mer de navires modernes, à la mise en oeuvre de programmes de recherche de haut niveau, à la compétition internationale.

En 1948, le directeur général de l'enseignement supérieur Pierre Donzelot visite les stations universitaires de Roscoff, Banyuls-sur-Mer et Marseille et décide d'attribuer des crédits exceptionnels à ces laboratoires pour les doter d'équipements modernes. Le CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) s'intéresse plus particulièrement à la station de Roscoff où il construit un laboratoire et y affecte des personnels du CNRS : la laboratoire Yves Delage, en 1950.

En 1967, le CNEOX (Centre national pour l'exploitation des océans) naît officiellement. C'est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) qui a pour mission "de développer la connaissance des océans, les études et les recherches tendant à l'exploitation des

ressources contenues à leur surface, dans leur masse, leur sol et leur sous-sol".

En 1985, est créé l'INSU (Institut national des sciences de l'Univers) qui va reconnaître le Centre d'Océanologie de Marseille, l'Observatoire Océanologique de Banyuls, l'Observatoire Océanologique de Villefranche-sur-Mer et la Station biologique de Roscoff comme des Observatoires des Sciences de l'Univers (OSU). Les OSU ont pour mission, entre autre l'acquisition de données d'observation ; la mise en place des programmes en vue de l'exploitation et la protection du milieu océanique ; la formation des étudiants et des personnels de recherche.

En 1984, le CNEXO et l'Institut scientifique et technique des pêches maritimes (ISTPM) fusionnent pour former l'Ifremer (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer).

Pour en savoir plus : <http://www.ifremer.fr>

Dans le domaine militaire, le Service hydrographique de la Marine fait progresser la cartographie et l'hydrographie marines. En 1971, il devient le Service hydrographique et océanographique de la Marine (SHOM).

Pour en savoir plus : <http://www.shom.fr>

➤ Grande-Bretagne :

Inauguré en 1995, le NOCS (National Oceanography Centre, Southampton, Grande-Bretagne) est reconnu comme un important Centre de Recherche et d'Enseignement en Sciences de la Mer, en Sciences de la Terre, et en Technologies Marines. Fruit d'un partenariat entre l'Université de Southampton et le Natural Environment Research Council (NERC), le NOCS compte aujourd'hui plus de 1200 personnes dans ses murs (500 chercheurs, enseignants et techniciens, 750 étudiants). Sa mission : comprendre le fonctionnement de l'ensemble des systèmes - physique, biologique, géologique et chimique - de la planète Terre et de ses océans.

Pour en savoir plus : <http://www.soc.soton.ac.uk/index.php>

➤ Japon

En mai 1971, le gouvernement japonais adopte la loi créant le JAMSTEC (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology). Inauguré en octobre 1971, ses activités se sont rapidement orientées vers le développement et l'utilisation de nouvelles technologies. Aujourd'hui, il est constitué de quatre départements dans les domaines suivants : recherche océanique profonde ; technologies marines ; observation de l'océan et recherche sur les écosystèmes marins. La JAMSTEC est doté entre autres du navire de forage *Chikyu*.

Pour en savoir plus : <http://www.jamstec.go.jp/>

- **Quelques dates importantes pour l'océanographie du 20^e siècle**

1934 : Les Américains William Beebe et Otis Barton atteignent la profondeur de 923 mètres à bord de leur bathysphère.

1947 : Le navire suédois *Albatross* découvre une fosse de 7 800 mètres au large de Porto Rico et y pêche quelques spécimens, dépassant ainsi le record du Prince Albert I^{er} de Monaco.

1948 : Henry Stommel explique pourquoi la vitesse du Gulf Stream* peut atteindre jusqu'à 4 km/h tandis que les grands courants océaniques circulent en moyenne à 1 km/h. L'accélération du Gulf Stream, générée par la force de Coriolis* (due à la rotation de la Terre) est plus forte aux pôles qu'à l'équateur. Plus la latitude augmente, plus le courant est rapide ; il ralentit ensuite à cause des forces de frottement, croissantes au fur et à mesure que le courant augmente.

1952 : Le navire danois *Galathea* démontre qu'il n'y a pas de limite de profondeur à la vie sous-marine. En réalisant une expérience dans la fosse des Tonga-Kermadec, dans le Pacifique central, des êtres vivants prélevés à plus de 10 000 mètres de profondeur sont remontés à bord : mollusques, crustacés...

1953 : Premiers essais du bathyscaphe *FNRS III* au large de Toulon. Les profondeurs de 750 mètres, 1 650 mètres et 2 100 mètres sont atteintes, battant très largement le record établi en 1949 à 1 370 mètres par l'américain Otis Barton avec sa bathysphère.

1954 : Au large de Dakar, le bathyscaphe *FNRS III* atteint l'immersion de 4 050 mètres avec à son bord les deux français, Georges Houot et Pierre Willm.

1960 : Les hommes « les plus profonds du monde » sont l'américain Don Walsh et le Suisse Jacques Picard. Ils ont atteint avec le bathyscaphe américain *Trieste* le fond de la fosse des Mariannes au large des Philippines à 10 916 mètres.

1965 : Les géologues américains Bruce Heezen et Marie Tharp représentent en relief le fond des océans d'après les sondages acoustiques réalisés durant les quinze années précédentes. Sont alors représentées les dorsales océaniques qui s'étendent sur des milliers de kilomètres.

1969 : Premiers essais de la soucoupe française *Cyana*, capable de descendre, avec 3 personnes à son bord, à 3 000 mètres de profondeur.

1970 : Le professeur Henri Lacombe mesure en Méditerranée la vitesse du mouvement vertical du phénomène de formation des eaux profondes : entre 5 et 8 centimètres par seconde. Plus l'évaporation est importante, plus l'eau est salée et plus elle est dense. L'eau s'alourdit quand sa température baisse et quand l'eau de surface devient trop lourde, elle coule. Toute la circulation océanique* est régie par ce principe de formation d'eaux profondes (salées et froides) et par le processus inverse de résurgence d'eau de surface.

Grâce aux études qui ont suivi sur la circulation océanique, on sait que les eaux plongent dans le nord de l'Atlantique Nord, qu'elles circulent au fond des mers et qu'elles réapparaissent 600 ans plus tard dans l'océan indien et 1 200 ans plus tard dans le Pacifique nord !

1974 : Le sous-marin habité américain *Alvin* participe à la campagne franco-américaine FAMOUS le long de la ride médio-atlantique au sud des Açores en compagnie des engins sous-marins français : la soucoupe *Cyana* et le bathyscaphe *Archimède*. Les trois engins totaliseront 51 plongées avec 228 heures passées au fond d'où ils ramèneront 2 tonnes d'échantillons de roches, 25 000 photos et 100 heures de film. Les observations réalisées durant ces plongées viendront confirmer la théorie de la dérive des continents.

1977 : Des géologues américains découvrent en plongeant à bord de l'*Alvin* des organismes vivant à proximité des sources hydrothermales, par 2 500 mètres de fond, dans des conditions de température et de pression extrême.

1978 : Le premier satellite entièrement dédié à l'océan, *Seasat*, est lancé le 28 juin pour renseigner les scientifiques sur la surface de la mer, sa température, ses mouvements. La même année (en octobre), son système électrique est endommagé et sa mission prend fin.

1984 : Le sous-marin *Nautilus* est mis en service par le CNEXO. Il peut embarquer trois personnes (pilote, co-pilote et observateur) dans une sphère munie de hublots jusqu'à des profondeurs de 6 000 mètres.

1993 : Le Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) met en service le robot sous-marin autonome AUV *ABE* capable d'intervenir jusqu'à 5.000 mètres.

1995 : Le robot téléopéré japonais *Kaiko* bat le record de profondeur avec 10 911 mètres atteint dans la fosse des Mariannes.

1998 : Mise en service par l'IFREMER du robot téléopéré *Victor 6000* capable de descendre à 6 000 mètres de profondeur.

2004 : Mise en service du robot autonome sous-marin AUV français Aster^x capable de plonger à 3000 mètres de profondeur

2006 : Premiers essais de *SeaOrbiter*, vaisseau scientifique d'observation imaginé par Jacques Rougerie, né de la confrontation des expériences de Jacques Piccard, Jean-Loup Chrétien, et développé et testé grâce à COMEX et à l'institut norvégien Marintek. *SeaOrbiter* devrait dériver au gré des courants avec à son bord 18 océanutes dès 2009.

En résumé, l'évolution de l'océanographie suit le schéma suivant :

- *Exploration et description*
- *Compréhension théorique des phénomènes*
- *Modélisation*, exploration et prévention*

La première phase n'est pas encore terminée !

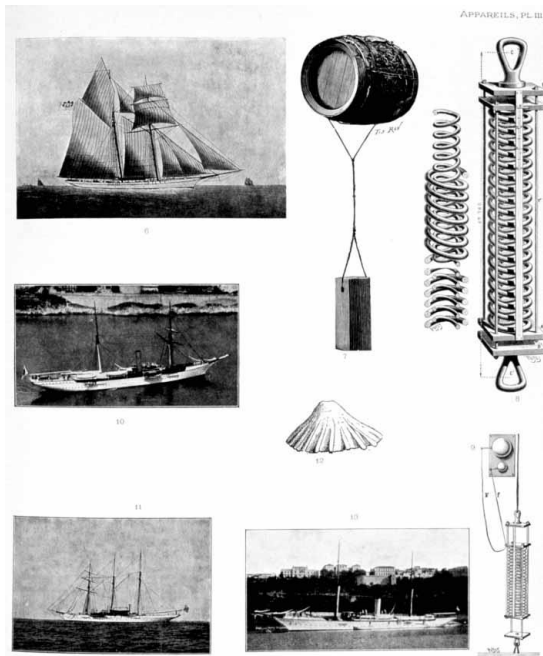
B. Instruments et engins au service de l'océanographie

Si c'est une nécessité technique (poser des câbles transatlantiques) qui est, entre autres, à l'origine de l'océanographie, ce sont aussi les progrès de la technique qui permettent les progrès de l'océanographie, car les contraintes d'exploration de l'océan sont grandes : navigation soumise aux aléas des conditions météorologiques, problème de la pression croissante quand on veut plonger dans les grandes profondeurs (la pression augmente d'une atmosphère, soit 1 kilogramme par cm² tous les 10 mètres)...*

1. Les navires océanographiques français

Avant tout, les navires sont les équipements de base des campagnes océanographiques en mer. Outre ses capacités de navigation (puissance, maniabilité...), les treuils et câbles sont indispensables pour procéder à des prélèvements et des mesures. Ceux-ci sont améliorés au fil du temps : treuils manuels puis à vapeur, électriques et enfin hydrauliques*. Les cordages des câbles deviennent de plus en plus adaptés.

Les instruments de navigation embarqués sont essentiels (chronomètres, sextants...) et leurs progrès ont permis d'améliorer les explorations scientifiques.



← La flotte du Prince Albert 1^{er} de Monaco

In: "Results of the Scientific Campaigns of the Prince of Monaco." Vol. 84.
Credit: NOAA Rice Library of the NOAA Centers for Coastal Ocean Science

Figure 6 - *The Hirondelle*; Figure 10 – *Princess Alice II* ;
figure 11 – *Princess Alice* ; figure 13 - *The Hirondelle II*.

Figure 7 – **Baril lesté** destiné à l'étude des courants. Il est largué à un endroit et contient un message où il est demandé à la personne qui le trouve d'indiquer le lieu et l'heure où elle l'a retrouvé, afin de pouvoir retracer sa dérive.

Figures 8 et 9, **dynamomètres** qui permettent d'amortir et de mesurer la tension des câbles de dragage, sondage, afin de ne pas les casser. Les extrémités opposées de cet instrument, utilisant un ressort, sont fixées à des anneaux d'attache. Un cadre les relie de façon à ce que la pression s'exerce en même temps sur les deux. L'appareil est fixé dans la mâture et contient une poulie où passe le câble. Un index montre l'effort supporté et permet de se rendre compte si la tension est trop forte.

On distingue les **navires hauturiers** (destinés aux campagnes en pleine mer, au large) et les **navires côtiers**, qui, comme leur nom l'indique, servent aux campagnes océanographiques le long des côtes.

En 2006, la flotte océanographique française est composée de :

- Cinq navires hauturiers (ou grands hauturiers) :
 - deux navires de L'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer) : **L'Atalante** (pluridisciplinaire ; tous océans) et le **Thalassa**, navire support du ROV *Victor 6 000*, plutôt destiné à l'océanographie physique et à l'halieutique (l'exploitation biologique des fonds marins, c'est-à-dire ce qui concerne la pêche) dans l'océan Atlantique.
 - deux navires de l'Institut Paul-Emile Victor (IPEV) avec le **Marion Dufresne II** (pluridisciplinaire ; tous océans) et **L'Astrolabe** (ravitailleur ; Tasmanie – Terre Adélie)
 - deux navires partagés entre l'Ifremer et la Marine nationale : le **Beautemps-Beaupré** et le **Pourquoi pas ?**

Les besoins d'hydrographie et d'océanographie de la Marine nationale et de la communauté scientifique concourent à des activités de même nature qui favorisent une synergie entre les deux ministères de la Défense et de la Recherche pour leurs moyens maritimes. Dans ce cadre, deux navires ont été construits en partenariat entre le ministère de la Défense et l'Ifremer.

→ un navire civil, armé par Genavir sous pavillon français, à usage partagé. Il porte le nom de **Pourquoi pas ?** Ce navire d'une centaine de mètres, est financé à 55% par l'Ifremer et 45% par la Marine avec une utilisation répartie de 150 jours/an pour la Marine et de 180 jours/an pour l'Ifremer. Il s'agit d'un navire polyvalent équipé pour les travaux en route et optimisé pour les travaux en chantier. Le **Pourquoi pas ?** peut ainsi mener à bien des missions d'hydrographie, hauturière ou côtière, de géosciences, d'océanographie physique, chimique et biologique et mettre en oeuvre les équipements scientifiques de l'Institut. Au cours d'une mission, il est capable de mettre en oeuvre alternativement deux équipements lourds, type *Nautile*, *Victor 6000* ou engin remorqué.

Effectuez une visite virtuelle du laboratoire d'hydrologie à bord du *Pourquoi Pas ?*

et découvrez toutes les caractéristiques techniques du navire sur le site Internet de l'Ifremer :

<http://www.ifremer.fr/flotte/navires/hauturiers/pourquoipas/visitevirtuelle/index.html>

→ un navire militaire, le **Beautemps-Beaupré**, destiné à couvrir les besoins stratégiques de la Marine et du SHOM, dans l'Atlantique-Nord en particulier. Ses principales missions portent sur l'hydrographie, la bathymétrie fine et l'océanographie physique. L'Ifremer participe à son financement à hauteur de 5% et peut l'utiliser 10 jours/an.

- Quatre navires semi-hauturiers (ou petits hauturiers) :

- un navire Ifremer : **Le Suroît** (géophysique ; Méditerranée et proche de l'Atlantique)
- un navire de l'IPEV : **La Curieuse** (halieutique/océanographie ; Océan Indien)
- deux navires de l'Institut de Recherche et Développement (IRD) : **Alis** (pluridisciplinaire ; Atlantique tropical) et **Antéa** (pluridisciplinaire ; Pacifique Sud-Ouest).

- Six navires côtiers (ou de façade) :

- trois navires Ifremer : **L'Europe** (halieutique, littoral ; Méditerranée), **Gwen Drez** (halieutique ; Manche - Golfe de Gascogne) et **Thalia** (pluridisciplinaire ; Manche - Golfe de Gascogne).
- trois navires de l'Institut National des Sciences de l'Univers : **Téthys II** (pluridisciplinaire ; Méditerranée), **Côtes de la Manche** (pluridisciplinaire ; Manche - Golfe de Gascogne), **Côte d'Aquitaine** (pluridisciplinaire ; Manche - Golfe de Gascogne).

L'Atalante et le Pourquoi pas ? , navires pluridisciplinaires et hauturiers Ifremer



L'Atalante
Crédit : Ifremer



Le Pourquoi pas ? à quai dans le port de Rhodes
Crédit : Ifremer / Campagne Medeco 2007 / Michel Gouillou,
<http://www.ifremer.fr/medeco/>

Pour en savoir plus :

Suivez en direct les déplacements des navires de l'Ifremer et les campagnes en cours :

<http://www.ifremer.fr/posnav/PosnavWeb/WFAccueil.aspx>

Retrouvez tous les navires océanographiques européens en consultant la base de données

EurOcean : <http://euroceanuv.addition.pt/index.jsp>

2. Quelques instruments de mesure

Les instruments de mesure employés lors de missions océanographiques sont très nombreux. Nous n'en citerons que quelques-uns.

- **Mesurer la profondeur et connaître le relief des fonds marins**

Pour mesurer la profondeur des mers et océans, on utilisait autrefois un plomb de sonde et un fil. Vinrent ensuite les instruments utilisant les sons (vers 1919), puis les ultrasons (après 1918). Les ultrasons sont des sons dont la fréquence dépasse 20 Kilos Hertz. Les hertz sont des unités de mesure de fréquence. La fréquence désigne, en physique, le nombre de cycles identiques d'un phénomène par unité de temps (souvent par seconde) ; ici la fréquence sonore.

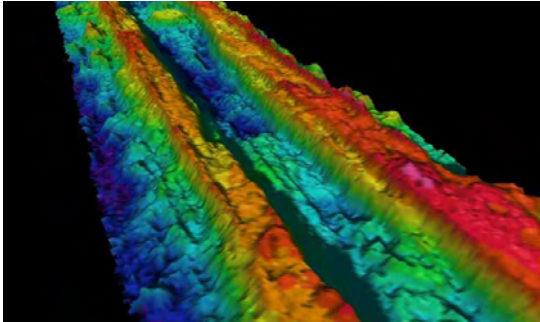
Seules les techniques acoustiques permettent une bathymétrie* fiable dès que la profondeur dépasse quelques dizaines de mètres.

Aujourd'hui les équipements acoustiques à la disposition des chercheurs sont très modernes : sondeur de bathymétrie et de pêche ; sonar latéral...

Fonctionnement des sondeurs et sonars

Ces équipements acoustiques émettent des impulsions sonores dans l'eau de mer. Lorsque ces ondes atteignent un obstacle, elles rebondissent comme des balles vers la surface. L'antenne

réceptrice, composée de « micros sous-marins » (hydrophones) capte alors les « échos ». Connaissant la vitesse de propagation du son dans l'eau salée (en moyenne 1500 m/s), le temps mis par l'onde pour faire l'aller-retour indique la distance à laquelle est l'obstacle. Les échos, appelés « images acoustiques » sont ensuite traduits en image vidéo, visualisées sur un écran au poste de commande.



← Image obtenue grâce à un sondeur multifaisceaux, représentant la crête d'un segment de la dorsale médio-océanique, au large des îles Galapagos, lors de l'expédition américaine Galapagos 2005.

Crédit : Image ID: expl1165, Voyage To Inner Space - Exploring the Seas With NOAA Collect

Le sondeur

Il peut être utilisé pour mesurer la hauteur d'eau (bathymétrie) ou détecter des bancs de poissons (pêche ou océanographie). L'appareil est composé de systèmes électroniques pour l'émission et la réception des signaux sonores et la mesure du temps de propagation de ces signaux (datation et détection de l'écho de fond). Le transducteur, sorte de haut-parleur, est souvent un disque ou triangle de céramique installé sous la coque du navire. Un système de présentation des échos obtenus permet de visualiser les mesures. Pour les modèles anciens, il s'agit de rouleaux de papier ; sur les modèles plus récents, d'un écran cathodique, et d'un affichage numérique sur les modèles grand public d'aide à la navigation.

Le graphe obtenu représente une vue en coupe du profil du fond et de la tranche d'eau. Un des intérêts est de pouvoir faire figurer les échos des cibles situées en pleine eau : bancs de poissons ...

Il en existe différentes sortes :

- **les sondeurs monofaisceaux** : ils mesurent la profondeur à la verticale du navire le long de la route suivie, selon un angle de 15° à 30°.
- **les sondeurs multifaisceaux** : ils datent des années 1970 et ont beaucoup évolué depuis. Ils permettent la cartographie de larges zones, de l'ordre de 10 000 km² en 24 heures (l'angle couvert par le sondeur peut aller jusqu'à 150°). Ils émettent et reçoivent des faisceaux ultrasonores, suivant une succession d'angles étroits qui permettent de réaliser une cartographie précise au premier passage. Par exemple le sondeur multifaisceaux de l'*Atalante* permet de déterminer des profondeurs entre 100 et 10 000 mètres grâce à 151 faisceaux espacés de un degré. Les cartes peuvent ensuite être élaborées directement à bord, grâce à l'informatique, rendant obsolète le fastidieux travail de tracé d'autrefois. Le sondeur multifaisceaux permet, en plus

des relevés topographiques du relief sous-marin, de fournir des images permettant d'identifier la nature du fond.

- **les sondeurs de sédiments** : ils permettent d'explorer les premières strates de sédiment*. Il s'agit souvent de sondeurs monofaisceaux fonctionnant à très fort niveau et à des fréquences basses (de 1 à 10 KHz) et utilisant des techniques de compression pour améliorer la pénétration des couches de sédiments.

Le sonar latéral

SONAR est l'acronyme de SOund Navigation And Ranging (navigation et détection acoustique).

Le sonar latéral est composé d'antennes très allongées installées de part et d'autre d'un "poisson" cylindrique en métal profilé, de câbles, d'une alimentation électrique et d'un équipement de visualisation et d'enregistrement à bord. Les fréquences employées sont élevées et la portée est de quelques centaines de mètres. Le récepteur de signaux sonores est similaire à celui des sondeurs. Les signaux enregistrés latéralement à la direction d'avancée du sonar, juxtaposée aux signaux successifs déjà obtenus par le sonar pendant son avancée, constituent ligne après ligne l'image acoustique.

Quand les fonds marins ne sont pas plats, une correction géométrique est nécessaire pour obtenir une image correcte, soit par des hypothèses simples, a priori, sur la topographie ; soit en complétant le relevé sonar par des mesures de bathymétrie. Les obstacles sur le fond se traduisent par des ombres portées sur le fond, de forme correspondante à l'objet immergé. Ce qui est utile pour la détection des mines et des épaves, mais aussi pour étudier le relief de fond.

