

**...17 février 1977**

## **La découverte des sources hydrothermales...**

I.	De l'expédition FAMOUS.....	2
A.	La théorie de la tectonique des plaques.....	2
B.	L'Expédition « FAMOUS ».....	3
II.	... A la découverte des sources hydrothermales .....	4
A.	Objectifs de la mission .....	4
B.	L'équipe.....	5
C.	Les équipements .....	6
1.	Le navire océanographique : Le <i>Knorr</i> .....	6
2.	Le sous-marin <i>Alvin</i> et son navire support <i>Lulu</i> .....	6
3.	ANGUS : Acoustically Navigated Geological Undersea Surveyor .....	7
D.	Déroulement de la mission .....	7
E.	Une découverte extraordinaire qui bouleverse les certitudes scientifiques .....	9
	Glossaire.....	10
	Bibliographie - webographie.....	11

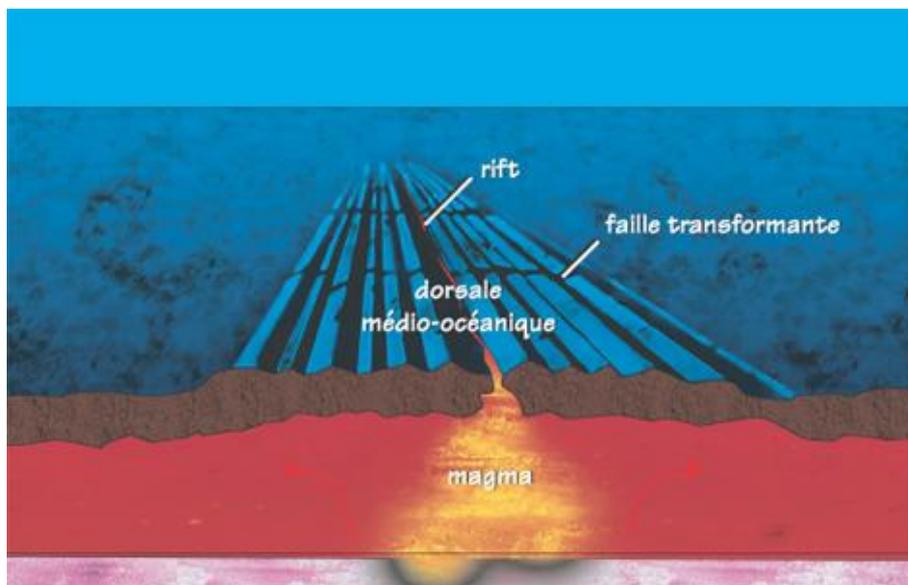
# I. De l'expédition FAMOUS...

## A. La théorie de la tectonique des plaques

En 1960, Hess, s'appuyant sur la théorie de la dérive des continents (Wegener, 1912), prouve l'expansion permanente des fonds océaniques et pose les bases de la tectonique des plaques. L'écorce terrestre est constituée de 12 plaques de quelques dizaines de kilomètres d'épaisseur étroitement imbriquées les unes dans les autres. Dans ce puzzle, on distingue les plaques océaniques, supportant un océan ou une portion d'océan, des plaques continentales.

Ces plaques se déplacent les unes par rapport aux autres à différentes vitesses. Ainsi dans l'Atlantique, l'écartement entre les plaques est et ouest de l'océan est de l'ordre de 7 à 9 cm par an. C'est peu mais cela peut représenter 90 km en 1 millions d'années. En dérivant les plaques ont peu à peu donné aux océans et continents leur forme et leur relief, une histoire que l'on a pu reconstituer jusqu'à 250 millions d'années.

Au fond des océans, traversant les immenses plaines abyssales, les dorsales forment la plus longue chaîne de montagne de la Terre : plus de 60 000 km de long, 3 000 m de haut. Aussi hautes que les Alpes ou les Pyrénées !



Crédit : La Cité de la Mer - Objectif Numérique

Ces dorsales sont en réalité des chaînes de montagnes volcaniques, liées à l'intense activité se produisant aux frontières entre les plaques tectoniques.