Le plus souvent, il s'agit de systèmes légers, facilement transportables, destinés à une utilisation sur les petits fonds (portée de quelques centaines de mètres) mais des modèles grands fonds existent aussi.

- **Mesurer la température, la salinité et autres paramètres physiques et chimiques de l'eau de mer**

On peut classer dans cette catégorie :

Les sondes

- **Les bathysondes ou sondes** : une bathysonde est au moins équipée d'un capteur de conductivité, d'un capteur de température et d'un capteur de pression (pour déterminer la profondeur). Il s'agit alors d'une sonde « CTD ». Ce sigle vient de l'anglais (Conductivity, Temperature and Depth sensors), c'est pourquoi cet appareil est couramment appelé CTD. Lors de son utilisation, la bathysonde est fixée à l'extrémité d'un câble. A partir d'un navire à l'arrêt, elle est descendue jusqu'à une immersion choisie (généralement jusqu'à une dizaine de mètres du fond). Pendant la descente et la remontée les mesures sont enregistrées dans une mémoire interne à la sonde ou transmises à bord. Il est également possible de transmettre des ordres à la sonde ou à des appareils qui lui sont associés. Il est intéressant de prélever des échantillons d'eau de mer à différentes profondeurs pour les analyser afin de contrôler le bon fonctionnement des capteurs, d'affiner leur étalonnage et d'obtenir après analyse une mesure des paramètres physiques ou chimiques pour lesquels il n'existe pas de capteurs. Pour cela il faut ajouter à la bathysonde un système de bouteilles de prélèvement (jusqu'à 24 bouteilles). Ces bouteilles sont placées verticalement les unes à côté des autres en formant un cercle autour du moteur qui commande leur fermeture. Cette disposition fait que ce système s'appelle une « rosette ». Les bouteilles sont descendues ouvertes à leur partie supérieure et inférieure. Pendant la remontée, une commande est envoyée au moteur pour les fermer à des immersions choisies. La sonde descend et remonte à une vitesse de l'ordre d'un mètre par seconde. Le navire est immobilisé longtemps quand la sonde est à la mer. Une station à 3600 mètres dure plus de deux heures.
- **Les sondes perdables** : (les plus utilisées sont les XBT : Expendable BathyThermograph. Il existe également les XCTD) ces sondes sont lancées à partir du bord (il n'est donc pas nécessaire d'arrêter le bateau) et sont reliées à un pistolet de lancement, lui-même relié par



Une bathysonde lors de l'expédition américaine Arctic Gakkel Vents Expedition dans l'océan Arctique

Crédit : WHOI

un câble à un PC d'acquisition, par un mince fil de cuivre qui transmet la mesure enregistrée directement sur le PC. Lorsque le fil de cuivre casse au bout d'une certaine profondeur (dépendant aussi de la vitesse du navire) la sonde est perdue. Ces sondes permettent des profils de température (et de salinité pour les XCTD) de la surface à plus de 700 mètres en moyenne.

- **Les "poissons remorqués"** : la sonde est placée dans un engin remorqué derrière le navire. Il est possible de commander son immersion et de le faire évoluer entre la surface et quelques centaines de mètres.
- **Les sondes autonomes** qui ne sont plus reliées au navire par un câble. On distingue les classiques et les perdables (Provor) :

Les classiques : après sa mise à l'eau elle plonge jusqu'à atteindre l'immersion voulue. Sa récupération en surface peut poser des problèmes la nuit, par mauvaise visibilité ou par mauvais temps.

Les perdables (Provor). Cet appareil reste le plus souvent à une immersion choisie. A partir des positionnements en surface il fournit une approximation du courant à son immersion. Avant de remonter à la surface il plonge et remonte en mesurant un profil en température et conductivité.

Les célérimètres qui mesurent la vitesse du son dans l'eau.

Les analyseurs comme par exemple le fluorimètre qui mesure la concentration en phytoplancton.

Les marégraphes sont des instruments enregistreurs de la hauteur des marées qui tracent une courbe, un graphique (marégramme) permettant de connaître à tout moment cette hauteur.

Les granulomètres mesurent la quantité de particules directement dans l'eau et leur distribution en taille de 0.7 à 400 microns. Il s'agit de particules inertes organiques, minérales ou de particules vivantes (bactéries, picoplancton, phytoplancton, zooplancton, œufs et des larves de poissons et de crustacés).

Les instruments de tomographie qui transmettent des ondes horizontalement entre les mouillages pour mesurer la température sur des centaines de kilomètres. La tomographie acoustique dans l'océan permet une excellente propagation du son (c'est grâce à cela que les baleines et les dauphins

communiquent sur des distances de milliers de kilomètres). La tomographie acoustique est une technique de mesure qui utilise la transmission du son à travers de longues distances, sur de longs parcours, pour déterminer la température de l'eau de mer.

- **Réaliser des prélèvements et des carottages de sédiments**

Les bennes constituent un procédé très simple de prélèvement de sédiments en surface sur le fond marin.

Lors du largage, les mâchoires de la benne sont ouvertes. Elle descend et atteint le fond. À ce moment, les mâchoires se referment à l'aide d'un ressort, ce qui emprisonne une certaine quantité de sédiments ou de substrats meubles. La benne est alors remontée à la surface où son contenu peut être analysé.

Les carottiers

Les carottes de sédiments marins servent à reconstituer les climats du passé et, plus particulièrement, la circulation océanique profonde associée à ces climats. Ainsi, 3 mètres de carottes suffisent pour remonter 10 000 ans en arrière avec une résolution fine, de l'ordre de 50 ans (l'analyse de la carotte se fait centimètre par centimètre voire plus). Il existe plusieurs types de carottier, nous en citerons 2 :

- **Les carottiers à piston**

Le *Marion Dufresne* est équipé du carottier géant *Calypso* : il est l'un des seuls navires à collecter des carottes sédimentaires pouvant atteindre plus de 60 mètres de longueur. Il peut procéder à des carottages jusqu'à 6 000 mètres de fond.

Quand le contre-poids touche le fond, il déclenche le largage du lest en plomb d'environ 7 tonnes qui enfonce, par son seul poids, le tube dans le sédiment. L'ensemble est ensuite remonté à bord. Descendant à la vitesse de 1 mètre par seconde, le carottier met près d'une heure pour atteindre un fond de 3 000 mètres et autant pour être remonté. Dès que le tube du carottier est remonté, celui-ci est couché sur le pont. Le tube en plastique très dur et résistant contenant le sédiment est extrait du tube en acier. Cette enveloppe plastique est découpée en tronçons de 1,5 mètres. Chaque tronçon est référencé et est ensuite coupée en 2 sur la longueur. Une moitié est immédiatement emballée et mise en chambre froide pour éviter qu'elle ne sèche. C'est une carotte "archive". La seconde moitié permet aux scientifiques du bord de travailler : examen visuel à l'œil nu ou au microscope ; 1^{ère} série de mesures sur le sédiment lui-même. Ces expériences réalisées à bord ont 2 objectifs : s'assurer que le lieu de carottage répond aux objectifs scientifiques fixés ; établir un état initial du sédiment qui permettra de vérifier, à terre, que la carotte n'a pas subi d'altération. A l'issue de la mission, les carottes seront analysées en laboratoire.

- **Les carottiers à vibration ou vibrocarottier**

Le vibrocarottier utilise, comme son nom l'indique, la vibration afin de faciliter la pénétration du sol. Aidé par la gravité et parfois par un piston, il est en mesure de pénétrer les sols beaucoup plus denses.

Les dragues

La drague à roches est utilisée pour le prélèvement des affleurements rocheux tels que les basaltes des dorsales océaniques ou les socles d'origine continentale. Elle est constituée d'une ouverture équipée de "dents" permettant d'accrocher l'engin sur le fond, et d'une cotte de mailles recouverte d'une "peau" afin de conserver le matériel arraché au fond. Quatre câbles la relient à un lest disposé à environ 150 m en avant, de manière à faire travailler la drague horizontalement. Le dragage s'effectue à l'arrière du navire. L'enregistrement tensiométrique du câble du treuil permet de détecter les "croches" de la drague sur le fond, ainsi que le poids de matériel récolté. La drague est ensuite vidée sur le pont du navire. Un premier tri des roches est effectué avant leur conditionnement et leur étude plus approfondie à terre. La drague "Sanders", montée sur des skis, est utilisée plus rarement, particulièrement pour le prélèvements d'objets "durs" posés sur le fond, tels par exemple les nodules polymétalliques.

- **Etudier la dynamique des fonds marins**

Les pénétromètres

- **Le pénétromètre Penfeld**, conçu par Ifremer, est un appareil de mesures géotechniques. Posé sur le fond, il effectue des mesures à l'aide d'une pointe instrumentée dans le sédiment. Il est conçu pour travailler jusqu'à une profondeur d'eau maximale de 6 000 mètres. Il est doté d'une tige qui s'enfonce dans le sédiment sur une profondeur de 30 mètres. L'appareil est relié au navire par un câble porteur. Il mesure les propriétés mécaniques du sol, par exemple la stabilité des pentes.

Ces informations peuvent intéresser les groupes pétroliers dans le cadre de forages en grande profondeur.

Les flûtes sismiques

Pour détecter la structure profonde des sous-sols sous-marins, les océanographes, en complément des sonars et des sondeurs peuvent recourir à la sismique*. Cette technique permet d'enregistrer les ondes réfléchies par les différentes couches du sous-sol jusqu'à 30 kilomètres. Deux méthodes sont employées : la sismique réflexion et la sismique réfraction. Les équipements nécessaires à la mesure sismique sont de trois types :

- les **émetteurs** (ou sources) qui émettent une onde acoustique dont on connaît les caractéristiques (fréquences, durée, amplitude du signal) dans le milieu liquide.

- les **récepteurs** qui convertissent l'onde acoustique en tension électrique. En sismique, on utilise deux types de récepteurs : les hydrophones piézo-électriques et les géophones, ou sismomètres. En sismique réflexion, pour capter le signal acoustique, on utilisera principalement une **flûte sismique**, longue perche parsemée d'hydrophones, dont les dimensions peuvent atteindre plusieurs kilomètres, et qui est remorquée derrière le navire pour détecter des signaux sismiques. En sismique réfraction, on utilisera plutôt des stations posées sur le fond, de type OBS (Ocean Bottom Seismometer).
- les systèmes d'acquisition qui transforment l'information électrique en un enregistrement calibré, daté, ordonné, parfaitement identifié et stocké sur un support d'archivage.

- **Mesurer la circulation océanique**

Pour mesurer la circulation océanique*, peuvent être employés des flotteurs de surface ou de subsurface qui sont des engins plus ou moins autonomes censés suivre les **mouvements de l'eau à leur profondeur d'immersion**.

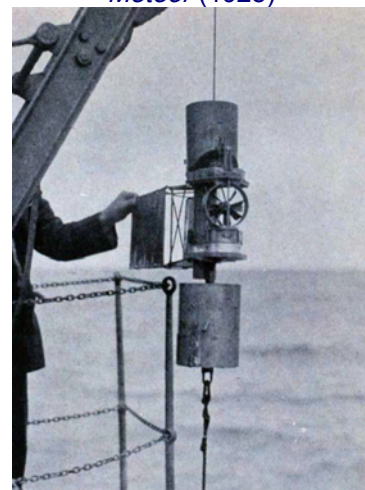
Les courantomètres mesurent la direction et la vitesse des courants océaniques. Il existe de nombreux types de courantomètres : des courantomètres équipés d'un compas et d'une hélice, des courantomètres acoustiques, des courantomètres dérivants, des courantomètres mécaniques montés sur des lignes de mouillage au point fixe...

Un courantomètre doté d'un attrape ordures pour éviter que l'hélice de l'instrument ne soit encrassée



Deployed off of FERREL. Image ID: theb2890, NOAA's Historic Coast & Geodetic Survey (C&GS) Collection / Credit: NOAA

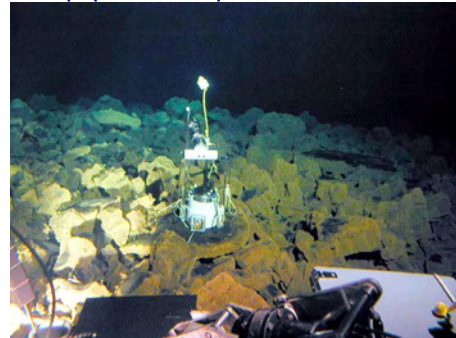
Un courantomètre employé à bord du *Meteor* (1928)



Photographie de Steve Nicklas. In: "The Meteor Expedition," by F. Spiess, German Atlantic Expedition 1925-1927. Image ID: ship3058, Voyage To Inner Space - Exploring the Seas With NOAA Collect.

Les scientifiques peuvent aussi calculer les courants à partir du calcul de la densité des masses d'eau, issue des mesures de température et salinité. Ces mesures peuvent être effectuées par des sondes connectées à un câble électroporteur, déployées à partir des navires océanographiques obligés de se mettre en station le temps de la mesure.

Courantomètre équipé d'un capteur de turbidité*



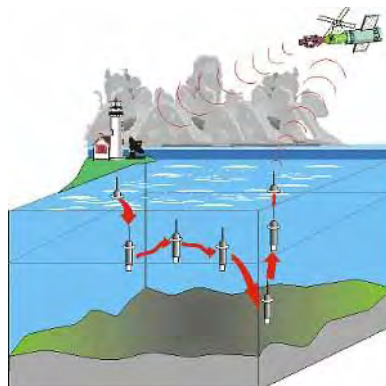
Vailulu'u Expedition 2005. Image ID: expl1540, Voyage To Inner Space - Exploring the Seas With NOAA Collect. Credit: Image courtesy of Vailulu'u 2005 Exploration, NOAA-OE

Un exemple de courantomètre :

- **Le courantomètre acoustique profileur ou ADCP**, peut mesurer et enregistrer les courants jusqu'à 1 distance de 600 mètres de l'instrument. Il utilise l'effet Doppler. Les ondes sonores sont réfléchies par des objets flottants entre deux eaux. Ils peuvent être fixés sous la coque d'un navire en mouvement ou installé sur une sonde CTD. Des objets suspendus dans la colonne d'eau réfléchissent les impulsions sonores émises par les ADCP. Lorsque le signal réfléchi revient, l'ADCP se transforme d'émetteur en récepteur. Suivant le temps de trajet entre l'émission et la réception, une information concernant la direction du courant et sa vitesse peut être obtenue à différents niveaux de la colonne d'eau. En employant les vitesses observées des différentes couches, des profils verticaux peuvent être mesurés. Ils auraient autrement exigé un nombre considérable de courantomètres classiques.

Le flotteur Provor est un instrument autonome de subsurface qui mesure la température et la salinité au coeur des océans. Le flotteur est programmé à l'avance et déployé à partir d'un navire. Il enchaîne alors des cycles de dix jours, pendant plusieurs années, jusqu'à épuisement de son énergie. Chaque cycle se décompose en deux temps : une descente vers l'immersion de consigne à 1 000 mètres, puis une dérive au gré des courants jusqu'à l'immersion de début de profil à 2 000 mètres.

Cycle de mesure du flotteur Provor (Crédit image : Ifremer)



Il entame ensuite sa remontée vers la surface en réalisant ses mesures. Une fois émergé, il transmet ses données aux satellites défilants *Argos*, qui les transmettent aux stations au sol afin qu'elles soient traitées puis repart pour un nouveau cycle.

Fin 2007, le réseau Argo d'observation global de l'océan a franchi le cap des 3 000 flotteurs répartis dans tous les océans du monde. Pour la première fois dans l'histoire de l'océanographie, un réseau global d'observation des océans *in situ* est mis en place. C'est le complément indispensable des mesures satellitaires permettant de suivre, comprendre et prévoir le rôle de l'océan sur le climat de la planète. En mesurant la température et la salinité, en continu de la surface à 2 000 mètres de profondeur, Argo a ouvert de nouvelles perspectives pour les prévisions saisonnières, l'étude des ouragans ou encore le suivi de la hausse du niveau de la mer liée au réchauffement global. Les données Argo sont essentielles au suivi et à la prévision de l'océan et des mers européennes, et aux actions qui se mettent en place dans le cadre du Programme européen GMES (Global Monitoring for Environment and Security / Surveillance mondiale pour la gestion de l'environnement et la sécurité des personnes et des biens) et de sa composante française Mercator Océan.

Pérenniser le dispositif constitue le prochain défi d'Argo afin d'établir un véritable système de surveillance à long terme de l'océan.

Pour en savoir plus sur le programme GMES : <http://www.cnes.fr/web/874-gmes.php>

Les mouillages sont des câbles mesurant jusqu'à 5 km de long, d'une épaisseur inférieure à 6 mm, fixés au fond grâce à un gros lest. Ces câbles sont maintenus verticalement dans l'eau par des flotteurs. Ils sont équipés d'instruments qui peuvent fonctionner en autonomie pendant 1 à 2 ans. Parmi les instruments mis en place sur les mouillages, on peut citer :

- les **microcats** qui mesurent la température et la salinité. Ils permettent d'identifier les différents types d'eau qui se sont formées dans différentes régions géographiques. Ces 2 paramètres ont un impact important sur la circulation des courants océaniques. De leur valeur à différentes positions, il est possible de calculer les courants océaniques ;
- le **courantomètre** afin d'observer le courant autour du mouillage à des profondeurs précises
- les **instruments de Tomographie** qui transmettent des ondes horizontalement entre les mouillages pour mesurer la température sur des centaines de kilomètres ;
- l'**échosondeur-inversé (PIES)** couplé avec des capteurs de pression fixés au fond de l'océan, afin de mesurer la hauteur de la surface de la mer et le poids de l'eau ;
- le **largueur acoustique** pour larguer le lest du mouillage via une commande acoustique afin de récupérer celle-ci après 1 à 2 ans.

Habituellement, les données sont stockées par chaque instrument sur des mémoires et disques internes, et elles sont récupérées une fois le mouillage remonté. Mais depuis peu, une partie des données est transmise une fois par jour par satellite.

Pour en savoir plus : <http://www.ifremer.fr/move/instrume.htm>

Les bouées dérivantes sont équipées d'un système de positionnement par satellite. On déduit de leurs mouvements la vitesse et la direction du courant ; elles peuvent aussi mesurer d'autres paramètres (température de l'eau et de l'air, pression atmosphérique...).

Les gliders sont des mini sous-marins téléguidés qui remontent en surface et communiquent avec un opérateur par satellite afin d'envoyer en temps réel les données acquises. À l'origine, ces engins ont été conçus pour enregistrer des paramètres typiquement physiques et chimiques comme la température et la salinité de l'eau. Équipé de capteurs optiques qui enregistrent la fluorescence de la chlorophylle du phytoplancton ou des matières dissoutes, la concentration des particules en suspension dans l'eau ou encore la concentration en oxygène. Ces mesures permettent notamment d'identifier les zones privilégiées de l'océan où la photosynthèse par le phytoplancton est accrue et qui contribuent ainsi d'une certaine manière à la séquestration de dioxyde de carbone. Il peut également être utilisé pour étudier la circulation océanique.

Pour en savoir plus : <http://www2.cnrs.fr/presse/communique/1310.htm>

<http://www2.cnrs.fr/presse/journal/3515.htm>

- **Filmer et photographier les fonds sous-marins**

Les sous-marins habités comme le *Nautilus* ou le robot sous-marin (ROV) *Victor 6000* sont dotés d'équipements de prise de vue par caméras vidéo et photo.

Cependant, les images vidéo sous-marines sont prises en deux dimensions. Or, l'être humain voit et comprend en trois dimensions. Les images en 2D ramenées du fond perdent donc de précieuses informations, comme le relief ou la taille et la distance entre les objets. D'où l'idée de développer un système de stéréovidéographie qui simule la vision de nos yeux.

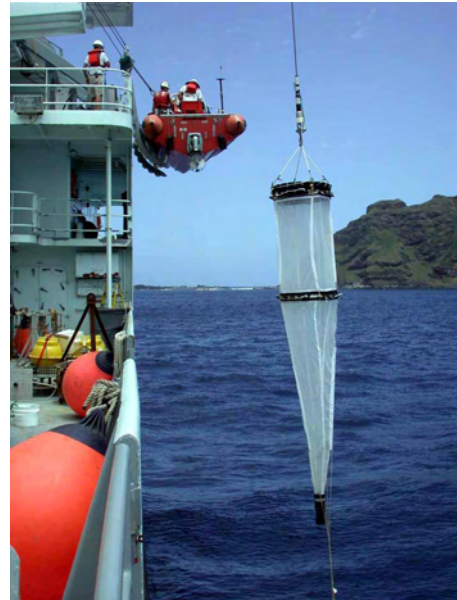
Dans le cadre de la campagne Momareto qui s'est déroulée en août 2006, deux caméras, espacées de quelques centimètres, ont été fixées sur *Victor 6000* : elles convergent vers le même point et prennent des images simultanées. Un traitement mathématique complexe permet de fusionner ces images et de reconstruire des cartes en 3 dimensions.

- **Prélever et manipuler des organismes vivants**

En océanographie biologique, divers instruments de prélèvement des organismes sont utilisés suivant la taille des animaux : dragues, filets à mailles plus ou moins serrées, pinces au bout des bras manipulateurs des sous-marins ou engins téléguidés. Les caractéristiques de leur milieu de vie (pression, température...) doivent être prises en compte si l'on veut remonter les animaux vivants.

Collecte de plancton →

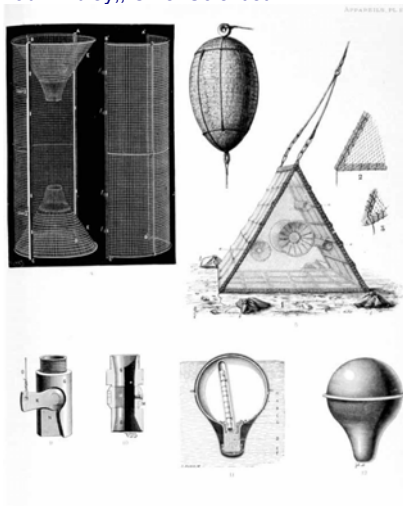
Credit: Pacific Ring of Fire 2004 Expedition. NOAA Office of Ocean Exploration; Dr. Bob Embley,, Chief Scientist



← Différents équipements utilisés à bord de L'*Hirondelle* (début du 20^e siècle).

De gauche à droite : nasse cylindrique en métal, bouée en liège pour les nasses, nasse triédrique en bois et filet. Les nasses étaient immergées afin de capturer des organismes vivant dans les grandes profondeurs.

Credit: NOAA Rice Library of the NOAA Centers for Coastal Ocean Science



Les filets à plancton sont faits d'un cône de tissu de nylon dont les dimensions et la maille sont définies en fonction du type de plancton à récolter. L'extrémité de ce cône est équipée d'un collecteur qui recueille les particules et les organismes vivants. L'ouverture du filet varie de quelques décimètres à environ deux mètres, tandis que la longueur est comprise entre 1 et 10 mètres. Après la pêche, la collecte doit être transférée rapidement dans un bocal puis acheminée au laboratoire. Le filet peut être associé ou non à des capteurs physico-chimiques (enregistrant la pression, vitesse, température...). Tracté par un bateau, le filet permet de collecter les organismes dans une couche d'eau selon un trait horizontal. Largué en un point et remonté verticalement, il fournit des données sur la répartition verticale des espèces dans la colonne d'eau.

Periscop : une enceinte de récolte sous pression.

Conçue par Bruce Shillito, Enseignant-Chercheur, spécialisé en océanographie biologique, (Université Pierre et Marie Curie, Équipe "Adaptations aux Milieux Extrêmes" (AMEX)) et Gérard Hamel, ingénieur de recherche en physique spécialisé dans les hautes pressions (Université Pierre et Marie Curie, Institut de Minéralogie et de Physique des Milieux Condensés), *Periscop* signifie "Projet d'Enceinte de Récupération Isobare Servant à la Collecte d'Organismes Profonds". Ce prototype a été

développé en 2006 et permet de conserver la pression durant la remontée de la faune. En effet, la faune qui vit dans les écosystèmes océaniques profonds est soumise à une pression hydrostatique qui équivaut à 1 bar tous les 10 mètres (1 bar = 1 kg/cm²). Quand ils remontent de 2 000 mètres de profondeur, les organismes subissent une décompression de plus de 200 bars, qui leur est souvent fatale. L'effet de cette décompression nuit à notre compréhension de leur comportement et de leur physiologie dans leur milieu naturel. C'est pourquoi plusieurs équipes développent des aquariums qui permettent la recompression des organismes une fois à la surface.

Les organismes sont prélevés dans un petit cylindre de 10 centimètres de diamètre, connecté à l'embout de l'aspirateur à faune du robot sous-marin *Victor 6000*. Ce cylindre a été tendrement surnommé "Periscopette" ! Periscopette est alors insérée dans *Periscop*, une enceinte en inox conçue pour conserver la pression intérieure jusqu'à 300 bars. *Victor 6000* ferme alors cette enceinte avec une vanne à boisseau sphérique. L'ascenseur transporte alors *Periscop* vers la surface.

Le respiromètre est une structure autonome qui permet de mesurer le métabolisme respiratoire des petits organismes (quelques millimètres) vivant sur/ou dans le sédiment jusqu'à une profondeur de 6000 m.

La chambre benthique est déployée sur le fond. Le principe consiste à isoler un certain volume d'eau et de sédiment et de suivre l'évolution des paramètres chimiques (exemple : oxygène, dioxyde de carbone, sels nutritifs) que l'on veut mesurer en fonction du temps. Par déduction, l'abondance de la faune peut en être évaluée.

Les biocapteurs sont conçus pour détecter spécifiquement une espèce marine (micro-organismes) ou une molécule cible (toxines, polluants...). Des programmes de recherche sont en cours afin de mettre au point des biocapteurs capables de détecter par exemple de l'algue toxique *Alexandrium minutum* dont les toxines peuvent être mortelles pour l'homme et qui rendent les coquillages impropres à la consommation.

Les engins aériens ont aussi été utilisés relativement tôt pour observer la surface de l'océan : ballons et dirigeables, puis avions et hélicoptères et enfin les satellites d'observation depuis l'espace. Grâce à leurs capteurs embarqués, ils permettent d'observer la totalité de l'océan de façon presque instantanée mais ne concernent que la surface (température des eaux de surface, hauteur et direction des vagues, niveau de la mer...).

En savoir plus sur l'observation de l'océan depuis l'espace :

Cf. III. E. Océanographie spatiale

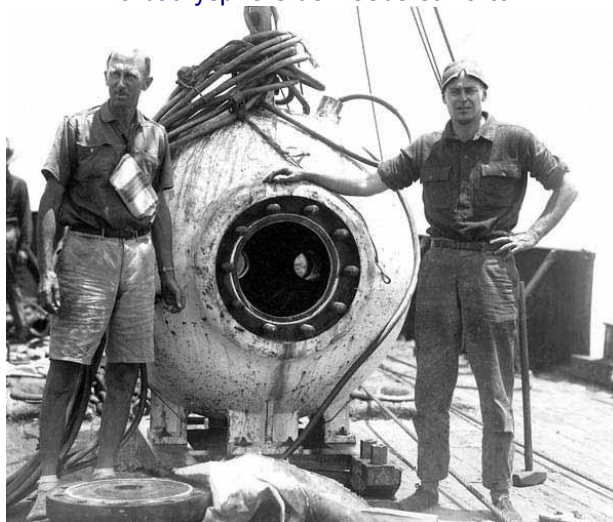
3. Les engins habités

Dans un premier temps, les hommes vont concevoir des sous-marins habités afin de tenter de descendre le plus profond possible ; une véritable course aux records sera lancée ! Ce n'est que par la suite que ces sous-marins habités serviront aux explorations scientifiques et aux prélèvements spécifiques dans les grands fonds...

- **Bathysphère**

À la fin des années 1920, William Beebe et Otis Barton, deux scientifiques et explorateurs américains, conçoivent la bathysphère. C'est une sphère d'acier suspendue au bout d'un câble, munie de hublots et de projecteurs. Ils atteignent en 1934 la profondeur de 908 mètres.

La bathysphère de Beebe et Barton



Crédit : National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

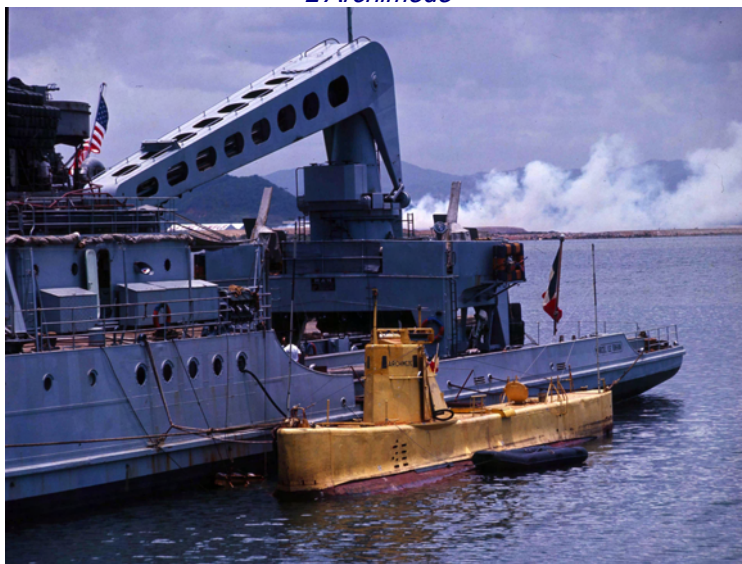
- **Bathyscaphes**

Auguste Piccard (1884-1962), inventeur suisse, imagine dans les années 1940 le bathyscaphe, sorte de dirigeable sous-marin doté d'une sphère d'acier où trois passagers peuvent rester à l'abri de la pression.

En 1948, au large de Dakar, le bathyscaphe *FNRS II* effectue une plongée sans passagers à la profondeur de 1 380 mètres. En 1954, le *FNRS III* (Marine nationale française) atteint 4 050 mètres de profondeur.

Le *Trieste*, coréalisé par Auguste et Jacques Piccard, fils de l'inventeur, est d'abord italien ; l'engin est ensuite racheté par la Marine américaine, et atteint en 1960 le record de plongée de 10 916 mètres dans la fosse des Mariannes (Pacifique). *Archimède*, bathyscaphe commandé au commandant Houot et à l'ingénieur Wilm par la Marine nationale française, atteint 9 545 mètres en 1962 dans la fosse des Kouriles (Japon).

L'Archimède



Crédit : Comex

- **Sous-marins habités (en anglais les HOV : Human Occupied Vehicle)**

Les progrès technologiques amènent à concevoir des submersibles habités plus maniables, plus mobiles et facilement transportables par les navires océanographiques. On ne vise donc plus les records de profondeur mais la polyvalence et la mobilité jusqu'à moins 3 000 mètres. Désormais les sous-marins ne sont donc plus de simples ascenseurs vers les abysses : ils se font moyens d'exploration, de récolte, de mesure, et très vite, d'expérimentation.

En 1958, les ingénieurs de l'OFRS (Office français de Recherche Sous-marines), à la demande de Jacques-Yves Cousteau, mettent au point la SP 350 pour "Soucoupe Plongeante à 350 mètres" (surnommée "Denise" – le prénom de la femme d'un des ingénieurs Jean Mollard). L'engin est prévu pour 2 personnes. Elle sera suivie en 1967 des SP 500, deux submersibles d'exploration les "puces de mer" d'1 mètre sur 2 et de 2 tonnes.

En 1964, est mis en service le sous-marin américain *Alvin* qui peut plonger à 4 500 mètres avec 3 personnes à son bord. *Alvin* devrait être prochainement remplacé par un sous-marin capable de descendre à 6 500 mètres.

Après près de 200 plongées, le bathyscaphe français *Archimède* termine sa carrière en 1974 avec la mission scientifique franco-américaine FAMOUS alors que la soucoupe plongeante *Cyana* (ex-*SP 3000*) débute la sienne. *Cyana* descend à 3 000 mètres de profondeur avec une équipe de 3 personnes. Elle a été désarmée en 2003.



Dans les années 1980, une nouvelle génération de sous-marins permet de plonger jusqu'à 6 000 mètres : le *Nautille* (France), le *Sea Cliff* (Etats-Unis), *Mir 1* et *Mir 2* (URSS), le *Shinkai* (Japon). On dénombre actuellement moins d'une vingtaine de sous-marins habités dans le monde.

← *Le Nautille* (Crédit photo : Ifremer)

Retrouvez tous les engins habités sous-marins de la flotte océanographique européenne en consultant la base de données EurOcean : <http://euroceanuv.addition.pt/index.jsp>

4. Les engins non habités : les robots sous-marins

L'homme a conçu le robot sous-marin pour effectuer des travaux routiniers ou pour accéder à des zones dangereuses. Ces robots, capables d'intervenir jusqu'à 11 000 mètres sont utilisés par des organismes scientifiques ou par des industries offshore dans le cadre de missions tels que l'étude des fonds marins, l'exploration d'épaves ou les travaux sous-marins.... Il existe 3 types de robots : les engins remorqués, les robots reliés par câble au bateau (ROV) et les engins autonomes (AUV). En France, on peut citer *Scampi* (robot remorqué), *Victor 6000* (ROV) ou *AsterX* (AUV).

- **Les engins sous-marins remorqués**

Le *Scampi* (Système de CAméras Ponctuel Interactif) est un poisson remorqué destiné à la prise de vues photo et vidéo des fonds marins, il est conçu pour opérer jusqu'à 6 000 m de profondeur. Son autonomie est supérieure à 10 heures. La liaison du *Scampi* au navire support est réalisée par un câble coaxial armé qui transmet en temps réel l'image vidéo du fond, les commandes de l'opérateur et certaines données, dont l'altitude de l'engin au-dessus du fond.

- **Les robots sous-marins téléopérés ou téléguidés (ROV)**



Crédit : Ifremer

Les ROV (Remotely Operated Vehicle) sont des robots submersibles téléguidés par le pilote d'un sous-marin ou depuis la salle de contrôle d'un navire. Ils sont reliés au navire par un câble, nommé ombilical, même s'ils possèdent leurs propres moyens de propulsion. L'Ifremer (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer) utilise ainsi le *Victor 6 000*. Doté de caméras et projecteurs, il peut intervenir jusqu'à 6 000 mètres de profondeur, permettant, entre autres, de réaliser des prélèvements et opérations grâce à ses deux bras manipulateurs.

- **Les robots sous-marins autonomes (AUV)**

Les AUV (Autonomous Underwater Vehicle) sont des robots submersibles autonomes qui ne sont pas reliés par câble au bateau. La dernière génération de ces engins possède une intelligence artificielle.

L'AUV *Puma* en plongée dans l'océan Arctique lors de la mission américaine Arctic Gakkel Vents Expedition, menée par la WHOI (été 2007)



Crédit : WHOI

L'engin, connaissant sa position et naviguant vers un objectif, est préprogrammé et donc complètement autonome pendant la mission. Les opérateurs n'interviennent pas. Mais en réalité la plupart ne sont pas complètement autonomes et sont plutôt des UVV (untethered underwater vehicle ; untethered : non attaché). Un UVV fonctionne comme l'AUV mais n'est pas capable de réfléchir seul, il existe un lien acoustique entre la surface et l'engin qui permet l'échange et la vérification de données. En cas d'urgence, l'opérateur en surface peut diriger l'AUV. En résumé, on peut :

- les utiliser de manière complètement autonome
- en exerçant un contrôle depuis la surface
- en les guidant entièrement.

Puma est un AUV utilisé par la WHOI (Woods Hole Oceanographic Institution, Etats Unis).

Retrouvez tous les robots sous-marins de la flotte océanographique européenne en consultant la base de données EurOcean :

<http://euroceanuv.addition.pt/index.jsp>

III. QUELQUES PRINCIPES D'OcéANOGRAPHIE

Les domaines d'études qui composent l'océanographie sont multiples et variés, et ont chacun leur spécificité. Des spécialistes dans chaque discipline sont nécessaires pour faire progresser les connaissances, même si les différentes branches de l'océanographie sont souvent amenées à travailler ensemble pour comprendre des organisations complexes. Par exemple, en ce qui concerne les sources hydrothermales, des approches géologique, chimique et biologique peuvent être nécessaires.

Après une définition de chaque discipline, nous en donnerons quelques principes de base.

Nous présenterons ainsi l'océanographie biologique, l'océanographie chimique et physique, les géosciences marines, l'océanographie appliquée, l'océanographie spatiale, l'océanographie opérationnelle.

A. Océanographie biologique

L'océanographie biologique ou océanographie du vivant relève de la biogéographie (étude de la répartition géographique des communautés d'êtres vivants) et de l'écologie (étude des relations des êtres vivants avec leur environnement). Elle étudie les espèces animales et végétales qui vivent dans la mer, la production de la biomasse et les chaînes alimentaires.*

Différence entre l'océanographie biologique et la biologie marine :

*La **biologie marine** étudie le fonctionnement des organismes marins : leur physiologie, leur mode de reproduction, leurs gènes etc. Elle considère le niveau d'organisation de l'individu. **L'océanographie biologique** étudie les relations entre les communautés d'organismes et les facteurs physiques et chimiques du milieu environnant. Elle prend en compte des niveaux d'organisation supra-individuels ; c'est-à-dire non pas les comportements de chaque individu mais l'organisation des milieux et organismes qui y vivent. Ces groupes d'êtres vivants et leur milieux de vie sont nommés populations, communautés, écosystèmes*, ou encore biosphères... On parle alors d'une approche biogéochimique qui permet d'accéder à des modélisations* couplées entre phénomènes physiques, chimiques et biologiques. La physique et la chimie de l'eau de mer sont donc aussi importantes dans cette discipline.*

Seiche



La Cité de la Mer / Sylvain Guichard

1. La chaîne alimentaire océanique simplifiée

Des milliers d'espèces marines cohabitent dans les océans en vivant de phytoplancton marin (micro-organismes végétaux) et/ou en se nourrissant les uns des autres.

- **Maillon 1** : à la base, la végétation réalise la fonction chlorophyllienne et produit de la matière vivante. Ce premier maillon est le **phytoplancton** constitué de producteurs primaires présents dans la couche superficielle éclairée de l'océan. C'est ce que les scientifiques appellent la production primaire.

↓ Le phytoplancton est mangé par le zooplancton ↓

- **Maillon 2** : Animaux phytophages (qui se nourrissent de matière végétale) appelés **zooplancton** (animaux microscopiques, larves, crustacés)

↓ Le zooplancton est mangé par le necton ↓

- **Maillon 3** : Le **necton** (maillon 3) se nourrit de l'ensemble du plancton (phytoplancton-maillon 1 et zooplancton-maillon 2). Il est composé de petits carnivores.

↓ Le necton est mangé par les grands carnivores ↓

- **Maillon 4** : Les **grands carnivores** qui se nourrissent des autres carnivores plus petits. C'est sur ce 4^e maillon que les hommes exercent leur prédation.

Les détritits ou cadavres des animaux marins sont soumis à l'action bactérienne qui les transforme à nouveau en gaz carbonique et en sels minéraux nutritifs. Le cycle recommence alors...

2. La fonction chlorophyllienne

Les organismes végétaux se reproduisent à partir d'une souche et se développent par photosynthèse* des matières minérales contenues dans l'eau. La nourriture animale ne peut pas entretenir la vie à elle seule, sans nourriture végétale les espèces animales disparaîtraient rapidement. Les végétaux marins et le phytoplancton (micro-organismes végétaux) constituent le principal fourrage des animaux marins. Le gaz carbonique et les sels minéraux nutritifs contenus dans la mer (provenant du fond de la mer, de la croûte terrestre et des détritits d'animaux marins tombés au fond) produisent par photosynthèse* des végétaux. La photosynthèse est la synthèse de la matière organique réalisée par les plantes à partir de composés inorganiques (dioxyde de carbone et eau). Cette synthèse se fait en utilisant la lumière solaire : l'énergie solaire est ainsi transformée en énergie de liaison dans la molécule organique.

La chlorophylle* est un composé chimique existant dans les plantes et permettant la conversion de l'énergie solaire en énergie chimique lors de la photosynthèse.

Au cours de la photosynthèse, l'assimilation de l'énergie lumineuse, puis son transfert qui aboutit à la réduction de la molécule de dioxyde de carbone (CO₂) en sucre met en œuvre des processus compliqués dans lesquels la chlorophylle* (molécule présente dans les plantes) joue un rôle capital. Cette énergie ainsi stockée sous forme de liaison chimique sera restituée lors de la destruction de

cette molécule, que ce soit lors de la respiration (de la plante ou l'animal), ou lors de la décomposition de la matière organique, à la mort de la plante ou de l'animal, par les bactéries.

Communautés chimiosynthétiques et photosynthétiques,
à l'est du volcan Diamante (arc des Mariannes, Pacifique),
à 190 mètres de profondeur
(algues rouges et vertes, bactéries, petits coraux blancs)



Les communautés chimiosynthétiques sont constituées de bactéries qui réalisent la synthèse de substances organiques, en utilisant l'énergie de diverses réactions exothermiques (liées à une production de chaleur). Les communautés photosynthétiques sont composées de plantes (ici, des algues) qui produisent des glucides à partir du gaz carbonique de l'air qu'elles peuvent fixer grâce à la chlorophylle, en employant comme source d'énergie la lumière solaire.

Credit: Pacific Ring of Fire 2004 Expedition. NOAA Office of Ocean Exploration; Dr. Bob Embley, NOAA PMEL, Chief Scientist

Dans les profondeurs, le cumul des contraintes telles que l'absence progressive de lumière solaire, la baisse de la température, l'augmentation de la pression, diminue la biomasse*. Celle-ci est donc répartie de manière hétérogène dans les océans. Au fond des océans, le plancton est uniquement animal, on trouve aussi des petits organismes (bactéries, vers, mollusques, crustacés) et des grands poissons. La chaîne alimentaire n'est plus la même puisqu'il n'y a plus de lumière et donc plus de photosynthèse.

3. Les différentes zones de l'océan et leurs écosystèmes propres

On distingue le domaine pélagique où vit le pelagos (c'est-à-dire les végétaux et animaux vivant en pleine eau) et le domaine benthique où vit le benthos (végétaux et animaux vivant près du fond, sur le fond ou dans le sédiment). La province néritique désigne les eaux qui baignent le plateau continental et la province océanique, les eaux au-delà des eaux continentales.

- **les communautés littorales et de surface**

C'est souvent là que la vie est la plus importante et la plus riche. Ces êtres vivants entretiennent aussi des relations de prédation avec la biosphère* atmosphérique (oiseaux, insectes) et la biosphère continentale (prédateurs terrestres, otaries, phoques...).

- **les eaux intermédiaires**

Ce sont les eaux qui ne sont ni en surface, ni au fond. On y voit des peuplements d'animaux répartis suivants plusieurs zones comme des étages, que les scientifiques nomment faciès. Les scientifiques ne s'accordent pas tous sur la répartition de ces faciès. Il y existe des migrations verticales d'animaux.

- **la vie abyssale**

On a longtemps cru que la vie dans les abysses était impossible à cause de l'obscurité, de la forte pression et de la température décroissante de l'eau. Le métabolisme des êtres vivants en grande profondeur est adapté à ces conditions extrêmes.

Nous retiendrons l'étagement des espèces proposé par Patrick Geistdoerfer¹, directeur de recherche au CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique).