Quand les plaques s'écartent, il se crée une fente dans la croûte terrestre dans laquelle la lave en fusion remonte, et s'épanche de part et d'autre, sous forme de bourrelets. On parle d'un processus d'accrétion. Cette nouvelle croûte océanique repousse la croûte plus ancienne symétriquement de part et d'autre. C'est ce bourrelet qui constitue, en refroidissant, le nouveau plancher océanique et ses dorsales, avec au centre une vallée médiane profonde de 10 à 2 000 m, le rift, d'où remonte le magma. La continuité des dorsales est interrompue par des cassures appelées failles transformantes.

Le plancher océanique se comporte comme un gigantesque tapis roulant prenant naissance de part et d'autre d'une dorsale. La vitesse de déroulement du tapis roulant varie de 0,5 cm par an jusqu'à 20 cm par an pour la dorsale Est Pacifique.

Si les plaques s'écartent à certains endroits, elles se rencontrent à d'autres. C'est la fin du tapis roulant : soit la plaque océanique s'enfonce sous le continent (phénomène de subduction) créant de nouvelles failles et de nouveaux volcans, soit elle glisse contre une autre plaque (phénomène d'obduction), donnant naissance aux montagnes et provoquant des tremblements de terre terrestres et sous-marins.

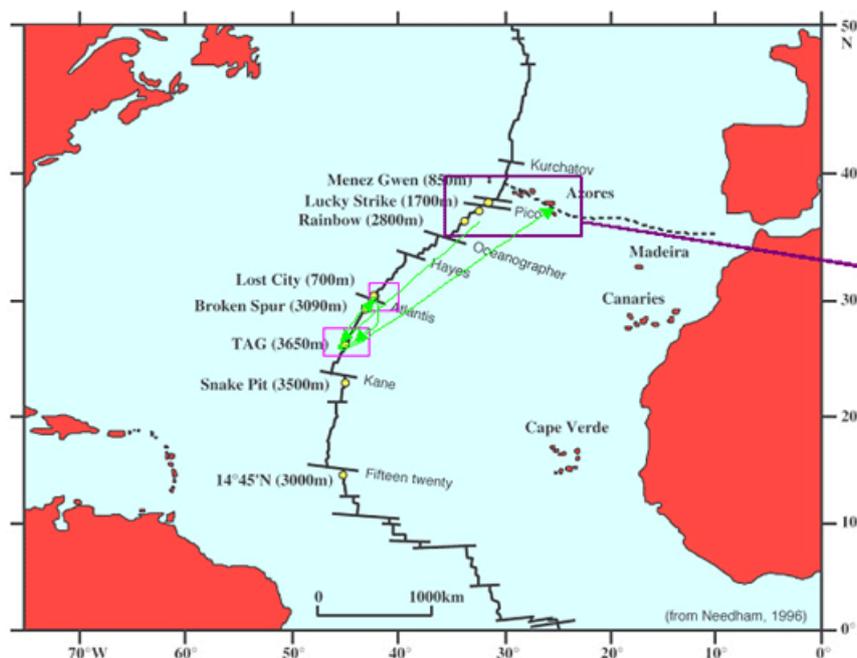
## B. L'Expédition "FAMOUS"

1970. Pour la 1<sup>ère</sup> fois, la France et les Etats-Unis mettent leurs ressources humaines et techniques en commun dans une campagne océanographie : c'est la mission FAMOUS (French-American Mid-Ocean Underwater Survey).

L'objectif de la mission est de vérifier la théorie de la tectonique des plaques, d'identifier les phénomènes qui se produisent aux limites des plaques tectoniques africaine et américaine, et de confirmer le rôle du volcanisme sous-marin dans la construction permanente du fond des océans.

Jusqu'à présent, les scientifiques travaillent à l'aveugle via les études qu'ils réalisent à partir des navires et qui leur donnent une image floue de ce qui se passe au fond des océans. Pour la 1<sup>ère</sup> fois, ils vont se rendre sur place et effectuer des plongées qui ne seront pas liées au hasard mais auront fait l'objet d'une minutieuse préparation. Ainsi, de 1971 à 1973, plus de 20 navires océanographiques américains, français, anglais, allemands et soviétiques vont se relayer pour effectuer sur la zone de nombreux repérages, carottages, relevés bathymétriques, acoustiques, sismographiques...

Cette campagne met également en oeuvre une démarche scientifique nouvelle : un bathyscaphe français (*Archimède*), un sous-marin léger grande profondeur américain (*Alvin*) et un sous-marin habité français (*Cyana*) vont plonger ensemble sur une zone de 100km<sup>2</sup>, à 2600 mètres de profondeur, sur la dorsale médio-atlantique, à 700 km environ au sud des Açores.