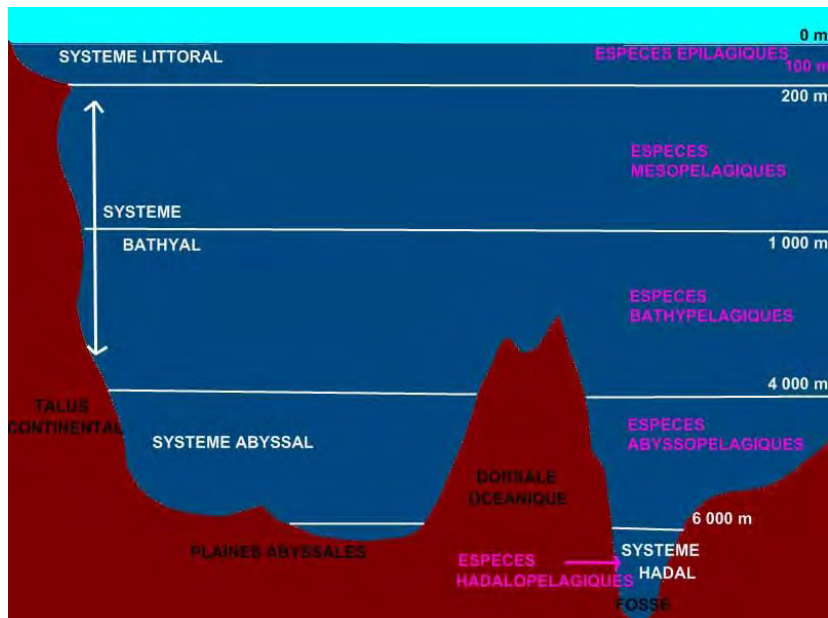
Il précise ainsi les grandes divisions biologiques du domaine marin, relatives aux profondeurs où les animaux vivent :

- **Le système littoral**, au niveau du plateau continental (de 0 à 200 mètres).
- **Le système bathyal**, au niveau du talus continental, de 200 mètres jusqu'à 3 000 – 4 000 mètres, comprenant une partie des dorsales océaniques.
- **Le système abyssal** : les plaines abyssales de 3 000 à 7 000 mètres.
- **Le système hadal** : au-delà des plaines abyssales (jusqu'à 11 000 mètres de profondeur dans les fosses océaniques).

Le pelagos est lui aussi divisé en espèces vivant à différentes profondeurs :

- **Les espèces épipelagiques** : jusqu'à 100 mètres
- **Les espèces mésopélagiques** : entre 100 et 1 000 mètres
- **Les espèces bathypélagiques** : entre 1 000 et 4 000 mètres
- **Les espèces abyssopélagiques** : entre 4 000 et 6 000 mètres
- **Les espèces hadopélagiques** : au-delà de 6 000 mètres

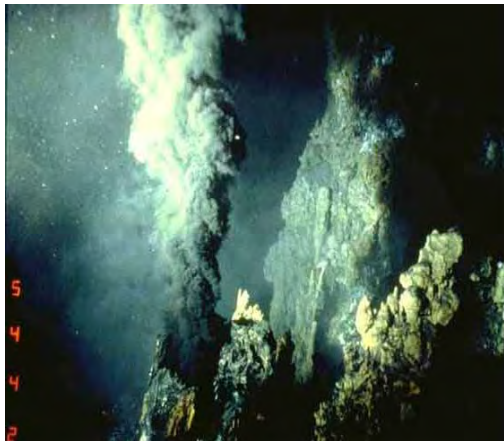
¹ In : Océanographie générale / Patrick Geistdoerfer. - Rennes : Infomer, 2002. - (Bibliothèque de l'Institut français d'aide à la formation professionnelle maritime).



Les divisions biologiques des océans selon Patrick Geistdoerfer

Un cas particulier : la vie près des sources hydrothermales :

Auprès des oasis sous-marines (ou sources hydrothermales, fumeurs noirs), découvertes en 1977, se développe un écosystème unique très riche.



Crédit : Ifremer



Crédit : The Stephen Low Company

Des vers, anémones, crabes, crevettes, moules vivent autour de ces sources chaudes (à des températures de 150 à 300 C°). L'eau de mer s'infiltre dans les fissures des rifts* où elle est réchauffée avant de rejaillir dans des cheminées. On y trouve des **organismes extrémophiles***. Leurs conditions de vie normales sont mortelles pour la plupart des autres organismes : températures proches ou supérieures à 100°C (hyperthermophiles) ou inférieures à 0°C (psychrophiles), pressions exceptionnelles (grands fonds marins), milieux très chargés en sel (halophiles), milieux acides ou alcalins, milieux radioactifs et pauvres en oxygène... Les thermophiles se nourrissent de produits chimiques issus des sources hydrothermales ; ils sont ensuite mangés par les crevettes et vers géants qui vivent à proximité et se dévorent aussi entre eux... La lumière du soleil n'intervient pas.

Beaucoup d'extrémophiles appartiennent au groupe des Archaea* ou des bactéries, mais il existe

aussi ce qu'on appelle des extrémophiles eucaryotes unicellulaires et métazoaires qui peuvent être des insectes, crustacés, poissons...

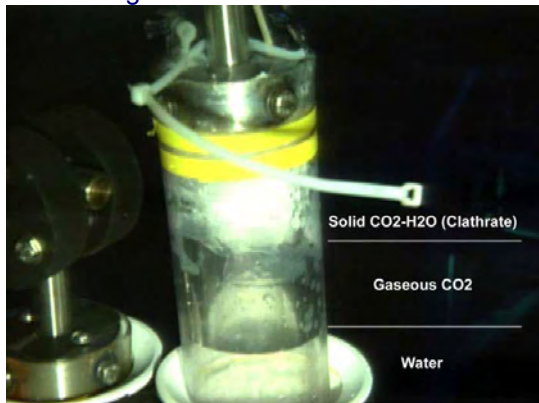
Exemple d'étude en océanographie biologique :

Océanographie biologique : une des composantes de la campagne Serpentine (III. D.)

B. Océanographie chimique et physique

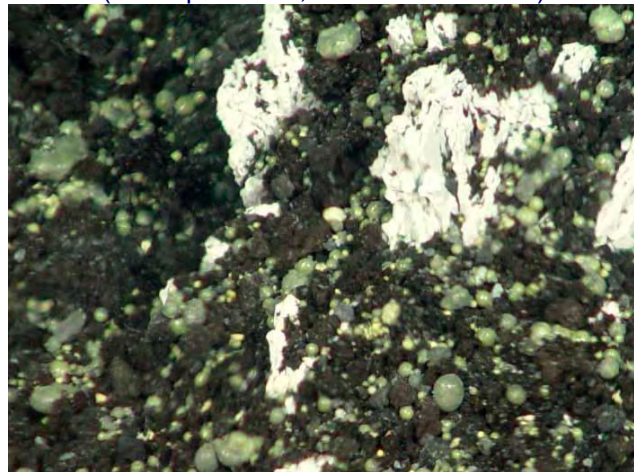
La chimie marine s'intéresse à la composition de l'eau : salinité, sels nutritifs, éléments polluants... La biogéochimie (discipline qui fait intervenir l'océanographie biologique, chimique et la géophysique) étudie les cycles de la matière vivante : carbone, azote, phosphore... La physique marine étudie les caractéristiques physico-chimiques qui permettent de reconnaître une masse d'eau (température, salinité, pression, densité) et la dynamique des fluides : leurs mouvements suivant les vents, la force de Coriolis*...

Expérience pour observer le changement d'état des bulles collectées sur le site de "Champagne vent" (Pacifique Ouest, Arc des Mariannes), pendant l'expédition américaine Pacific Ring of Fire



L'hydrate de dioxyde de carbone solide et l'eau prélevés sur le fond à 300 mètres de profondeur sont convertis en dioxyde de carbone gazeux et en eau liquide, à cause de la diminution de la pression due à la remontée du sous-marin.

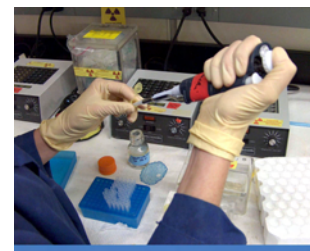
Bulles de sulfure éparpillées sur le fond marin près de la fosse de Brimstone (Pacifique Ouest, Arc des Mariannes)



← ↑Credit: Pacific Ring of Fire 2004 Expedition. NOAA Office of Ocean Exploration; Dr. Bob Embley, NOAA PMEL, Chief Scientist

1. Propriétés chimiques de l'eau de mer

Définie initialement comme la quantité de sels dissous dans un volume d'eau de mer, la salinité est un paramètre aussi important en océanographie physique (il marque les masses d'eau) que biologique (espèces sténohalines* et euryhalines*) et chimique (le comportement des espèces chimiques varie avec la salinité, le degré d'oxydation, précipitation...etc). La valeur moyenne de salinité admise pour les océans est 3,5 % en poids.



Depuis les années 1970, la découverte des sources hydrothermales profondes a permis de mieux comprendre la présence d'éléments volatils comme les halogènes, l'azote et le soufre dans les océans. En effet les conditions particulières de température et de pression favorisent la dissolution de certains éléments.

2. Un peu de théorie sur la physique de l'océan

- **La circulation océanique***

Différents facteurs engendrent un déplacement perpétuel de l'eau des océans : la rotation de la Terre, le vent, la chaleur du soleil, l'attraction de la Lune. Leur influence combinée crée divers mouvements influencés par la stratification* du fluide et l'existence de frontières méridiennes*: les vagues et les marées, les tourbillons, les courants de surface, les courants profonds.

Pour étudier la circulation océanique, les océanographes utilisent différentes méthodes. Des éléments chimiques peuvent servir de traceurs de la circulation profonde et comme marqueurs des masses d'eau : la température, la salinité, la teneur en oxygène. Le Carbone 14* est un traceur radioactif qui permet d'étudier la circulation profonde. Sa désintégration radioactive peut servir pour chronométrer la circulation océanique, il a aussi permis la datation des eaux profondes. D'autres traceurs peuvent être utiles tels que les produits de l'activité humaine qui se répandent dans l'environnement : le tritium et les chlorofluorocarbures (ou fréons).

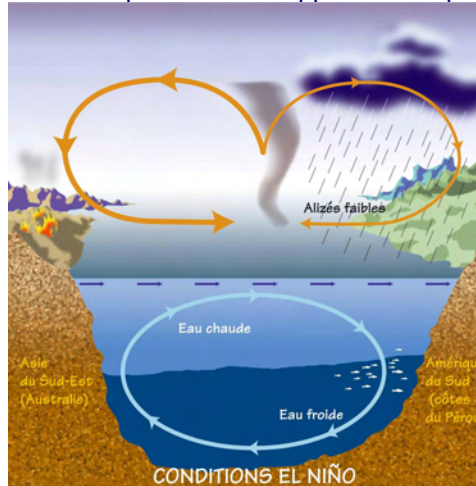
- **La température des océans**

C'est le résultat de facteurs antagonistes que sont l'échauffement et la refroidissement des eaux en fonction des radiations solaires, de la convection* à partir de l'atmosphère, de la condensation de la vapeur d'eau.

Ces éléments amènent à un état d'équilibre mais le rayonnement solaire n'est pas le même en tous points du globe et à tout moment de l'année. Si on établit un bilan radiatif (des rayonnements) arrivant et quittant le globe terrestre, on s'aperçoit que c'est grâce à l'océan que l'équilibre est atteint. De plus la circulation des eaux océaniques, en surface, est souvent liée aux phénomènes météorologiques (vents, différences de pression.). Les mouvements en profondeur sont liés à la densité des eaux, celle-ci résultant des échanges entre l'océan et l'atmosphère. L'océan et l'atmosphère forment donc un système couplé. L'étude de ce couplage est parfois appelé l'océano-météorologie.

Par exemple, el Niño désigne à la fois un courant saisonnier au large de l'Equateur et du Pérou et un phénomène climatique caractérisé par une élévation anormale de la température de l'océan dans la partie est de l'océan Pacifique sud. Il a été relié à un cycle de variation de la pression atmosphérique globale entre l'est et l'ouest du Pacifique que l'on nomme l'oscillation australe et l'on unit souvent les deux sous le titre de ENSO (El Niño-Southern Oscillation).

Conditions atmosphériques et océaniques de développement du phénomène climatique El Niño*



- **La densité des eaux de mer**

C'est, en physique pure, le rapport de la masse d'un volume d'une substance à la masse du même volume d'eau distillée à 4°C et à pression atmosphérique* normale (1013 hectoPascals*).

Les eaux de mer se répartissent verticalement en fonction de leurs densités respectives, des moins denses en surface vers les plus denses au fond.

La densité des eaux de mer dépend de leur température et de leur salinité. Plus une eau est froide et salée plus elle est dense. Or ces deux facteurs dépendent des échanges entre l'océan et l'atmosphère en surface. Quand il fait chaud, la température de l'eau augmente, elle devient donc moins dense, mais il se produit aussi une intense évaporation, donc elle devient plus salée et plus dense. C'est un équilibre entre deux actions contradictoires qui va déterminer la densité de l'eau et donc les mouvements verticaux qui lui permettent de se placer à la profondeur qui lui correspond.

- **Les propriétés optiques de l'eau de mer**

La lumière est un rayonnement électromagnétique qui peut traverser le vide à la vitesse de 299 792 458 mètres par seconde. Dans l'eau de mer sa vitesse diminue environ d'1/3. Quand la lumière se propage à travers une colonne d'eau, son intensité décroît exponentiellement* depuis la source.

Cette atténuation a deux causes essentielles :

➤ **L'absorption**

C'est la transformation de l'énergie rayonnante en une autre forme d'énergie, en chaleur, pour la plus grande partie, ou en énergie chimique.

L'absorption peut être due à :

- l'eau elle même (les rayons infrarouges* sont très vite absorbés par l'eau ; dans les premières dizaines de centimètres sous la surface océanique)
- aux composés organiques dissous
- aux particules organiques ou minérales en suspension
- aux algues qui transforment l'énergie lumineuse en énergie (bio)chimique* par les processus de photosynthèse*

Remarque : celle-ci constitue une très faible part des phénomènes d'absorption, évaluée à environ 0,1% de l'énergie solaire absorbée par les océans.

➤ **La diffusion**

C'est surtout la diffusion particulaire qui va dominer, c'est-à-dire que les particules en suspension dans l'eau de mer et les molécules d'eau diffusent un rayon de lumière et forment ensemble comme un faisceau lumineux ; en réalité, l'ensemble des particules éclairées.

L'atténuation de la lumière est donc liée pour une grande part à la teneur en matières en suspension et donc à la turbidité* de l'eau de mer.

Les eaux littorales ont tendance à être plus turbides que les eaux océaniques du large (remises en suspension, apports estuariens...etc.). Les eaux claires sont donc aussi des eaux pauvres en éléments nutritifs (provenant de la décomposition de la matière organique ou des apports de la côte), elles auront donc une faible productivité biologique.

L'absorption varie avec les longueurs d'onde et après quelques dizaines de mètres, seuls les bleus continuent à se propager, la lumière devient quasi monochromatique (une seule couleur). La couleur de la mer va du bleu au vert : elle est davantage bleue lorsqu'il y a peu de production biologique (et donc moins de chlorophylle, responsable de la couleur verte) comme dans les mers tropicales et équatoriales où l'on rencontre parfois un bleu indigo ; le long des côtes, les eaux sont généralement verdâtres ; dans les régions polaires, la mer est quasiment verte.

Au delà de 1 000 mètres environ, la lumière du jour n'est plus perceptible, les seules sources de lumière sont alors liées au phénomène de bioluminescence*.

• **Les propriétés acoustiques des eaux de mer**

Tous les sons proviennent d'une vibration (exemple la vibration de la membrane d'un haut-parleur). Quand le son se déplace, la pression engendrée par la vibration augmente et diminue de manière sinusoïdale*. Les longueurs d'onde de l'énergie acoustique s'échelonnent dans l'océan entre 50

mètres et 1 millimètre. Si l'on considère la vitesse de propagation du son dans l'eau de mer comme approximativement 1 500 mètres par seconde, cela conduit à des fréquences de 30 Hz à 1,5 Mhz (1 méga Hertz = 10⁶ Hertz).

Le son se propage bien mieux dans l'eau que dans l'air, c'est donc un moyen de communication privilégié pour les espèces sous-marines. L'homme a su exploiter cette caractéristique pour explorer l'océan et ses ressources.

c. Géosciences marines

Les géosciences marines sont la géologie et la géophysique* marines.*

La géologie marine étudie les fonds océaniques, leur morphologie, la nature des sédiments qui les recouvrent, leur structure et les processus qui ont modelé leur formes présentes et passées.*

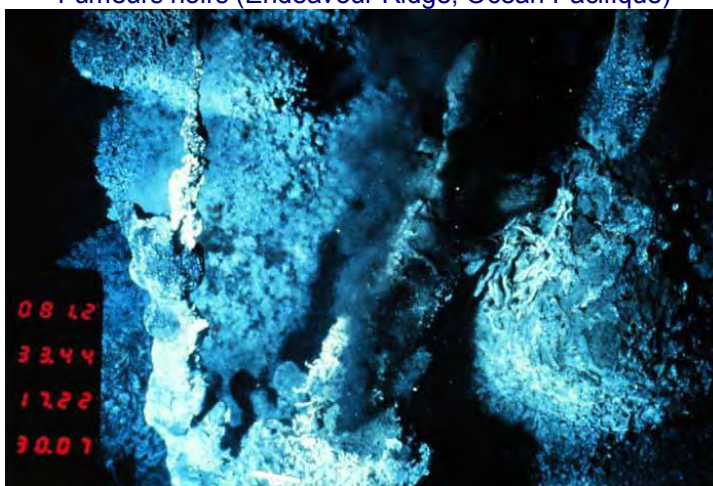
La géophysique marine étudie quant à elle l'origine et la dynamique des fonds marins. Elle emploie des techniques comme la gravimétrie, la sismique* ; étudie le magnétisme*. Elle travaille en relation avec la géologie et s'intéresse ainsi à la théorie de la tectonique des plaques* (processus entre la croûte océanique et la croûte continentale), les risques naturels, les ressources énergétiques et minérales.*

Région de l'Arc des Mariannes
(Océan Pacifique Ouest)



Credit: Pacific Ring of Fire 2004 Expedition. NOAA Office of Ocean Exploration; Dr. Bob Embley, NOAA PMEL, Chief Scientist

Fumeurs noirs (Endeavour Ridge, Océan Pacifique)



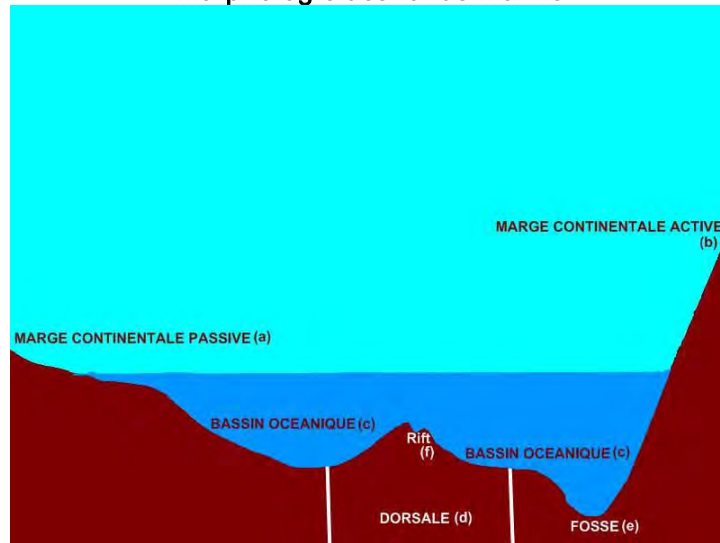
NOAA Collect Credit: OAR/National Undersea Research Program (NURP)

La morphologie des fonds marins est composée de trois grands domaines : les marges continentales (passives, a ; actives, b) les bassins océaniques (c) et les dorsales océaniques (d).

Dans les bassins océaniques, on trouve aussi les grandes fosses (e) : elles atteignent les profondeurs les plus importantes, elles sont longues et étroites et se situent entre 4 000 et 6 000 mètres en dessous du bassin océanique. C'est-à-dire à une profondeur pouvant aller jusqu'à environ 10 000

mètres ! Elles sont peu nombreuses, on en compte une trentaine. La plupart se situent dans l’océan Pacifique. Par exemple, la très profonde fosse des Mariannes (en bordure de l’archipel des Mariannes, dans l’océan Pacifique) atteint 11 034 mètres de profondeur.

Morphologie des fonds marins

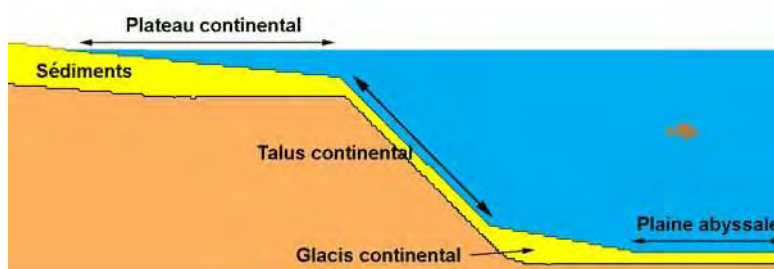


- **les marges continentales (a et b)**

Ce sont les parties immergées des blocs continentaux, elles font la transition entre le continent et le plancher océanique. Elles représentent environ 20 % de la surface totale des océans. Ces marges s’étendent de la ligne de côte jusqu’à 2 000-3 000 mètres de profondeur. Il y a deux types de marges. Les marges de type Atlantique sont stables (a, marges passives), c’est-à-dire qu’elles ne présentent pas d’activité sismique actuellement. Dans ce type de marges, le passage de la croûte continentale à la croûte océanique se fait au sein de la même plaque lithosphérique* et résulte de la déchirure d’un continent. Les marges de type Pacifique sont actives (b), elles présentent une activité sismique*, tectonique* et volcanique. Elles sont créées par la déformation de la croûte terrestre résultant de la convergence de deux plaques lithosphériques.* On parle de zone de subduction, c’est-à-dire que la plaque océanique s’enfonce sous la plaque continentale.

Les marges sont elles-mêmes composées de trois zones : un plateau, une pente (ou talus) et un glacis* continental.

Structure d'une marge continentale



Crédit : Pline – Source : Wikimedia Commons (<http://commons.wikimedia.org/wiki/Accueil>)

Le plateau continental est la zone qui prolonge le continent, de la zone intertidale* jusqu'à une profondeur moyenne de 200 mètres qui correspond à une rupture de pente. Les reliefs y sont peu marqués. Les sédiments présents sont d'origines variées mais essentiellement de provenance continentale. Les plateaux continentaux sont plus ou moins étendus : de quelques mètres à plusieurs centaines (10% de la surface de l'océan Atlantique).

La pente (ou talus continental), de faible largeur, s'étend de la rupture de pente (à environ 200 mètres de profondeur) jusqu'à 2 000/3 000 mètres de profondeur. La pente est importante, en moyenne de 3 à 10% d'inclinaison mais elle peut atteindre jusqu'à 40% ! Le relief y est très accidenté, on y trouve des falaises et des canyons.

Le glacis* continental dont l'inclinaison est inférieure à 1%, est recouvert par une couche de sédiments* qui provient du continent par des phénomènes d'érosion* ou d'un phénomène de drainage par les fleuves. Il se trouve au pied du talus, entre 2 000 et 4 000 mètres de profondeur. On y trouve aussi des sédiments d'origine océanique, ce sont les particules organiques issues des squelettes des animaux morts qui tombent sur le fond.

- ***les bassins océaniques (c)***

Au delà des marges continentales, on trouve les bassins océaniques qui représentent environ 76% de la surface des océans. Ces bassins sont essentiellement les plaines abyssales situées entre 3 000 et 6 000 mètres de profondeur. On rencontre des plaines très plates ou bien parsemées de collines. Leur fond est la croûte océanique. En plus des collines, on trouve aussi de façon disséminée des seuils*, des monts sous-marins, et des montagnes (de 200 à 1 000 mètres au dessus du fond marin).

- ***les dorsales océaniques (d)***



Vue aérienne de l'Islande

Les dorsales océaniques ont été découvertes au début du 20^e siècle et les rifts* en 1950. C'est le long des dorsales actives et sur les rifts*, que se trouvent les sources hydrothermales. Les premières sources ont été découvertes en février 1977 au cours d'une mission géologique du sous-marin américain *Alvin*.

Les dorsales océaniques s'étendent sur plus de 70 000 kilomètres. Elles constituent une chaîne de montagnes, aux reliefs accidentés, culminant à environ 2 000 mètres au dessus du fond marin. Parfois elles émergent en surface comme en Islande.

Les lignes bleues au milieu des océans
représentent les dorsales océaniques

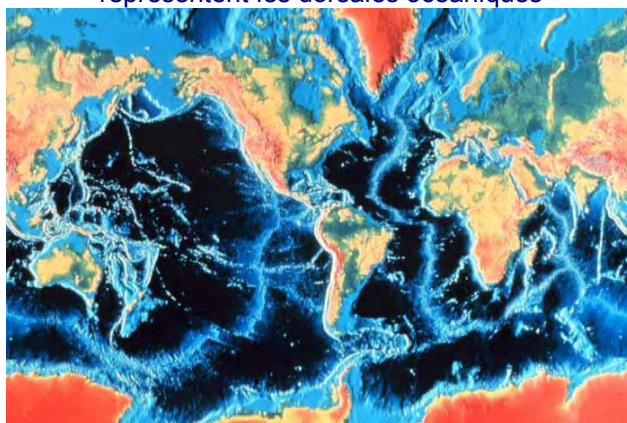
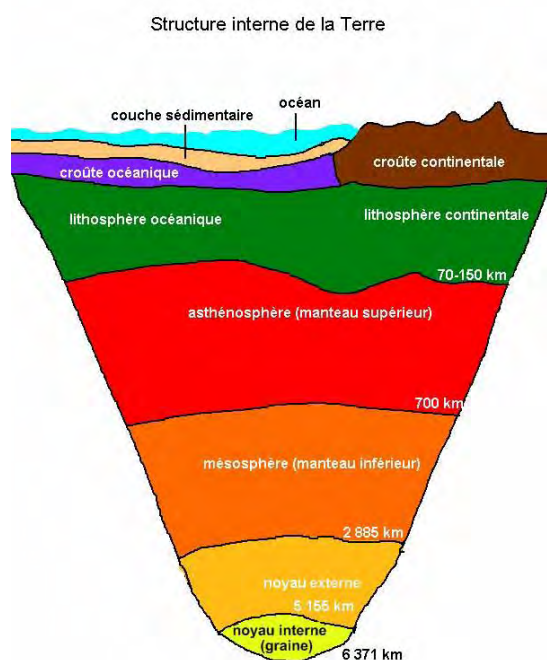


Image ID: nur09764, Voyage To Inner Space. Exploring the Seas With NOAA Collect Credit: OAR/National Undersea Research Program (NURP)

Au milieu de cette chaîne de montagnes, on trouve une vallée axiale nommée rift* (f). Un rift est un fossé tectonique long de plusieurs centaines ou de plusieurs milliers de kilomètres, correspondant à une zone de fracture de l'écorce terrestre.

C'est là que se forme la croûte océanique : à cet endroit, les plaques tectoniques s'écartent, et laissent remonter le magma sous-jacent (liquide formé à l'intérieur de la Terre par fusion partielle du manteau supérieur) qui se solidifie et forme de nouveaux pans de plancher océanique.



La découverte des dorsales océaniques a été essentielle pour la compréhension de l'évolution de la Terre et notamment pour l'élaboration de la théorie de la tectonique des plaques*, selon laquelle la lithosphère solide est découpée en plaques en mouvements les unes par rapport aux autres sur une matière plus visqueuse : l'asthénosphère.

Les mouvements des plaques (déplacements de 1 à 18 centimètres par an suivant les différentes plaques) sont dus aux phénomènes de convection thermique à l'intérieur de l'asthénosphère.

Explication : Soumises à une forte différence de température entre la base du manteau inférieur (température moyenne d'environ 3 000°C) d'une part et la transition asthénosphère- lithosphère (température moyenne d'environ 1 330°C) d'autre part, les parties chaudes des roches du manteau,

moins denses, auront tendance à s'élever, tandis que les parties froides, plus denses, auront tendance à s'enfoncer.

C'est grâce aux progrès de la technique que la connaissance de la structure des fonds marins a pu progresser (sondeurs*, submersibles, télédétection spatiale*, techniques de forage*, de dragage*).

Exemple d'étude en géosciences marines :
Géosciences marines : Opération Famous (III. B.)

D. Océanographie appliquée

Le terme d'océanographie appliquée (ou encore génie océanologique) désigne les méthodes et opérations scientifiques et techniques mises en œuvre en vue de la prospection, de l'exploitation économique ou de la protection des océans.

Depuis les années 1990, l'océanographie appliquée a évolué selon plusieurs critères : la nécessité de mieux connaître l'océan dont l'influence est déterminante sur les variabilités du climat, les budgets alloués à la recherche dans ce domaine qui varient selon les pays (recherches aussi au sein d'entreprises privées), le développement d'activités offshore (en mer profonde ; exploitation des gisements de gaz et de pétrole en mer, câbles sous-marins...).



Crédit : Comex



Crédit : Comex

L'océanographie appliquée intervient dans le domaine de la sécurité (évaluer les risques d'un forage en haute mer par exemple), dans le domaine de la réduction des coûts d'exploitation, de la prolongation de durée de service ou du démantèlement des appareils utilisés, de l'optimisation des techniques d'inspection, de maintenance et de réparation.

Depuis des techniques ont émergé en ce qui concerne les biotechnologies, les matériaux avancés, les technologies informatiques.

Les biotechnologies visent à valoriser les ressources marines en les utilisant en thérapeutique, en cosmétique, en agro-alimentaire, dans le domaine des biocarburants...

Exemples :

- Le laboratoire Ifremer « Physiologie et Biotechnologie des algues », est engagé dans le projet français « Shamash », réunissant 7 laboratoires et une PME, dont l'objectif est de cultiver des microalgues pour en extraire l'huile et fabriquer un biocarburant propre, non-concurrent des cultures alimentaires.
- Les vers marins intéressent la communauté scientifique. Morgane Rousselot (biochimiste au laboratoire « Écophysiologie : évolution et adaptation moléculaire » de Roscoff) a vérifié, pendant sa thèse, que leur hémoglobine était proche de celle de l'Homme et qu'elle pourrait devenir d'ici peu un substitut sanguin efficace.
- Les archéobactéries thermophiles prélevés au niveau de sources hydrothermales possèdent une membrane lipidique et une paroi cellulaire hors du commun. De quoi intéresser le milieu pharmaceutique et les sociétés spécialisée en cosmétologie.
- Les polysaccharides issus des microorganismes prélevés au niveau de sources hydrothermales intéressent également les organismes de recherche médicale. Ainsi, le Groupe Interdisciplinaire d'Etude de Nouvelles Stratégies Anti-Tumorales (GIENSAT) basé à Brest a pour mission de découvrir de nouveaux traitements du cancer à partir des produits d'origine marine. Il a développé l'utilisation des polysaccharides pour limiter les inconvénients de la chimiothérapie en aidant à mieux cibler l'action des médicaments sur les seules cellules malades.

Le secteur de l'informatique intervient en ce qui concerne la modélisation* des données, mais aussi dans le domaine de la robotique sous-marine.

Les acteurs de l'océanographie appliquée peuvent être des organismes, laboratoires publics ou bien des entreprises privées, comme la Comex, société d'ingénierie sous-marine française de renommée internationale par son activité pionnière pour le développement des industries sous-marines en milieu extrême (exploitation de pétrole offshore etc).

En savoir plus sur la Comex et son fondateur :

Consultez le dossier « Henri-Germain Delauze, un pionnier des grandes profondeurs »

<http://mediatheque.citedelamer.com/fr/les-dossiers-thematiques/les-defis-de-l'exploration-sous-marine/default.asp>

E. Océanographie spatiale

L'océanographie spatiale désigne l'étude de l'océan par le biais de la télédétection spatiale pour la compréhension de phénomènes géophysiques* de l'océan et de l'interface océan / atmosphère.*



Source : Aviso/Altimétrie "Jason-1 : les instruments" dans Missions : Jason-1 sur le site Aviso/Altimétrie. Page consultée le 10/10/2005. http://www.jason.oceanobs.com/html/missions/jason/instruments/welcome_fr.html

Dans les années 1970, c'est l'avènement de l'ère spatiale qui constitue une avancée technologique importante dans le domaine de la recherche océanographique. Elle permet d'avoir une vue d'ensemble de l'océan, dans sa globalité. Les régions polaires difficiles d'accès sont ainsi plus facilement observables.

Il existe différents satellites d'observation :

- les **géostationnaires** qui apportent des informations précises et régulières sur une seule région donnée
- les **orbitaux** qui suivent des orbites* plus basses et tournent donc plus vite que la Terre et peuvent couvrir toute la surface de celle-ci en quelques jours.

Des capteurs sont embarqués sur ces satellites :

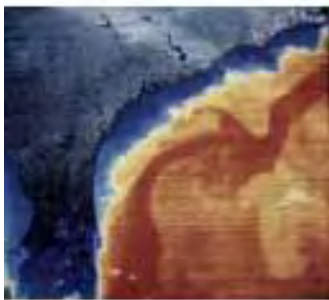
- les **radiomètres**, capteurs passifs qui mesurent le rayonnement magnétique émis par l'atmosphère et la surface océanique et terrestre à différentes longueurs d'onde (permettent de mesurer la température de surface, l'abondance de la chlorophylle*, l'évolution de la couverture de glace)

- les **radars**, capteurs actifs qui produisent et émettent des ondes capables de traverser l'atmosphère (sans être trop perturbé par les nuages) et d'analyser les modifications apportées à ces ondes, après réflexion sur la surface. (mesure des paramètres dynamiques de l'océan : niveau de la mer et topographie* de la surface, hauteur et direction des vagues)

La télédétection désigne la science et les techniques de détection à distance. Elle permet l'étude de la surface terrestre et des océans par analyse d'images provenant d'avions ou de satellites. On parle de télédétection aérospatiale. La télédétection se base sur la mesure du rayonnement électromagnétique. L'électromagnétisme est une partie de la physique qui étudie les mouvements des charges électriques et les champs électriques et magnétiques créés par ces charges. La télédétection permet donc de mesurer les rayonnements électromagnétiques émis ou réfléchis par les objets étudiés : par exemple en océanographie, la surface de l'océan. Ces rayonnements correspondent à différentes longueurs d'onde et sont plus ou moins intenses selon l'état de l'objet étudié. Les ondes électromagnétiques sont, dans l'ordre décroissant des longueurs d'onde : les ondes hertziennes, les rayons infrarouges, les radiations visibles, les rayons ultraviolets, les rayons X, les rayons gamma ; les caractéristiques de propagation dans l'atmosphère du rayonnement électromagnétique doivent aussi être prises en compte.

La télédétection peut permettre de mesurer :

- la salinité ;
- dans le cadre d'études géophysiques*, l'évolution des glaces de mer (fonte, formation, dérive...);
- le vent et les vagues de surface ;
- la circulation océanique ;
- le suivi des tourbillons ;
- le niveau de la mer...
- La concentration en chlorophylle* peut aussi être repérée par satellite, elle permettra de connaître la quantité de phytoplancton présente. En effet, le phytoplancton est composé de milliards de cellules microscopiques et ces cellules, possèdent des pigments dont la chlorophylle*, qui utilisent l'énergie solaire pour la synthèse de la matière organique (production primaire). La présence du phytoplancton modifie donc les propriétés optiques de la lumière émise par la surface marine : plus il y a de chlorophylle*, plus la couleur de la surface est verte. Les satellites qui analysent cette lumière permettent de suivre l'évolution de la production de matière organique primaire.



Les capteurs et l'imagerie satellitaire ont révolutionné l'océanographie.

← Une image satellite du Gulf Stream*

Image ID: theb2851, Voyage To Inner Space - Exploring the Seas With NOAA Collect / Credit: NOAA

En France, les données recueillies grâce à des satellites pour l'Ifremer (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer) sont archivées au CERSAT (Centre ERS d'Archivage et de Traitement). C'est le centre de traitement et de distribution de données spatiales de l'Ifremer, créé en 1991 pour les satellites ERS d'observation de la terre lancés par l'ESA (Agence Spatiale Européenne).

Pour en savoir plus : <http://www.ifremer.fr/cersat/fr/general/general.htm>

Exemple d'étude en océanographie spatiale :

Océanographie spatiale : Projet Topex-Poseidon (III.C.)

F. Océanographie opérationnelle

L'objectif de l'océanographie opérationnelle est de pouvoir décrire et prévoir l'état de l'océan à tout moment dans un endroit donné : état de la mer, température de l'eau, sens et force d'un courant...

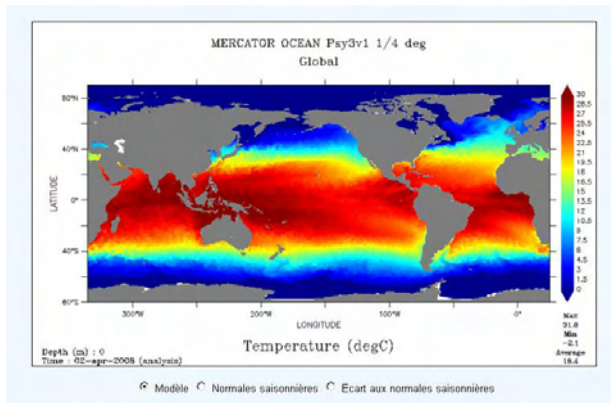
Les analyses et prévisions peuvent servir aux océanographes mais aussi aux secteurs de la navigation, de l'industrie offshore, de la pêche et des forces navales.

Pour cela, des capteurs, balises etc sont mouillés pour une longue durée.

Les événements climatiques comme El Niño* peuvent être étudiés, ainsi que la dispersion des pollutions, le niveau des mers, le cycle du carbone, les variations du climat et ses impacts...

• Un exemple de programme d'océanographie opérationnelle : Mercator.

Les 6 principaux organismes français engagés dans l'étude de l'océan et du climat ont décidé en 1995 d'inventer et de mettre en place dans un délai de 5 à 7 ans un projet d'océanographie opérationnelle. Ce projet, lancé par le CNES (Centre National d'Etudes Spatiales), le CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique), l'IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer), l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement), Météo-France, et le SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine), s'est concrétisé par la création du groupement d'intérêt public Mercator Ocean, à Toulouse en 2002. Ces organismes s'étaient lancés comme défi de développer le premier système français d'océanographie opérationnelle capable de décrire à tout instant l'état de l'océan, en profondeur comme en surface, dans toutes ses zones.



Un bulletin de prévision océanographique

Crédit : Mercator Océan (<http://bulletin.mercator-ocean.fr/>)

Ce projet s'inscrit dans le cadre de l'expérience internationale GODAE (Global Ocean Data Assimilation Experiment). C'est la première expérience internationale d'océanographie opérationnelle à l'échelle de l'océan global. Décidée en 1997, elle a débuté en 2003.

Pari réussi ! Le premier bulletin Mercator, paru le 17 janvier 2001, donnait les caractéristiques de l'océan dans ses trois dimensions à J+8 et J+15.

Depuis le 14 octobre 2005, l'équipe Mercator Océan met en ligne un bulletin des prévisions océanographiques sur tout le globe pour les 2 semaines à venir (<http://bulletin.mercator-ocean.fr/>).

Comment fonctionne le système Mercator ?

Mercator Ocean fonctionne grâce à un modèle d'analyse et de prévision océanique. C'est-à-dire un modèle mathématique qui permet de décrire l'océan dans toutes ses dimensions : horizontalement, verticalement et suivant son évolution dans le temps. Ce modèle fournit une description mathématique de phénomènes physiques : les mouvements de l'eau, de l'air à la surface de la Terre ; les transports de chaleur (température) ; la salinité. Le modèle permet de symboliser par une équation ces éléments en tout lieu et au cours du temps. Les scientifiques ont au préalable effectué un découpage de l'océan en des milliers de petites mailles qui représentent l'océan dans son intégralité, sur toute sa surface, et jusqu'au plus profond. Le modèle global d'océan utilisé par Mercator comporte 46 millions de mailles ! Les modèles numériques doivent aussi effectuer une assimilation de données : c'est-à-dire intégrer des données mesurées en surface et à l'intérieur de l'océan.

Pour cela, Mercator utilise des satellites altimétriques pour mesurer la hauteur de la mer et obtenir ainsi des informations sur les courants et des satellites à capteur infrarouge* pour mesurer la température de la surface des océans.

Les mesures *in situ* sont également nécessaires pour avoir des informations sur les caractéristiques en profondeur. Les océanographes peuvent recourir à différents procédés pour prendre ces mesures depuis les navires océanographiques : les flotteurs Argo ; les mouillages ; les bouées dérivantes ; les bathysondes ; les gliders ; les sondes perdables (les plus utilisées sont les XBT : Expendable BathyThermograph).

Pour en savoir plus sur les instruments de mesure utilisés en océanographie :

Cf. II B 2. Quelques instruments de mesure

Pour en savoir plus sur le système Mercator :

http://www.mercator-ocean.fr/html/science/piste_verte/initiation3_fr.html#sat

IV. QUELQUES MISSIONS OcéANOGRAPHIQUES

A. 1^{ère} campagne océanographique moderne : la campagne multidisciplinaire du HMS Challenger

21 décembre 1872 : début de la 1^{ère} campagne d'exploration des fonds marins.

A la fin du 19^e siècle, les scientifiques se posent deux questions concernant l'océan profond : jusqu'à quelle profondeur la vie est-elle possible ? Les abysses sont-elles le refuge d'espèces que l'on croyait disparues depuis la fin du secondaire ?

Le *Challenger* à St. Paul's Rocks



In: "The Voyage of the *Challenger* The Atlantic" Vol I, by Sir C. Wyville Thomson, 1878. NOAA Collect / Photographer: Archival Photography by Steve Nicklas, NOS, NGS

Pour répondre à ces interrogations, les anglais organisent la 1^{ère} grande campagne d'exploration des fonds marins soutenue par le Circumnavigation Committee de la Royal Society et menée par le professeur Charles Wyville Thomson. Son étudiant canadien John Murray (1841-1914) le secondait. C'est ce dernier qui prit la succession de Thomson pour l'étude des collections issues de l'expédition et pour la publication des résultats. En effet, Thomson, tombé gravement malade au retour de l'expédition, décéda en 1879.

Le 21 décembre 1872, la corvette HMS (Her Majesty's Ship) *Challenger* quitte Portsmouth avec à son bord 23 officiers, 243 hommes d'équipage et 5 scientifiques, le navire sera de retour le 24 mai 1876. En l'espace de 3 ans et demi, le navire anglais sillonne toutes les mers du globe, parcourant ainsi 69 000 miles nautiques (l'équivalent de 130 000 km), soit 3 fois le tour du globe !

Des animaux sont récoltés jusqu'à 5 500 mètres, et la plus grande profondeur est mesurée à 8 000 mètres. *Challenger* donne réellement le coup d'envoi de l'océanographie moderne : rationalisation des méthodes de prélèvement et mise en place de nouveaux protocoles scientifiques.

Tamisage des dépôts prélevés sur le fond dans le but de découvrir des formes de vie des grandes profondeurs



SIFTING DEPOSIT.

In: "The Voyage of H. M. S. *CHALLENGER* Summary....", Part I, p. xlix. Library Call Number Q115.C4 1880 summary pt. 1. NOAA Collect / Photographer: Archival Photography by Steve Nicklas, NOS, NG

Une réponse est donnée à l'une des deux questions fondamentales de la campagne : la vie existe jusqu'à 5 500 mètres et il n'y a donc pas de limite. Concernant la deuxième question, il faudra attendre plus d'un siècle et de nouvelles découvertes pour que de nombreux fossiles vivants soient trouvés...

Même si les interrogations principales auxquelles va tenter de répondre l'expédition concernent la biologie marine, les scientifiques ont aussi l'occasion de se livrer à des études dans divers domaines de l'océanographie : géophysique*, topographie*, météorologie*, zoologie*, botanique*. Un matériel important avait été emmené à bord et les cales du navire sont transformées en laboratoires.

Plus de 50 ans seront nécessaires à une centaine de naturalistes et de géologues pour dépouiller la matière recueillie lors de l'expédition *Challenger* : on répertorie plus de 4 000 nouvelles espèces et les cartes des fonds marins sont bouleversées, en particulier par les indices de la présence d'une dorsale dans l'océan Atlantique.

B. Géosciences marines : Opération Famous

Famous est le premier programme d'étude à haute résolution des fonds sous-marins. La théorie de la tectonique des plaques, acceptée dans le monde de la science à partir de 1968, restait néanmoins une hypothèse s'appuyant sur des mesures indirectes. La nécessité de plonger pour vérifier le phénomène d'expansion océanique s'imposait alors. Une exploration d'une partie de la dorsale médio-océanique a donc eu lieu et plus exactement de la vallée profonde qui l'entaille sur toute sa longueur : le rift*, l'endroit où se forment les plaques flottant sur du magma à la surface de la Terre, comme le veut en effet l'hypothèse de la dérive des continents.*

- **Genèse de la mission**

A l'origine, il s'agit d'une initiative franco-américaine du CNEXO* (Centre national pour l'exploitation des océans), futur Ifremer, et de la WHOI* (Woods Hole Oceanographic Institution).