Crédit : Ifremer

Le cherbourgeois Xavier Le Pichon, géophysicien, dirige le programme du côté français et rassemble autour de lui une équipe de chercheurs. En particulier, les géophysiciens Jean Francheteau, David Needham, le pétrographe\* Roger Hékinian (CNEXO, ex-Ifremer : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer), le sédimentologue Gilbert Bellaiche, le volcanologue Jean-Louis Cheminée (Centre National de la Recherche Scientifique) et l'universitaire Pierre Choukroune.

Au plan opérationnel, Claude Riffaud, directeur du Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO), dirige l'expédition.

Du côté américain, la Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) se mobilise pour assurer la maîtrise d'œuvre de l'opération, sous la direction du géophysicien Jim Heirtzler.

La WHOI apporte des moyens lourds : le navire océanographique *Knorr*, le submersible *Alvin* et son navire support, le catamaran *Lulu*.

De nombreux scientifiques américains se joignent à Jim Heirtzler : Jim Moore, volcanologue, Bill Bryan, pétrographe\*, Robert Duane Ballard, océanographe et Jerry Van Andel, géophysicien.

Le programme FAMOUS commence en 1970 et s'achève en 1974. Le bilan scientifique est incomparable. Au terme des 51 plongées, les 3 engins vont réaliser 167 prélèvements, ramener 2 tonnes d'échantillons, 23 000 photos et 100 heures de film. Plusieurs années seront nécessaires aux scientifiques pour tout dépouiller !

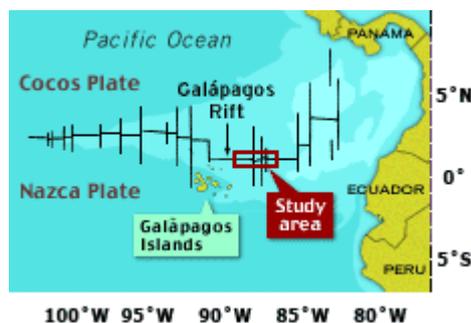
Les chercheurs ont pu, pour la première fois, accéder au plancher océanique, observer et étudier la géologie des limites entre les plaques tectoniques. Ces recherches ont permis d'obtenir une description précise des processus volcaniques et tectoniques sur l'axe des dorsales, ainsi qu'un inventaire des formes du volcanisme sous-marin profond.

**Lors d'une des dernières plongées, le submersible *Cyana* remonte un bloc de manganèse presque pur. Les chercheurs français viennent de découvrir les premiers dépôts hydrothermaux...**

## II. ... A la découverte des sources hydrothermales

### A. Objectifs de la mission

Initiée par la National Science Foundation\*, l'expédition qui concrétisera la découverte des sources hydrothermales débute le 8 février 1977 et dure 7 semaines. Elle a lieu sur la dorsale des Galápagos dans l'océan Pacifique, à environ 1000 kilomètres au sud-ouest du Panama et 300 kilomètres au nord des Iles Galápagos.



Source : <http://www.divediscover.who.edu/expedition9/index.html>

Plusieurs structures américaines participent à cette campagne :

- ✓ Le Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) ;
- ✓ L'Université d'Etat de l'Oregon ;
- ✓ Le Massachusetts Institute of Technology (MIT) ;
- ✓ Le Scripps Institution of Oceanography.

Le choix de cette zone n'est pas lié au hasard. Les études menées à partir de la surface suggèrent que la circulation hydrothermale y est particulièrement développée. Par ailleurs, des changements inexplicables de températures ont été repérés dans cette zone. Les objectifs de cette campagne sont de trouver des preuves d'une activité hydrothermale et d'effectuer des recherches sur la géologie, la géophysique et la chimie de la dorsale.

### **B. L'équipe**

Cette expédition se compose d'une équipe de géologues, géochimistes et géophysiciens. Aucun biologiste à bord : il n'était en effet pas prévu de découvrir une faune exubérante autour des sources hydrothermales...

La liste des personnels embarqués lors de cette campagne n'est pas exhaustive.