En novembre 1971, le CNEXO et le WHOI se réunissent pour définir les objectifs de la mission et son

organisation. Ils rédigent un document commun faisant l'état des lieux des connaissances et des lacunes en ce qui concerne la théorie de la tectonique* des plaques.

L'objectif de la mission est d'examiner en détail, de photographier et de cartographier une région dans laquelle se met en place la nouvelle croûte océanique au fur et à mesure que les plaques adjacentes (plaque Afrique et plaque Amérique) s'écartent dans leur mouvement de dérive. Si l'hypothèse de la tectonique des plaques rend bien compte du mouvement des plaques, elle n'explique pas encore bien les processus physiques responsables de la formation de ces plaques dans les zones d'écartement. De même, on connaît peu de choses sur l'activité volcanique, les phénomènes de circulation hydrothermale, la minéralisation* qui caractérisent cette zone. Le but est de lever toutes ces incertitudes. Pour cela, des prélèvements de roche sont prévus à chaque plongée.

Le nom de l'opération provient d'une suggestion de Xavier Le Pichon : FAMOUS pour **French American Mid Ocean Undersea Survey** (littéralement, enquête sous-marine franco-américaine en plein océan).

Les chefs de projet désignés sont : Jim Heirtzler pour la partie américaine, Claude Riffaud pour la partie française.

- **Une préparation impressionnante**

Le choix des sous-marins se fait en fonction de leurs capacités à descendre à environ 3 000 mètres, profondeur estimée de cette zone. *Archimède* et *SP 3000* (future *Cyana*) pour la France / *Alvin* pour les Etats-Unis). *Archimède* a déjà effectué de nombreuses plongées et a montré sa fiabilité.

L'Archimède



Crédit : Comex

Après avoir été défini, le site Famous, qui s'étend sur une vingtaine de kilomètres à 900 kilomètres à l'ouest des Açores, est soigneusement cartographié. Ce qui permet d'attribuer les sites de plongée aux sous-marins suivant leurs capacités :

- Le fond de la vallée pour *Archimède* (lourd, peu manoeuvrant)
- la zone Sud et les flancs du rift pour *Alvin*
- la faille transformante* Nord pour *SP 3000*, supposé plus manoeuvrant

La mise au point des équipements représente deux ans d'efforts, du côté français, comme du côté américain. 23 navires de surface de divers pays (navires français, américains, britanniques, soviétiques) sont déployés pour des études pré-mission. Jamais un programme aussi exhaustif et précis sur une zone du fond des océans n'avait été réalisé auparavant. Les études réalisées en amont

concernent : des mesures des courants, des relevés bathymétriques* pour ne pas descendre en aveugle sur fond inconnu (on utilise de nouveaux sondeurs* à pinces étroites, les plus précis à l'époque), des missions de dragage pour fournir des échantillons de roche aux géologues, des opérations sismiques pour renseigner les géophysiciens sur la structure de la croûte aux abords du rift...

Pour la première fois, des explorateurs des grands fonds allaient plonger en sachant avec précision dans quelle zone ils évolueraient.

Un effort considérable est aussi fait en ce qui concerne l'équipement des sous-marins et navires. Des caméras, appareils photographiques, systèmes d'enregistrement sont embarqués. Sur *Archimède*, des bras hydrauliques* sont conçus pour prélever des roches ; un équipement spécial de recharge de ses batteries est emmené à bord de son navire support le *Marcel Le Bihan*... La Marine américaine promet une couverture complète de la zone par un nouveau procédé encore un peu confidentiel : le Libec (Light behind camera).

Un système de navigation ayant pour objectif de pouvoir reconstituer sur une carte le trajet sous-marin et retrouver les points précis d'une plongée sur l'autre est mis en place par Thomson-CSF (groupe industriel français résultat de la fusion en 1968 de l'activité électronique de l'entreprise Thomson-Brandt et de la CFS, Compagnie Générale de Télégraphie Sans fil) et la Marine nationale. Ce système repose sur un champ de trois balises acoustiques mouillé sur le fond, en triangle, maintenues par flotteurs à environ 100 mètres du fond. Le navire interroge les balises à cadence régulière et les réponses sont enregistrées par un ordinateur. Le navire peut alors se localiser précisément non plus grâce au satellite mais grâce à une balise située sur le fond.

De plus, le submersible est constamment suivi en plongée depuis la surface, par l'intermédiaire d'un téléphone sous-marin entre le navire et le sous-marin : le Tuux, qui a nécessité 18 mois d'élaboration.

- **Déroulé de la mission**

C'est l'équipe française et *Archimède* qui lancent l'opération.

Il existe 2 groupes pour la partie française :

1. *Archimède* / *Marcel Le Bihan*, personnel de la Marine nationale française, ingénieurs et techniciens CNEXO en charge du positionnement et de l'instrumentation du sous-marin.
2. *Cyana* (ex *SP 3000*) / *Noroît*, personnel CNEXO, Jean Jarry à la direction.

Pour l'équipe américaine, la maîtrise d'œuvre est assurée par le WHOI, sous la direction de Jim Heirtzler. *Alvin* possède sa propre équipe de pilotes, ingénieurs et techniciens. Les bâtiments opérationnels sont *Knorr* et *Lulu*.

51 plongées auront lieu dans un relief tourmenté : 19 pour *Archimède*, 15 pour *Cyana* et 17 pour *Alvin*.

- **Résultats**

Famous a permis de réaliser une topographie des lieux avec une précision jamais atteinte auparavant, à quelques mètres près.

L'étude géologique de cette zone est comparable à celle effectuée sur les continents. Avant la mission Famous, les océanographes avaient dû se contenter d'extrapoler des considérations géologiques à partir de données géophysiques recueillies depuis la surface, sans aucune vérification directe possible.

Cette opération apporte une dimension nouvelle à l'océanographie, elle n'est pas un simple travail d'observation mais a permis la mise au point d'un outil d'investigation incomparable.

Le recueil des données est précis, le travail répond à des critères scientifiques objectifs et est un exemple des possibilités que peut offrir une importante mobilisation scientifique et technique internationale.

Pour en savoir plus :

Voir le film en ligne retraçant l'opération Famous sur le site du CERIMES (Centre de ressources et d'information sur les multimédias pour l'enseignement supérieur) :

<http://www.cerimes.education.fr/index.php?page=fiches&op1=view.1410.1.7.247>

C. Océanographie spatiale : Projet Topex-Poseidon

Le projet Poséidon consistait à embarquer un radar altimétrique sur une plate-forme satellitaire. L'objectif premier était d'étudier la circulation des océans et sa variabilité, l'état de la mer et les marées océaniques. Ce projet est concrétisé en 1992 avec le lancement du satellite franco-américain Topex-Poséidon.

Le 10 août 1992, la fusée *Ariane 4* est lancée depuis le centre spatial de Kourou (Guyane) afin de placer en orbite le satellite *Topex-Poseidon*, à l'initiative du CNES (Centre national d'études spatiales) et de la Nasa (National Aeronautics and Space Administration), qui souhaitaient développer une mission dédiée à l'étude des océans. Ce satellite est placé à 1 336 kilomètres d'altitude, il a une orbite* particulière (de forme circulaire) et une inclinaison de 66 degrés sur l'équateur. Il effectuera des mesures et couvrira tout l'océan entre le 66^e parallèle Nord et le 66^e parallèle Sud.



Topex-Poseidon

Crédit : CNES

Topex-Poseidon est la jonction des noms des deux projets développés aux Etats-Unis (TOPEX) et en France (Poseidon), qui forment alors une mission conjointe. *Poseidon* (nom du dieu de la mer dans la

mythologie grecque) est le nom de l'altimètre* embarqué sur le satellite. « TOPEX » signifie TOPOgraphy Experiment for ocean circulation.

Ce satellite permettra de mesurer la hauteur des océans de façon très précise pour pouvoir étudier le niveau de la mer, la circulation océanique (courants...), les interactions avec l'atmosphère...

Grâce aux instruments embarqués sur *Topex-Poseidon* et à la combinaison de leurs résultats, on peut savoir à quelques centimètres près où se trouve le satellite lorsqu'il effectue ses mesures.

Ces instruments sont : un altimètre, un radiomètre tri-fréquence, trois systèmes d'orbitographie précise (un réflecteur laser qui donne une distance par rapport à des stations au sol, un récepteur GPS qui donne une distance par rapport à des satellites, un récepteur du système de positionnement DORIS qui donne la vitesse de rapprochement ou d'éloignement du satellite par rapport à des stations au sol). Le réseau DORIS est constitué d'environ 50 balises réparties sur toute la planète, qui peuvent par exemple permettre de calculer l'orbite d'un satellite.

L'orbite élevée et inclinée du satellite est définie en fonction de sa mission. Elle tient aussi compte de la zone à observer (c'est-à-dire 90% de la surface des océans), du rythme des marées, du survol de deux sites (un aux Etats-Unis, l'autre en Italie) utilisés pour paramétrer les instruments au début de la mission.

Après avoir effectué 127 tours en environ dix jours, le satellite repasse à proximité des mêmes points à un kilomètre près, décrivant un maillage régulier des traces au sol. Le même cycle recommence tous les dix jours.

Topex-Poseidon a fait progresser l'étude des océans, en permettant :

- de couvrir de façon globale et continue la topographie* de la surface des océans et ses variations ;
- les premières descriptions globales sur dix ans des variations des courants ;
- une plus grande précision des mesures de l'élévation du niveau des océans ;
- une meilleure compréhension du rôle des marées dans la circulation océanique* en eaux profondes ;
- le développement de modèles* globaux de marées océaniques très précis.

Exemples concrets d'applications de *Topex-Poseidon* :

- *Topex-Poseidon* a permis d'étudier les saisons océaniques, c'est-à-dire les variations de température des océans. Dans l'hémisphère Nord, l'océan reçoit davantage de chaleur en été, ce qui a pour effet de le dilater. Deux mois après, à l'automne, quand la chaleur s'est diffusée dans les 1 000 premiers mètres d'eau, en automne, le niveau océanique maximal est atteint ;

tandis que le niveau le plus bas est atteint au printemps, deux mois après le refroidissement de l'hiver. Le satellite a permis de découvrir la véritable amplitude de ces variations : jusqu'à 5 centimètres au-dessus du niveau moyen des océans alors qu'on l'estimait à l'époque de 1 ou 2 centimètres.

- Pour la première fois aussi, *Topex-Poseidon* a permis de surveiller de façon globale et continue l'évolution du phénomène El Niño. Il s'agit d'un phénomène climatique très intense qui a lieu dans le Pacifique au large du Pérou. Les eaux habituellement froides (18-22 C°) sont en quelques mois remplacées par des eaux plus chaudes (25-29 C°), ce qui a des conséquences importantes sur la faune et la flore, le climat, les ressources... En 1997, le phénomène a été particulièrement important et dès le mois de mars *Topex-Poseidon* a observé les premières manifestations du phénomène : la propagation d'une « bosse » d'eau chaude, surélevée de 20 à 30 centimètres par rapport au reste de l'océan, qui a traversé le Pacifique d'ouest en est.

Le programme *Topex-Poseidon* ne devait durer que cinq ans, le satellite avait été conçu pour ce temps donné d'exploitation, mais en réalité son observation continue des océans a duré treize ans ! C'est la plus longue mission d'observation radar depuis une orbite terrestre !

Le 9 octobre 2006, un incident survenu sur une des roues à inertie du satellite lui fait perdre ses capacités de manœuvre sur orbite. Le satellite n'est plus opérationnel, il restera sur son orbite, sans danger pour la Terre. C'est la mission *Jason* qui prend la suite, elle a été lancée en 2001. Le satellite *Jason* évoluait depuis presque trois ans en tandem avec *Topex-Poseidon*, doublant ainsi les données collectées et permettant d'étudier des phénomènes à plus petite échelle.



Crédit : CNES

Jason 2



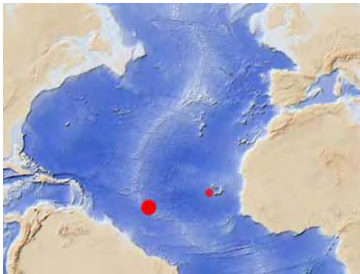
Crédit : CNES

Pour en savoir plus sur *Jason 2* :
<http://jason2-cnes.fr/>

Le successeur de *Jason* (*Jason 2*) vient d'être lancé le 20 juin dernier depuis la base Vandenberg en Californie et sa mise en orbite* grâce au lanceur *Delta 2* a été réussie. Son orbite* lui permettra de balayer 95% de la surface des mers libres. *Jason 2* continuera les observations du niveau des océans et de la circulation des courants océaniques initiées en 1992 par *Topex-Poseidon* et reprises par *Jason 1* à partir de 2001.

D. Océanographie biologique : une des composantes de la campagne Serpentine

La campagne Serpentine est une campagne franco-russe multidisciplinaire qui s'est déroulée du 26 février au 6 avril 2007 sur la dorsale atlantique entre 13° et 17° Nord.



← Dorsale Atlantique.

La partie explorée lors de la campagne Serpentine correspond au gros point rouge.

Crédit : Photothèque Ifremer

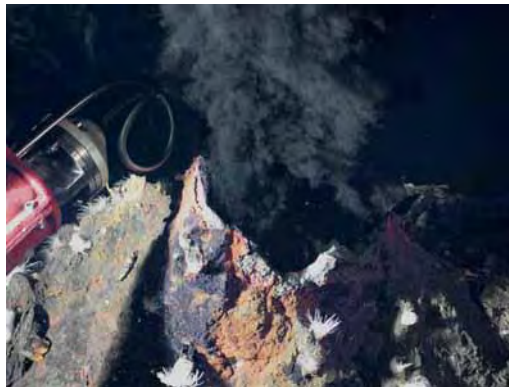
La campagne tire son nom de la roche hydratée produite par la réaction entre l'océan et le manteau terrestre porté à l'affleurement* : la serpentine.

Les recherches concernaient aussi bien les sciences de la vie que les sciences de la terre puisqu'il s'agissait d'étudier les variabilités géologiques, géochimiques, biologiques et microbiologiques des processus hydrothermaux associés aux roches du manteau à l'axe des dorsales lentes.

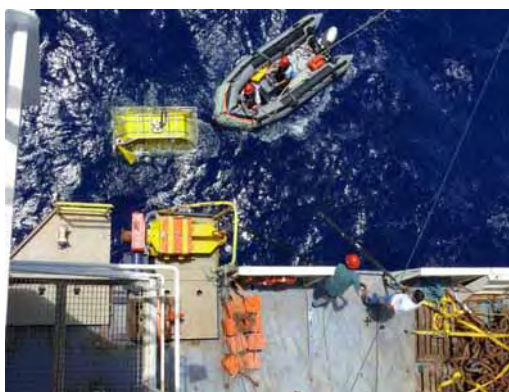
Le chef de mission était Yves Fouquet, responsable du laboratoire de Géochimie et Métallogénie d'Ifremer de Brest et du programme GEODE (programme pluridisciplinaire d'études des milieux extrêmes dans les grands fonds).

Une dizaine d'organismes russes et français a participé à cette campagne, dans des spécialités telles que la biologie et la microbiologie, la géologie, la géochimie*, la métallogénie* (science des gisements métallifères).

Prise de température sur un fumeur du site d'Ashadze



Ifremer-Victor / Campagne Serpentine 2007



Cette campagne a eu lieu à bord du *Pourquoi Pas ?* Le ROV *Victor 6000* a permis de réaliser des prélèvements de diverses natures : eau, fluides hydrothermaux, roches, échantillons biologiques...

← Récupération de l'ascenseur du *Victor 6 000* à bord du *Pourquoi pas ?*

Ifremer/ Campagne Serpentine 2007/Daniel Desbryères

De nouveaux sites hydrothermaux ont été découverts :

- des sites actifs : Ashadze 1, Ashadze 2, Ashadze 3
- un site inactif : Logatchev 5

Ces découvertes et les plongées sur ces sites ont permis de faire diverses observations sur les propriétés physiques, chimiques et géologiques des lieux mais nous évoquerons ici ce qui concerne la biologie.

Sur les sites Ashadze, une faune différente des autres sites de l'Atlantique a été découverte : anémones, crevettes, vers tubicoles*...

Sur le site Logatchev 2, des champs de moules mortes, aux coquilles récentes et intactes, laissent penser qu'un incident aurait détruit l'environnement qui permettait la croissance de ces moules.

Les biologistes ont pu étudier les crevettes *Rimicaris*. Ces crevettes, présentes sous formes d'importants essaims sur les sites hydrothermaux, ont un mode de nutrition qui intrigue les scientifiques. On ne sait pas si elles consomment les communautés microbiennes qui vivent sur les parois des cheminées hydrothermales et si elles disposent d'une microflore digestive.

Essaim de crevettes *Rimicaris*
sur le site hydrothermal Logatchev



Ifremer-Victor / Campagne Serpentine 2007

La campagne Serpentine a aussi été l'occasion d'étudier les microorganismes piezophiles. Ceux-ci peuplent les grands fonds, ils sont aussi appelés barophiles (aimant la pression) et font partie des extrémophiles (qui vivent dans des conditions extrêmes) tout comme les microorganismes hyperthermophiles (croissance optimale au-delà de 80°C) qui ont déjà été localisés sur des sources hydrothermales. Les scientifiques s'interrogent sur l'évolution de leur croissance en fonction des facteurs que sont la température et la pression.

L'analyse des fluides hydrothermaux issus des nouveaux sites découverts permettra d'étudier la synthèse du méthane et de l'hydrogène dans ces lieux. On sait que cette synthèse est nécessaire au développement d'une biosphère profonde mantellique (organismes vivant sous le plancher océanique / mantellique ou mantélique : propre au manteau terrestre). Cela permettra d'avancer dans la connaissance des microorganismes qui vivent sous le plancher océanique. Certains ont été découverts jusqu'à 1 600 mètres sous le plancher océanique, par une profondeur de 4 500 mètres d'eau.

Une autre action menée pendant la campagne est de continuer les recherches entreprises internationalement pour comprendre si les sites hydrothermaux de la dorsale médio-atlantique ont pu servir de milieux relais pour certains groupes zoologiques, vivant des deux cotés de l'Atlantique. En effet, il existe des ressemblances entre la faune des sources hydrothermales profondes et celle des sources froides sur les marges continentales (à proximité des canyons creusés par les grands fleuves comme la Mississippi, le Zaïre). Elles utilisent toutes deux les fluides riches en éléments réduits. Les sources froides constituent un suintement de fluide enrichi en méthane et autres hydrocarbures sur le plancher océanique. Les sources hydrothermales constituent une source d'eau chaude, riches en minéraux. Des espèces identiques ont été repérées dans des milieux très différents et éloignés sur les deux bords de l'Atlantique. Une hypothèse serait que ces communautés d'êtres vivants auraient une origine commune et se seraient éloignées et différenciées dans le temps suite à l'ouverture de l'Atlantique.

Pour en savoir plus sur la campagne Serpentine : <http://www.ifremer.fr/serpentine/>

V. LE METIER D'OCEANOGRAPHE

A. Description



On peut accéder aux métiers de l'océanographie par des formations courtes pour devenir technicien (Bac+2, Bac+3) ou par des études plus longues pour devenir ingénieur ou chercheur.

Crédit : WHOI

Devenir technicien spécialisé en océanographie

Ces techniciens seront amenés à assister les chercheurs dans leurs travaux d'étude. Même s'ils ne sont pas spécifiques à une filière maritime, il existe de nombreux BTS (Brevet de Technicien Supérieur) et DUT (Diplôme Universitaire de Technologie) en chimie, physique, informatique, biologie qui offrent des débouchés dans les laboratoires du secteur de l'environnement. Dans tous les cas, l'admission se fait sur dossier après un BAC S (scientifique) ou STL (sciences et technologies du laboratoire).

Il existe une formation spécifiquement axée sur le domaine de la mer : le TTSM (Titre de Technicien Supérieur de la Mer) à Intechmer (Cherbourg, 50). La formation, en deux ans, après une année d'apprentissage de notions générales des sciences et techniques de la mer, se spécialise dans deux filières (Génie biologique et productions marines ; Génie de l'environnement marin) conduisant chacune à l'obtention d'un diplôme de Technicien Supérieur de la Mer.

L'objectif de ces études est de former par des études courtes des techniciens supérieurs opérationnels dans la plupart des domaines de l'exploration et de l'exploitation des ressources océaniques et littorales.

En savoir plus sur les formations dispensées à Intechmer :

<http://www.intechmer.cnam.fr/>

Devenir ingénieur ou chercheur

La spécialisation des étudiants a lieu à partir de Bac+4 ou Bac+5.

Pour devenir chercheur, ingénieur, les formations ont lieu dans certaines universités (masters de recherche) et écoles d'ingénieur (option ou spécialisation en dernière année). Il faut choisir sa discipline : océanographie biologique ; chimie marine, physique, géosciences marines...

Consultez la liste des formations françaises de chercheurs et ingénieurs en océanographie, présentées sur le site de L'Onisep (Office national d'information sur les enseignements et les professions) :

http://www.onisep.fr/onisep-portail/portal/media-type/html/group/gp/page/interieur.espace.guide.metiers.detail/js_peid/InitGuideResultatDetail/js_peid/GuideResultatMetiersDetail?typeRecherche=metierParCentreInteret&ficheIdeo=10287&critere%28parFicheMetier%29=&critere%28parFicheEtablissement%29=&critere%28parFicheFormation%29=&critere%28parFicheConcours%29=&critere%28avantBac%29=

Les océanographes doivent être prêts à travailler en équipe. Ils sont amenés à oeuvrer en mer tout comme en laboratoire, à rencontrer des océanographes d'autres pays pour échanger sur leurs travaux. Ils participent à des projets de coopération et rédigent les résultats de leurs recherches en vue de leur publication, etc. Souvent la langue employée est l'anglais comme dans toutes les disciplines scientifiques.