<b>Nom</b>	<b>Structure</b>	<b>Fonction</b>
<b>Jerry Van Andel</b>	Université d'État de l'Oregon	Scientifique en chef Géophysicien
<b>Tanya Atwater</b>	Massachusetts Institute of Technology (MIT)	Scientifique en chef Géophysicienne
<b>Robert Duane Ballard</b>	Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI)	<i>Scientist Emeritus</i> département "Applied Ocean Physics & Engineering"
<b>Richard P. VonHerzen</b>	Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI)	<i>Scientist Emeritus</i> département "Geology & Geophysics"
<b>Larry Shumaker</b>	Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI)	Pilote de l' <i>Alvin</i> de 1973 à 1978
<b>Dudley Foster</b>	Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI)	Pilote de l' <i>Alvin</i> depuis 1974
<b>Jack Donnelly</b>		Pilote de l' <i>Alvin</i>
<b>John B. ("Jack") Corliss</b>	Université d'État de l'Oregon	Coordinateur Géologue
<b>Jack Dymond</b>	Université d'État de l'Oregon	Chimiste
<b>John Edmond</b>	Massachusetts Institute of Technology (MIT)	Chimiste
<b>Debra Stakes</b>	Université d'État de l'Oregon	Etudiante de Jack Corliss
<b>Kathy Crane</b>	Scripps Institution of Oceanography	Etudiante
<b>Emerson H. Hiller</b>	Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI)	Commandant du <i>Knorr</i>
<b>Catherine Offinger</b>	Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI)	<i>Research Associate III</i> "Applied Ocean Physics & Engineering"
<b>Pete Petrone</b>	National Geographic	Technicien photo

## C. Les équipements

### 1. Le navire océanographique : Le *Knorr*

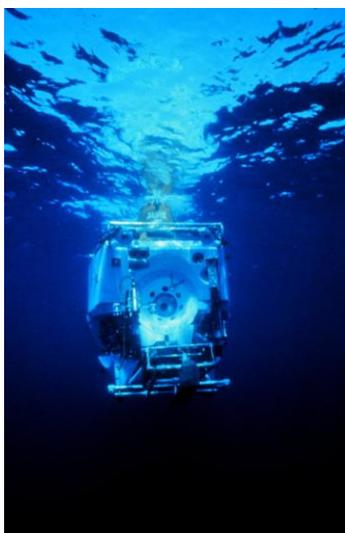
Le navire océanographique *Knorr* appartient à la Marine américaine. Il est exploité par le Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI).

Lancé en 1968, le *Knorr* est livré au WHOI en 1970. Il a parcouru des milliers de kilomètres, effectuant de nombreuses campagnes océanographiques. Il est équipé de systèmes sophistiqués de navigation et de communication.

Pour en savoir plus : [http://www.whoi.edu/marops/research\\_vessels/knorr/index.html](http://www.whoi.edu/marops/research_vessels/knorr/index.html)

### 2. Le sous-marin *Alvin* et son navire support *Lulu*

Financé par la Marine américaine, *Alvin*, du nom de son concepteur Allyn Vine, ingénieur à la Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI), est lancé en 1964. C'est le premier sous-marin léger grande profondeur.



*Alvin*

Credit : OAR/National Undersea Research Program (NURP); Woods Hole Oceanographic Inst.

Capable de plonger jusqu'à une profondeur maximale de 4500 mètres, il peut accueillir 1 pilote et 2 scientifiques.

Jusqu'en 1983, c'est un catamaran répondant au nom de *Lulu* qui met à l'eau l'*Alvin* entre ses coques.



*Alvin* et son navire support *Lulu*, Floride, novembre 1971

Credit : OAR/National Undersea Research Program (NURP)

Pour en savoir plus : <http://www.whoi.edu/marops/vehicles/alvin/index.html>

### 3. **ANGUS : Acoustically Navigated Geological Undersea Surveyor**

ANGUS (Acoustically Navigated Geological Undersea Surveyor) se présente sous la forme d'un traîneau portant 2 caméras de 35 mm, des recharges de pellicules et des projecteurs. ANGUS permet d'enregistrer des images qui sont ensuite développées dans un laboratoire à bord du bateau. Il peut être équipé d'une sonde de température.

Cet outil de reconnaissance a été utilisé durant les campagnes 1973 et 1974 du programme FAMOUS.