Les techniciens et ingénieurs ont une solide formation de base qui leur permet de trouver du travail relativement facilement tandis que les chercheurs, spécialisés dans un domaine bien précis, peuvent rencontrer des difficultés pour trouver un emploi après leur doctorat.

Les techniciens, ingénieurs et chercheurs peuvent être amenés à exercer dans différents types d'organismes :

- dans le secteur public, les EPST (établissements publics à caractère scientifique et technique ; par exemple les universités, le CNRS et l'IRD), les EPIC (établissements publics à caractère industriel et commercial comme Ifremer).
- dans le secteur privé, les secteurs de l'industrie et de l'exploitation de la mer recrutent également des océanographes, chercheurs, techniciens, en appui technique. Ces industries peuvent travailler dans le domaine de la valorisation des ressources marines, dans le secteur de l'environnement, de la construction navale, de la pêche, de l'exploitation de pétrole et de gaz offshore, etc.

B. Rencontre avec des océanographes

Pour mieux comprendre le métier d'océanographe, rien de tel que d'interroger ceux qui travaillent dans le domaine de l'océanographie. 4 personnes ont gentiment accepté de répondre à nos questions et nous les en remercions chaleureusement.

PRÉSENTATION



Thierry Moutin est Maître de conférences au Centre d'Océanologie de Marseille, à l'université d'Aix-Marseille 2. Il fait partie du Laboratoire d'Océanographie Physique et de Biogéochimie et plus précisément de l'équipe « Cycles biogéochimiques en relation avec la biodiversité fonctionnelle des communautés pélagiques ». Ses activités de recherches concernent « le cycle des éléments biogènes dans la couche éclairée des océans »...

Celui-ci précise : « *Nous nous intéressons essentiellement aux relations entre la disponibilité nutritive dans l'océan de surface et les écosystèmes marins : la production primaire (c'est-à-dire la photosynthèse qui correspond à l'assimilation de carbone par les algues), les facteurs qui contrôlent cette production (c'est-à-dire principalement la disponibilité en azote, mais également en phosphore, en silicium, en fer...). Nous étudions la relation entre l'évolution de la disponibilité nutritive, les écosystèmes et le changement climatique* ».

Thierry Moutin est le coordinateur de projet de la mission BOUM (Biogéochimie de l'Oligotrophie* à l'Ultra-oligotrophie Méditerranéenne), qui a eu lieu en juin et juillet 2008 (<http://www.obs-vlfr.fr/proof/boum/?lang=fr>).



Jozée Sarrazin est chercheuse en écologie benthique dans le Département Etude des écosystèmes profonds du centre Ifremer de Brest. Elle a été co-chef de mission lors de la campagne MoMARETO (validation d'une instrumentation spécifique à l'étude des grands fonds et observation des écosystèmes autour des sources hydrothermales, aux Açores, en août et septembre 2006) puis chef de mission lors de la

campagne MEDECO (étude de la diversité des écosystèmes marins profonds de la Méditerranée en octobre 2007) à bord du *Pourquoi pas ?*.

En termes simples, Jozée Sarrazin étudie les écosystèmes des grandes profondeurs, en particulier ceux dont la chaîne alimentaire repose sur la chimiosynthèse : les sources hydrothermales et les sources de fluides froids. Elle s'intéresse à la faune qui colonise ces environnements et au fonctionnement de ces habitats extrêmes.



Pierre-Marie Sarradin est chimiste dans un laboratoire d'Écologie (Laboratoire Environnement Profond) du centre Ifremer de Brest. Il travaille sur la description des caractéristiques physico-chimiques de l'habitat hydrothermal et a participé à des campagnes océanographiques comme MoMARETO, où il était

co-chef de mission avec Jozée Sarrazin, chercheuse en écologie benthique dans le même laboratoire.



Au moment où nous publions cet entretien, nous avons entre temps appris avec tristesse le décès de Lucien Laubier survenu le 15 juin 2008. Il y a quelques mois, il avait gentiment accepté de répondre à notre questionnaire... Ce prestigieux océanographe nous avait déjà plusieurs fois fait l'honneur de sa présence, notamment dans le cadre du Ciné de la Mer (en 2005) et participait activement au cercle de conseillers scientifiques de La Cité de la Mer.

Lucien Laubier, écologiste marin, ou encore océanographe biologiste, a étudié toute sa vie la faune marine en tant qu'enseignant-chercheur des universités Pierre et Marie Curie (Paris) et de la Méditerranée (Marseille) et comme chercheur au Centre national pour l'exploitation des océans (CNEXO) puis à l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer). Il a eu une carrière exceptionnellement longue et n'a jamais quitté le milieu scientifique. Il a toujours publié tout en menant une carrière de responsable et de gestionnaire de groupes (Directeur du centre d'océanologie de Marseille de 1996 à 2001, de l'Institut océanographique de Paris, de 2001 à 2007 etc) dont le sommet, selon lui, fut le rôle de directeur du centre CNEXO de Brest, entre 1976 et 1979, à la tête de 500 personnes. Il a participé à de nombreuses campagnes océanographiques et à des plongées profondes à bord de différents submersibles (soucoupe du commandant Cousteau, *Archimède*, *Cyana*, *Nautile*).

ENTRETIENS

1) Qu'est-ce qui vous a donné envie d'exercer ce métier ?

Thierry Moutin



C'est un peu du hasard... Je voulais travailler dans le domaine de l'eau, ça c'était une certitude. J'ai fait mes études pour travailler dans le domaine de la chimie de l'eau. J'étais passionné par l'étude des lacs et puis, des lacs, je suis passé à l'étude de l'océan.

Jozée Sarrazin



Je pense que c'est une série de hasards, ou plutôt d'opportunités. J'ai connu la mer tard dans ma vie, j'étais adolescente. La mer m'a vraiment... (au Québec, on dit « blastée » !) ... époustouflée par sa grandeur ; cela a un côté ingérable, indomptable ! Ça, c'est vrai que ça m'est resté et j'ai cherché à orienter mes études en ce sens.

Pendant ma maîtrise, j'ai travaillé sur la zone intertidale (zone de balancement des marées), avec « mes p'tites bottes et mon seau » ! Dans le cursus choisi (maîtrise en océanographie), il y avait une mission d'océanographie expérimentale sur un bateau et là, ça a vraiment été le coup de cœur : le bateau, la vie à bord, les heures de fous, le plein air, les paysages, la promiscuité, l'intensité Pour ma thèse, j'ai donc essayé de trouver un chercheur qui travaillait en haute mer et pourquoi pas sur l'environnement profond parce que c'est encore plus un défi ! Je suis quelqu'un qui aime bien les défis ; une femme en océanographie, à l'époque, ça n'était pas courant ! J'ai toujours aimé bouger, voyager, c'est tout ce côté curiosité qui m'attirait et finalement, j'en suis venue à vraiment aimer ça.

Selon vous, quelles qualités sont nécessaires pour réussir dans ce domaine ? *La curiosité, le sens de l'aventure et surtout la persévérance.*

Pierre-Marie Sarradin



J'ai un parcours un petit peu chaotique. Je ne suis pas parti tout de suite dans l'idée de faire une thèse ou de faire de la recherche. J'ai commencé par un DUT de Chimie puis je suis parti en Angleterre, dans le cadre des premiers programmes Erasmus. Ensuite, quand je suis revenu en France, j'avais envie d'avoir un BAC+5 et de travailler sur l'eau (eau douce ou eau de mer). J'ai donc fait un DEA de Chimie et Microbiologie de l'eau, à Pau. C'est cette envie de travailler sur l'eau qui m'a amené à travailler à Ifremer.

Lucien Laubier



C'est le goût des petits animaux aquatiques. À 13 ou 14 ans, je passais mes vacances en Normandie, près de Coutances, et dans toutes les zones de sable, il y a des mares, des abreuvoirs pour les vaches... On trouvait là des hydrophiles [insectes qui vivent dans les eaux stagnantes] et toutes sortes de petits insectes. Cela m'a passionné ! J'ai commencé par avoir des aquariums et puis à 18 ans, quand je préparais le SPCN (le diplôme de Sciences Physiques, Chimiques et de sciences Naturelles) j'ai eu des aquariums marins ; j'ai observé la reproduction des actinies ovipares [anémones de mer], des choses de ce genre... Cela m'a convaincu qu'il y avait des tas de choses à faire en milieu marin. Il me semblait à l'époque qu'il était beaucoup moins connu que les eaux douces.

Quelle est votre spécialité ? *La biologie marine et deux grands groupes d'animaux : les vers de mer (pour simplifier, par opposition aux vers de terre) et un petit groupe de crustacés parasites de toutes sortes d'animaux, les copépodes parasites. C'est vraiment mes deux spécialités. J'ai dû décrire une centaine d'espèces nouvelles dans ces deux groupes au cours de ma vie et on m'en a dédié aussi certaines.*

2) Comment y êtes-vous parvenu(e) ?

Thierry Moutin



Mon parcours universitaire a été le suivant : DEUG « Mathématiques et Sciences de la nature » à Grenoble ; ensuite, Maîtrise « Air et Eau » à Chambéry (ça faisait longtemps que voulais travailler dans le domaine de l'eau !) puis un DEA national d'hydrologie, à Paris VI et Montpellier, et enfin un Doctorat en énergétique à l'Université de Montpellier II.

En thèse, j'ai étudié la relation entre la disponibilité nutritive et la production algale des lagunes de cette région.

Quelles difficultés avez-vous pu rencontrer dans ce parcours ? *Comme beaucoup d'étudiants, l'argent ! J'ai dû obtenir une bourse... Et dans ce domaine d'étude, y a-t-il des difficultés particulières ? Personnellement, j'ai eu de la chance parce que j'ai été recruté en tant que Maître de conférences pour enseigner la chimie de l'eau, la chimie océanographique, à un moment où c'était un cursus qui n'existait pas vraiment. En fait, quand je parle de hasard, c'est parce que je me suis retrouvé avec une compétence en chimie de l'eau alors que nous étions peu nombreux à l'avoir à ce moment là.*

Jozée Sarrazin



J'ai poursuivi un cursus écologie/biologie à l'Université du Québec à Montréal, après j'ai fait une maîtrise (MSc) en océanographie à Rimouski (Québec). Au Canada, cela correspond à deux ans d'études sur le même sujet de recherche, soit l'équivalent des Master 1 et Master 2 en France, puis j'ai fait une thèse suivie de deux post-doctorats, l'un aux Etats-Unis, l'autre au Québec.

Quelles difficultés avez-vous pu rencontrer dans ce parcours ? *Comme n'importe qui fait une thèse, il faut persévérer, travailler dur... S'imposer, ne pas lâcher ... malgré la forte pression.*

Pierre-Marie Sarradin



*C'est un peu de la chance et du hasard. On arrive de temps en temps à être la bonne personne au bon moment, sachant que j'étais en train de terminer ma thèse à Pau quand j'ai vu l'offre d'emploi Ifremer. **Quelles difficultés avez-vous pu rencontrer dans ce parcours ?** Je ne peux pas vraiment parler de difficultés, j'ai eu de la chance... Je crois que je ne suis pas un exemple, ou*

alors un exemple de ce qui pouvait encore se passer il y a une quinzaine d'années, c'est-à-dire parvenir à trouver un poste dans la recherche presque immédiatement après sa thèse. Je n'ai fait que 8 mois de « post-doc » et d'ATER (assistant temporaire d'enseignement et de recherche), tandis que maintenant les personnes qui sont recrutées font un ou deux « post-doc », voire un troisième « post-doc » à l'étranger, avant de pouvoir espérer un poste dans la recherche.

Selon vous, quelles qualités sont requises pour parvenir au poste souhaité dans ce domaine ? *Personnellement, cela s'est fait un peu comme ça, je ne viens pas d'un milieu qui baigne dans la recherche... C'est, en revanche, en avançant dans les études que certaines portes s'ouvrent et qu'il faut savoir saisir sa chance.*

Lucien Laubier



J'ai suivi des études universitaires simples : après le baccalauréat, j'ai fait le SPCN, ce qu'on appelait Sciences chimiques, physiques et naturelles, ensuite j'ai suivi une licence en 2 ans et puis à 20 ans, j'ai eu la chance d'obtenir un poste d'assistant. J'ai donc commencé à faire des travaux pratiques puisque j'ai été nommé à Banyuls sur Mer, dans le laboratoire de biologie marine de la faculté des sciences de Paris. J'ai été tout de suite expatrié sur le terrain si j'ose dire... Je suis arrivé à Banyuls en

*quittant tout le milieu parisien, mes études, la famille, mon université, fin octobre 1956 ; j'ai démarré immédiatement. Plus tard, j'ai passé ma thèse (« Le Coralligène des Albères. Monographie biocénotique », Sciences naturelles Paris VI, 1966) et ai ensuite occupé plusieurs importantes fonctions scientifiques dans différents instituts... **Avez-vous rencontré des difficultés particulières dans ce parcours ?** Non mais j'ai beaucoup su changer : par exemple, au lieu de me « crisper » sur ma thèse pendant les 4 ou 5 premières années, j'ai mis presque 10 ans à passer ma thèse mais c'était ma publication numéro 50 ! J'étais déjà connu dans mon domaine (les polychètes*) J'avais déjà fait beaucoup publié. Par la suite, quand j'ai vu se profiler les nouveautés de la tectonique des plaques à la fin des années 1960, c'est vrai que je me suis précipité sur ce nouveau sujet. C'est comme ça que j'ai eu l'occasion de décrire le fameux ver de Pompéi qui vit à des températures très élevées, dans les systèmes hydrothermaux du Pacifique. Je me suis intéressé à des sujets très différents : je suis devenu un spécialiste reconnu des conséquences écologiques des marées noires, je connais pas mal de choses en aquaculture... Je me suis dispersé, disent les méchantes langues ! Moi j'estime que j'ai fait beaucoup ! J'ai aussi eu beaucoup de chance, je crois. J'ai pu créer quelque chose : j'ai été associé dès le départ à la construction du centre de Brest (CNEXO), j'ai pu moi-même monter un groupe de 80 personnes, équiper des laboratoires, définir les locaux..., alors que j'avais 35 ans. J'ai eu une chance exceptionnelle, je le reconnais, mais je l'ai aussi cherché, en quittant Banyuls pour la Bretagne.*

Selon vous, quelles sont les qualités pour réussir dans ce domaine : la curiosité ?

Une ouverture d'esprit, une curiosité jamais complètement satisfaite, le désir de toujours faire du nouveau : voir des choses nouvelles, entrer en contact avec des gens nouveaux, renouveler son environnement de travail... Cela m'a toujours relancé complètement dans la vie que de retrouver autour de moi des gens nouveaux.

- 3) Les dictionnaires définissent l'océanographe ainsi : « spécialiste d'océanographie ». Etant donné la diversité des disciplines qui forment l'océanographie, est-ce que l'on ne vous désigne pas plutôt selon votre spécialité « chimiste, géophysicien, chercheur en ... » plutôt que par le terme « océanographe » ?

Thierry Moutin



Je travaille au Centre d'Océanologie de Marseille. Si le mot « océanologie » est employé, c'est pour signifier que l'océanographie est plutôt la partie descriptive de la science et que l'océanologie, c'est plutôt dans le sens « logos » : essayer de comprendre le fonctionnement de l'océan.

« Océanologie » n'est pas synonyme d' « océanographie appliquée » ?

Non pas du tout, ce n'est pas la même chose. L'océanologie, c'est essayer de comprendre et pas

seulement de décrire l'océan.

Comment vous définissez-vous, vous dites que vous êtes océanographe ?

...Quand je me définis ? Je dis souvent « océanographe » car c'est le mot que les gens connaissent... J'emploie quand même ce terme, même pour l'enseignement, le nom de la matière est « Chimie océanographique »...

Jozée Sarrazin



Le terme d'océanographe a été un peu controversé puisque pour les puristes, l'océanographie, c'est l'étude des processus à grande échelle : la circulation océanique etc. Je crois que cela dépend aussi d'où on vient. Je suis canadienne ; mon diplôme c'était une maîtrise en océanographie axée sur une approche pluridisciplinaire : le cursus comprenait 4 pôles soit l'océanographie physique, chimique, biologique et géologique. Pour le Québec, je peux me dire « océanographe ». En Amérique du Nord, c'est compris comme cela ; ici, j'ai l'impression que ce n'est peut-être pas pareil...

Pierre-Marie Sarrazin



Je ne me sens pas du tout océanographe : je dirais plutôt que je travaille sur une toute petite partie de l'étude de l'océan. Je pense que c'est un terme qui ne correspond pas à ces quinze dernières années. Les océanographes étaient plutôt des gens qui avaient une idée assez générale de l'étude des océans.

Maintenant on utilise encore ce terme pour les océanographes physiciens : tous ceux qui travaillent sur la dynamique des océans, la circulation océanique etc.

Lucien Laubier



L'océanographe « tout court » n'existe pas. On est océanographe physicien, on fait de la dynamique, on étudie les mouvements ; on est océanographe chimiste, on étudie la composition chimique de l'eau de mer etc ; on est océanographe biologiste, on peut s'intéresser soit au plancton soit au monde des animaux qui vivent sur le fond... Moi ce qui m'a intéressé, ce sont les animaux de fond. Depuis 20 ans, je ne travaille plus que sur l'abyssal (au-delà de 3000 mètres de profondeur).

Vous vous définissez donc comme un océanographe biologiste ?

Oui absolument. Ce qui est à peu près synonyme d'écologiste marin. Moi je suis pour la pluridisciplinarité très avancée, je prétends qu'avec un peu de travail on peut s'amuser, étant biologiste de formation, à parler de physique... Personnellement ça ne me pose pas de problème mais il y a des gens qui ne veulent pas en entendre parler comme certains professeurs du secondaire actuellement...

« Océanographe » serait alors plutôt un terme du passé ?

Au départ, l'océanographe « tout court » c'était le monsieur, comme le prince de Monaco, qui partait en mers lointaines sur de grands bateaux. Il y avait aussi le monsieur qui faisait la marée au large de Roscoff, celui-là était un biologiste marin. Peu à peu, l'océanographie s'est spécialisée tout en

ayant besoin d'une approche pluridisciplinaire. Et puis, on s'est rendu compte que le biologiste marin, lui aussi, faisait de l'océanographie, mais de l'océanographie littorale... Tout ça n'est pas très important ! Pour moi l'océanographie n'est pas une discipline scientifique comme une autre. C'est le résultat d'un concours de sciences : la physique, la dynamique si on veut l'isoler de la physique, la mécanique des fluides, la chimie, la biochimie, les sciences de la terre, la géologie, la sédimentologie, la géophysique et enfin la microbiologie et la biologie.

4) Quelle est la partie la plus intéressante de votre travail ?



Thierry Moutin

C'est justement la diversité des travaux qui m'intéresse. C'est très varié. En ce moment, j'organise une campagne. Cela fait deux ans pratiquement que je ne fais que ça, en plus de mon enseignement. C'est quelque chose que je n'avais jamais fait avant et c'est vrai que c'est passionnant, on embarque avec 33 scientifiques à bord d'un bateau...

Vous parlez de la mission BOUM ? *Oui, avant j'ai participé à d'autres missions un peu partout dans l'océan, mais c'était différent : j'embarquais avec mon matériel, je faisais mes « p'tites manip' », alors que là, c'est moi qui organise ! Il faut donc que je trouve des financements etc, ça n'a plus rien à voir. Et tout est intéressant !*



Jozée Sarrazin

Ce que je préfère, ce sont vraiment les campagnes : être sur le terrain, « baignée » dans le milieu que l'on étudie et s'y consacrer pleinement, sans contrainte extérieure... Le reste du temps, nous sommes devant des chiffres ou au labo' à observer des organismes hors de leur écosystème...c'est intéressant aussi mais pas sans le côté « échantillonnage sur le terrain » qui

apporte une autre dimension à la compréhension du milieu. Ce qui me plaît, c'est vraiment le côté découverte/expérimentation : être sur le fond, se poser des questions, tenter d'y répondre avec les outils que l'on a (ou pas), intervenir avec des sous-marins, mener à bien sa recherche avec toutes les contraintes qu'implique le travail sur les grands fonds... C'est un grand défi !



Pierre-Marie Sarradin

Dans notre Département de Recherche, nous avons la chance de pouvoir réaliser toutes les étapes depuis le moment où nous construisons le projet de recherche (recherche des financements) jusqu'à la fin (la publication scientifique des résultats). Il y a de nombreuses étapes dans un projet de recherche qui sont comme plusieurs métiers :

- sachant que nous travaillons sur un milieu très particulier, nous sommes obligés de développer des outils spécifiques pour y avoir accès, donc nous avons toute une partie technologie qui est très importante et intéressante ;
- la préparation d'une campagne qui est comme un métier à part entière ;
- la campagne à la mer elle-même. Suivant si l'on est simple « embarquant » ou chef de

mission, là aussi ce sont encore deux métiers différents ;

- *viennent ensuite l'acquisition des résultats, la plongée en sous-marin... ;*
- *enfin, le travail sur tous les échantillons que nous avons récupérés, qui va jusqu'à la publication scientifique.*

Je ne peux pas dire quelle est la partie la plus intéressante car c'est vraiment un tout.

C'est l'ensemble qui vous intéresse ? *Oui, imaginer un outil que l'on va tremper à 3 000 mètres de profondeur, qui va donner des résultats qui vont nous permettre de répondre à une question. Comme je vous l'ai dit je suis chimiste dans un laboratoire d'écologie et l'intérêt, c'est de mélanger les différentes disciplines que sont la chimie, l'écologie, la physique, la microbiologie...*

Lucien Laubier



J'aime beaucoup ce qui est découverte, donc chaque fois que j'ai eu l'occasion de faire des choses entièrement nouvelles, j'ai été parfaitement heureux pendant un moment. Au départ, cela a été la découverte des fonds coralligènes en Méditerranée à 25 mètres en plongée. Faire des longues radiales, en suivant une corde posée sur le fond et en notant tout ce que je voyais... Pour moi c'était complètement nouveau, cela m'a passionné, j'ai identifié toutes sortes d'annélides*

différents. Ensuite, quand j'ai eu l'occasion de plonger avec la soucoupe Cousteau à 300 mètres, cela a été les superbes coraux blancs de Méditerranée !

Peu à peu je suis donc descendu et quand enfin, j'ai eu la possibilité de plonger sur les sources hydrothermales et de voir les fameux vers, les crabes etc, au milieu de ces sorties d'eau chaude à 350°C, j'ai été passionné à nouveau ! Mais je suis tout aussi passionné de voir les larves d'une crevette pénéide en train de se nourrir d'algues qu'on leur distribue pour développer des élevages de crevettes ! Disons que j'ai une passion pour tout ce qui est organisme vivant, organisme qui fait quelque chose, qui agit, qui se nourrit, qui se reproduit... En résumé, pour tout ce qui constitue les comportements.

5) Les recherches océanographiques font intervenir du matériel de plus en plus sophistiqué (robots sous-marins ...), en quoi cela influe-t-il sur votre travail ?

Thierry Moutin



Nous sommes encore très limités par notre capacité à mesurer les variables qui vont nous permettre de mieux comprendre le fonctionnement de l'océan. Nous avons toujours besoin d'instruments de plus en plus précis et sensibles, de capteurs qui peuvent mesurer certaines variables à hautes fréquences. En plus des nouveaux

instruments que l'on va utiliser (capteurs nitrate et oxygène, capteur de température à ultra haute fréquence, compteur optique de particules, cytomètre trieur de cellules, profileur vidéo marin...), nous nous dirigeons vers de l'océanographie opérationnelle. Dans le cadre de la mission BOUM, nous employons du nouveau matériel qui va rester en mer et qui va nous renseigner pendant longtemps sur la dynamique océanique. C'est du matériel qui a été mis au point pour l'océanographie opérationnelle. En gros, nous voudrions avoir une idée du fonctionnement de l'océan à un moment

donné, indépendamment de la lourde logistique à mettre en œuvre pour les bateaux. Donc, quelque part, on peut dire que nous participons à l'élaboration de nouveaux instruments puisque que nous nous en servons dans nos campagnes. Dans ce cadre, nous avons parfois été consultés pour le développement de nouveaux navires.

Jozée Sarrazin



Oui, nous avons vraiment besoin de travailler en partenariat avec des gens qui font de la technologie. Pour le développement de l'instrumentation, les instruments ne se trouvent pas sur une tablette comme c'est le cas pour d'autres environnements, moins extrêmes. Les instruments naissent à partir des questions que nous nous posons et c'est là que nos collègues « ingénieurs et techniciens » interviennent.

Ils nous aident à concrétiser nos besoins. Pour les engins sous-marins, comme nous sommes les utilisateurs, nous sommes consultés. Par exemple, « Victor » va entrer en carénage et une équipe de scientifiques participera à la définition du cahier des charges. Leur implication est indispensable pour connaître les différents besoins des scientifiques, les améliorations à apporter.

Pierre-Marie Sarradin



Tout à fait, nous sommes présents dans l'élaboration du cahier des charges. Nous avons eu la chance de participer au développement de « Victor 6000 » (ce n'est pas tous les jours que l'on a la chance de faire ça !), à ses premières plongées et enfin, à la mise au point des outils que « Victor » utilise.

Vous êtes les premiers concernés ? *Oui les premiers... et les derniers ! Nous avons eu beaucoup de chance ces dix dernières années puisque nous avons un sous-marin neuf « Victor 6000 » et un navire tout neuf qui est le « Pourquoi pas ? ». Toute la partie qui concerne le cahier des charges et les plans du navire a bien sûr été menée par des professionnels, mais en consultant énormément de scientifiques.*

Lucien Laubier



On a déjà dépassé le stade des sous-marins, des soucoupes pour passer au stade des robots qui transmettent des images par des câbles en fibre optique. Ainsi, on peut faire des plongées sans limite de temps (puisque l'on n'est pas dans l'engin) et déjà opérer des petites expériences, récupérer des bêtes etc. Le tout sous l'œil des caméras et sur l'écran des moniteurs de télévision à bord du bateau.

Est-ce que l'on peut dire que cette instrumentation a eu une influence positive sur votre travail et vous a permis de découvrir de nouvelles choses ? *Oui, tout à fait, mais vous savez, au bord d'une plage, avec une pelle et en soulevant des rochers, on trouve aussi des choses tout à fait intéressantes, passionnantes... même si pour atteindre les sources hydrothermales, c'est quand même plus compliqué !*

Avez-vous contribué à l'élaboration de nouveaux instruments ?

Oui, car je suis assez bricoleur, j'ai un goût pour la mécanique... Je me suis passionné pour les pompes aspirantes, pour récupérer en douceur des animaux qui sont très fragiles, qu'il ne faut absolument pas écraser ni presser. Je me suis beaucoup intéressé à ces questions là, ainsi qu'aux techniques pour trier les minuscules animaux marins. Sur le profond surtout, on ne savait pas du tout trier au début, donc la plupart des bêtes échappaient à nos investigations parce qu'elles sont inférieures au millimètre. Et puis, on a appris peu à peu à le faire et à obtenir des résultats tout à fait étonnants en terme de biodiversité dans ces grands fonds. Je pense que cela peut aider d'avoir un intérêt pour tout ce qui est technologie.

En tant que scientifique, vous a-t-on consulté pour avoir votre avis pour la réalisation d'un instrument ? *Oui c'est arrivé. On apprend aussi tout ce qui est navigation, on est forcément amené à apprendre un peu, ne serait-ce que pour communiquer avec le commandant du bateau quand on fait des plongées.*

6) La recherche fondamentale et la recherche appliquée (à finalité économique, industries, services...) semblent très imbriquées depuis l'essor de l'océanographie appliquée, est-ce que la distinction entre les deux existe encore ?

Thierry Moutin



Nous sommes dans un domaine où l'on est constamment à l'interface entre recherche fondamentale et recherche appliquée. Je ne sais pas trop, il faudrait revenir aux définitions... On peut définir la recherche appliquée comme ayant pour finalité les industries, services (les biotechnologies marines etc). Dans ce sens là, nous sommes vraiment en recherche fondamentale !

Jozée Sarrazin



Au Département « Etude des Ecosystèmes profonds », nous travaillons surtout en recherche fondamentale même si nous sommes de plus en plus sollicités pour tout ce qui concerne les études d'impact de l'activité humaine sur les grands fonds : pollution, pêche sur les grands fonds, exploitation des ressources minérales, prospection pétrolière... On parle de plus en plus d'exploitation des ressources mais mis à part la prospection pétrolière et la pêche, les écosystèmes grands fonds sont encore « protégés » par leur accès difficile. Nous sommes le lien entre « Qu'est-ce qu'on connaît de ces écosystèmes ? », « que doit-on protéger » et « Quelles connaissances doit-on acquérir avant de les exploiter ? ».

Pierre-Marie Sarradin



Dans notre laboratoire, nous sommes vraiment dans la recherche fondamentale, nous essayons de comprendre, de connaître, d'avoir accès à des écosystèmes. Nous en sommes à un stade de découverte et de compréhension du fonctionnement de ces écosystèmes. Nous sommes encore très très loin de la recherche appliquée, même si mes collègues microbiologistes, de temps en temps, essaient de découvrir les applications possibles de certaines molécules...

Lucien Laubier



Un de mes maîtres disait : « il n'y a pas de différence, il n'y a pas de recherche fondamentale et de recherche appliquée, par contre il y a de la bonne et de la mauvaise recherche » ! Ce n'est pas forcément une boutade... Cela dit, la recherche fondamentale, cela existe. C'est la recherche dite de base, donc a priori, le sujet de base est vraiment une question de curiosité. Une curiosité intellectuelle en rapport à un problème qui se pose.

Il n'y a pas immédiatement à la clé une conséquence dans la vie pratique de l'homme (inventer un moteur ou je ne sais quoi). Dans la recherche appliquée, dès le départ, vous vous donnez comme objectif de réaliser un élevage de crevettes, par exemple. Ce que vous voulez, ce n'est pas en élever une mais en élever 500 000 alors comment va-t-on faire, comment va-t-on s'y prendre ? Et là, vous devez ajuster l'ensemble du dispositif de recherche à la dimension du projet... On peut aussi, s'agissant d'une marée noire, chercher à bien nettoyer le pétrole sans trop abîmer le milieu. On va alors éviter le karcher ou la vapeur d'eau bouillante. On va se demander quelle est la meilleure technique, celle qui fera le moins de mal, qui ajoutera le moins de stress au milieu, qui laissera survivre les animaux en plus grand nombre possible. Cette recherche appliquée, c'est le moment où vous ne cédez plus à vos simples inclinaisons de curiosité, où vous avez un objectif défini. Cela peut être nettoyer, élever des crevettes ou nourrir une petite sole... Ou tout simplement connaître de façon aussi complète que possible la faune du littoral de Marseille : est-ce qu'il y a 10 000 espèces ou 15 000 ? C'est déjà de la recherche appliquée. En fait, dès que vous vous donnez une contrainte externe à la stricte curiosité, vous rentrez dans le domaine de la recherche appliquée. Alors c'est vrai que l'on fait parfois des distinctions entre « l'appliquée », « l'orientée »... Ça devient tout à fait ridicule et en tout cas, difficile à définir...

Qu'est-ce qui vous intéresse le plus ? *Ce sont les deux, c'est d'ailleurs ce que l'on me reproche ! Oui parce que dans l'esprit de beaucoup de chercheurs, le CNRS (Centre national de la recherche scientifique) doit forcément être fondamental et les organismes comme Ifremer doivent forcément être appliqués... La recherche fondamentale est parfois considérée comme un luxe, il y a des pays qui s'en sont passés pendant longtemps. Prenez par exemple le Japon qui a développé toute son industrie au début du 20^e siècle en faisant des copies très soigneuses des inventions européennes, des machines à vapeur etc. Ils n'ont pas cherché à faire de la recherche fondamentale, ils ont pris les modèles tels qu'ils existaient. La chaîne qui voudrait que l'on fasse d'abord du fondamental puis de l'appliqué n'existe pas forcément...*

7) Quelles sont les contraintes du métier ? (organisation vie familiale, financement des recherches...)

Thierry Moutin



C'est compliqué la vie familiale... Il y a une flexibilité obligatoire à avoir, qui doit être acceptée par le conjoint et les enfants, ce n'est pas simple... Un exemple précis : je suis parti à Orlando la semaine dernière présenter la mission BOUM, en Floride, le jour de l'anniversaire de ma fille... Elle m'en veut énormément ! On n'a pas le

choix... Quand je suis rentré d'Orlando, elle me dit : « tu vas venir à mon spectacle de fin d'année ? » et paf ! Ça tombe en pleine mission, deux jours après le départ ... Il y a quand même des contraintes, quand on part deux mois dans le Pacifique, on n'emmène pas les enfants... Quant au financement des recherches, à l'heure actuelle, c'est très compliqué. Le montage pour BOUM, c'est plusieurs financements : national, européen, participation des différents laboratoires. Ça prend énormément (trop) de temps.

Quelle différence avez-vous pu constater entre le travail en France et à l'étranger ? *En ce moment, en France, nous sommes en plein changement de système, c'est un peu compliqué. Jusqu'ici il y avait plus de sécurité d'emploi et de confort de vie en France. J'en parlais la semaine dernière avec des collègues américains : ils ont la possibilité d'obtenir beaucoup plus d'argent et rapidement, mais en contrepartie, ils n'ont pas de sécurité quant à leur avenir professionnel. Il n'y en a que quelques uns qui ont la chance d'avoir des postes permanents. En plus de l'argent pour le consommable et l'équipement, ils doivent trouver de l'argent pour payer leurs étudiants et techniciens. Leur travail est essentiellement un travail de gestionnaire. Il faut savoir vendre sa science ! Les jeunes, aux Etats-Unis, sont en ce moment en grande difficulté...*

Jozée Sarrazin



C'est vrai qu'en partant un mois en mer, ce n'est pas facile pour la famille. Cela demande toute une organisation. Certes, il y a des petites compensations financières mais cela ne remplace pas ce que cela demande au conjoint en terme d'investissement, de disponibilité.

De plus, les nombreux déplacements (pas seulement les campagnes en mer) ont aussi un impact (déplacements en Europe : coopération scientifique, ateliers, séminaires...). Mais cela fait aussi partie du côté intéressant de notre travail.

En ce qui concerne les financements, nous sommes de plus en plus sollicités pour aller chercher des fonds comme cela se fait en Amérique du Nord ; du coup, c'est un peu au détriment de la recherche. Constituer les dossiers de demande de subvention et rédiger des rapports d'étapes diminuent le temps consacré à la recherche. En France, il y a quand même une sécurité de l'emploi. Les chercheurs (jusqu'à maintenant...) étaient relativement bien protégés de ce système où il faut aller chercher les financements relatifs au salaire. Au Canada, le salaire est assuré mais on doit aller chercher les subventions pour assurer la recherche. Aux Etats-Unis, c'est pire, dans certains instituts et universités, les chercheurs doivent assurer eux-mêmes leur salaire de façon annuelle ou pluriannuelle... Ce système engendre une très forte compétitivité. Au niveau de la recherche, c'est peut être dynamisant (on est obligé d'être très productif) mais à long terme, je ne sais pas si cela est vraiment valable. Il y a beaucoup de « burn out », des gens qui craquent en milieu de carrière après avoir consacré tout leur temps à la science, au détriment de la vie personnelle... En France, il y a encore de la place pour la famille, des week-ends, des congés... Au Canada, les chercheurs travaillent le week-end, le soir... Il y a davantage de qualité de vie en France mais cela est en train de changer... C'est pour cette qualité de vie que je suis venue en France même si au Canada, les salaires sont plus élevés.

Pierre-Marie Sarradin



Pour le moment, la grosse difficulté c'est le financement de la recherche. Moi qui ai une quarantaine d'années, je passe de plus en plus de temps non pas « à la pailasse » mais à faire de l'administration de la recherche, de la recherche de financements... Cela n'est pas sans intérêt, mais c'est encore un nouveau métier que nous sommes en train d'apprendre.

Nous ne cherchons plus des résultats mais du budget !

***Est-ce difficile de concilier vie familiale et campagnes océanographiques ?** Avec un minimum d'organisation, ce n'est pas une difficulté énorme, sachant que nous partons en moyenne deux à trois semaines par an, avec de temps en temps, de grosses campagnes comme « Momareto » qui vont durer jusqu'à six semaines.*

***Avez-vous constaté une différence entre le travail en France et à l'étranger ?** Personnellement, je n'ai pas travaillé à l'étranger. Nous travaillons énormément avec l'Europe mais toujours en tant que personnel Ifremer. La seule chose que je peux dire, c'est qu'en France, nous travaillons sur des contrats pérennes tandis qu'à l'étranger, il y a énormément de contrats à durée déterminée. Ce sont des chercheurs qui sont embauchés pour 3 ou 4 ans sur des projets spécifiques.*

Lucien Laubier



Aussi étonnant que cela puisse paraître, le fait de travailler en mer a été une vraie contrainte pour moi : conditions météorologiques, mal de mer etc...

Au niveau de la vie familiale, c'est vrai que cela est compliqué quand on part en mer pendant un mois et demi. Ma femme travaillait dans l'aquaculture (crevettes) et avait moins de déplacements que moi.

Avez-vous constaté des différences entre le travail en France et à l'étranger ?

Contrairement à l'étranger, en France, il y a beaucoup de fonctionariat.

Avez-vous rencontré des difficultés pour le financement de vos recherches ?

Je n'ai jamais eu de problèmes à ce niveau là. Du moment que l'on avait un projet intéressant, cela marchait toujours.

**8) Dans votre environnement professionnel, y a-t-il plus d'hommes ou de femmes ?
Qu'en pensez-vous ?**

Thierry Moutin



Nous venons justement de recruter une nouvelle collègue femme ! Je pense qu'il y a beaucoup plus de femmes qui arrivent maintenant en océanographie. Pour la mission BOUM, je faisais le compte et il y a plus de femmes que d'hommes ; par rapport aux marins, ça va être amusant ! Mais je pense que c'est très bien ! Pour l'instant, elles

n'occupent malheureusement pas encore beaucoup de postes à responsabilité, ce sont surtout des hommes. Ma collègue en face de moi me dit : ça va venir !

Jozée Sarrazin



Lors de mes premiers embarquements, il y a eu des moments très durs, j'étais entourée d'hommes, certains un peu machistes... j'avais l'impression de ne pas être à ma place... Mais bon, après on réussit peu à peu à faire sa « niche ». Ce n'est pas un milieu facile. La recherche ce n'est pas un milieu facile en soi

et c'est vrai que ce n'était pas évident d'être une femme dans un domaine qui était pas mal réservé aux hommes à l'époque... Ce n'est pas si loin ! C'est vrai que ça ne fait pas longtemps que des femmes ont l'opportunité d'avoir des postes de chef de mission. Même à Ifremer, les cadres sont encore très majoritairement des hommes (70.5%). Par contre, dans les générations montantes, il y a beaucoup plus de femmes. Pendant la campagne MEDECO, il devait y avoir plus de 50% de femmes. C'est vrai aussi qu'il y a plus de femmes en écologie et en biologie qu'en technologie où elles sont encore très peu nombreuses...

Pierre-Marie Sarradin



Je travaille dans un Département de Recherche qui est très riche en femmes. A la limite, la parité voudrait que l'on embauche des hommes ! C'est vraiment une chose à laquelle je ne prête pas attention puisque durant toutes mes études, la parité était pratiquement respectée.

C'est peut-être aussi une question d'époque ? *Ou plutôt de discipline. À Ifremer, les équipes dirigeantes sont en grande majorité composées d'hommes, ainsi que quelques communautés scientifiques comme la communauté technologique mais les domaines de recherche tels que l'écologie et la biologie sont presque dominés par les femmes.*

Lucien Laubier



Il y a de plus en plus de femmes au CNRS, en biologie moléculaire par exemple. Elles s'en sortent très bien, d'ailleurs mes collaboratrices sont des femmes.

9) Un souvenir marquant d'une campagne, d'une étude en particulier ?

Thierry Moutin



La première chose qui me vient à l'esprit, c'est une blague ! C'était au cours d'une mission où l'on étudiait l'influence de la circulation à méso-échelle sur la production biologique. Nous avons fait croire à quelqu'un que nous avons découvert un « spot », un endroit où il y avait une concentration énorme de chlorophylle en Méditerranée. En réalité, nous avons extrait de la chlorophylle d'épinards !*

J'en ai un bon souvenir, c'était drôle ! La personne était persuadée que nous avions découvert quelque chose d'exceptionnel !

Jozée Sarrazin



La sensation la plus forte a été ma première plongée en sous-marin. Quand j'ai commencé ma thèse, j'ai travaillé sur des images vidéo issues de plongées avec des sous-marins téléguidés. La première fois que j'ai plongé sur la cheminée hydrothermale que j'étudiais en images, c'était incroyable ! Je me suis rendue

compte de l'importance de la vision 3D. Le cerveau humain ne donne pas les mêmes sensations en 3D ... On comprend tout, la taille, le relief. Longer la paroi d'un édifice de 12 mètres, jonché de fumeurs à 300°C, c'est tout autre que de regarder des bandes vidéo sans relief. J'avais une idée de ce que cela fait 12 mètres mais ce n'est pas pareil en vrai : quand tu es juste à côté avec le sous-marin et que ça fume de partout ! C'était vraiment chouette ! C'était à bord de quel sous-marin ? Du sous-marin américain « Alvin », en 1994 pendant ma thèse.

Pierre-Marie Sarradin



Ma première plongée en submersible. En effet, j'ai eu la chance de plonger avec « Le Nautille », c'était vraiment l'une des premières grosses émotions de ma carrière à l'étranger !

Lucien Laubier



Ma première grande campagne, en 1969, à bord du Jean Charcot, avec Xavier Le Pichon, en Terre-Neuve. On avait décidé de fonctionner 24 heures sur 24 pour profiter de cette campagne au maximum ; cela n'a pas toujours été facile.

10) Quels sont vos souhaits pour l'avenir de votre discipline ?

Thierry Moutin



Que l'on continue à pouvoir faire des campagnes océanographiques. Cela me paraît indispensable de travailler sur le terrain et d'avoir les moyens de travailler sans que cela soit trop compliqué. Mon souhait, c'est vraiment que les choses deviennent plus simples. Pour l'organisation des campagnes à la mer, le collègue avec qui j'organise

la mission BOUM (Louis Prieur) qui est proche de la retraite et a beaucoup d'expérience, m'a dit que pour la première campagne qu'il avait organisée, il avait envoyé un document de deux ou trois pages. Moi, j'en suis à mon troisième rapport de deux cents pages ! Même s'il y a sûrement une raison à cela, ça devient vraiment compliqué. Mon principal souhait est que l'on passe moins de temps à chercher de l'argent et plus de temps à faire de la Science !

Jozée Sarrazin



Que l'on continue à faire de la recherche sur les grands fonds. C'est essentiel car on va vers une aire d'exploitation des ressources profondes alors qu'on est encore dans la recherche fondamentale qui est indispensable. On ne peut pas déjà exploiter des écosystèmes dont on ne connaît encore presque rien... Surtout, qu'au cours des trente dernières années, on s'est rendu compte que le paysage des abysses était bien différent de l'image que l'on s'en faisait.

Au lieu d'un désert, on sait maintenant que les fonds marins abritent une mosaïque d'habitats, une diversité de modes de vie, d'adaptations... Imaginez que l'on ait tout exploité avant de faire cette découverte... Et puis, c'est un milieu qui fait encore rêver bien des Hommes ...

Pierre-Marie Sarradin



Que l'on arrive à trouver des financements un peu plus facilement. Cela permettrait de repartir sur la « paillasse », de ne pas se transformer simplement en chercheur de budget et de pouvoir continuer à travailler sur le terrain, comme nous avons la chance de le faire dans notre travail.

Lucien Laubier



Que l'écologie soit vraiment une science reconnue. On a souffert de l'amalgame fait entre écologue et écologiste (politique). C'est encore quelque chose de vrai aujourd'hui, même à l'Académie des sciences, je ressens cela, comme si l'inventaire des espèces marines était moins important que d'autres recherches...

Interviews réalisées le 11 et 13 mars 2008,

par Elise Lemonnier, Adjointe à la Responsable Médiathèque de La Cité de la Mer.