#### **D. Déroulement de la mission**

Au cours d'une reconnaissance effectuée sur la dorsale des Galápagos en 1976, l'une des photos réalisées par la caméra traîneau du Scripps Institution of Oceanography montraient des clams blancs autour d'une bouteille de bière, en plein milieu du rift. Personne n'ayant jamais vu de clams à cette profondeur, l'équipe en avait conclu qu'il s'agissait de débris déversés par un navire de passage, et avait appelé le site "Clambake" (littéralement "pique-nique aux palourdes").

Le 15 février 1977, le *Knorr* se trouve à 2 750 mètres au-dessus de la dorsale, une zone d'expansion du plancher océanique beaucoup plus active que celle étudiée lors du programme FAMOUS. Dans cette zone, la plaque des Cocos s'éloigne de la plaque Nazca à raison de 6 cm par an, et les remontées de magma ont créé un paysage accidenté caractéristique composé de coussins de lave.

À 4 mètres au-dessus du fond, la caméra ANGUS, équipée d'une sonde de température, prend des clichés toutes les 10 secondes. Les données de température relevées par ANGUS sont transmises, par un système de signaux acoustiques, aux scientifiques qui travaillent dans le laboratoire situé sur le *Knorr*. Immédiatement, l'équipe s'étonne d'une température anormalement élevée par rapport au 2,5°C qui règne habituellement à cette profondeur.

Dans le laboratoire du navire, l'excitation monte. Il est nécessaire de comparer le pic de température avec la topographie du site filmée par ANGUS. Mais l'équipe doit patienter et attendre que la caméra ait fini ses 12 heures de reconnaissance, qu'elle soit remontée à bord et que la pellicule soit développée.

Le 16 février, à l'aube, Pete Petrone, technicien photo de la National Geographic, installe le film sur le projecteur. L'écran reste brouillé jusqu'à ce qu'apparaissent les images couleurs correspondant au début de l'anomalie. L'équipe est abasourdie : les images révèlent des colonies de clams dans une eau turbide... **la vie est donc possible à cette profondeur !**

Le 17 février, les 2 scientifiques Jack Corliss et Jerry Van Andel embarquent à bord de l'*Alvin*, piloté par Jack Donnelly, pour se rendre sur place (Plongée 713). Le fond est une immense coulée de lave moutonnante, dont la surface vitreuse est recouverte d'une pellicule de sédiments noirâtres. Jack Corliss surveille avec attention les indications de la sonde de température placée dans la corbeille de l'*Alvin*, habituellement prévue pour des échantillons. Les 2 scientifiques veulent établir une courbe de température détaillée à l'approche de la colonie de clams.

"Nous voyons les clams" signale Jerry Van Andel dans l'interphone qui les relie au reste de l'équipe restée sur le *Lulu*.

Les projecteurs de l'*Alvin* illuminent une oasis de vie, d'environ 20 mètres de diamètre. Alors qu'à quelques mètres de là, c'est le désert abyssal !

A l'aide du bras articulé, le pilote insère à l'intérieur d'une fissure la sonde de température, celle-ci indique 16°C, une température bien supérieure à la normale. Des nuages bleus laiteux, suggérant la présence de particules de manganèse et autres minéraux inconnus, s'échappent des fissures.

"Nous sommes sur une cheminée hydrothermale" annonce Jack Corliss.

Cette découverte bouleverse toutes leurs certitudes : le fond de l'océan est considéré, jusqu'alors, comme un vaste désert. Alors que font ici tous ces animaux ?

Différentes espèces vivent en effet dans cet écosystème : des crabes, des moules et des vers géants...

Lorsque l'*Alvin* rejoint la surface au crépuscule, l'équipe a visité 2 autres cheminées hydrothermales, alignées avec la première, et qui grouillaient également de vie. Dans sa corbeille d'échantillons, le submersible a remonté des moules à coquillage chocolat, un énorme clam à chair rouge vif et de petits blocs de lave recouverts d'une écume beige qui doit abriter des colonies de bactéries.

Les jours suivants, l'*Alvin* recueille beaucoup d'autres spécimens et remonte plusieurs litres d'eau de mer prélevée autour des cheminées hydrothermales. Après analyses des échantillons d'eau par le chimiste John Edmond, il s'avère que les eaux baignant ces oasis de vie contiennent un taux incroyable d'hydrogène sulfuré, assez important pour empoisonner la plupart des créatures terrestres. Mais manifestement "Clambake I" (nom donné au site en hommage à l'expédition de 1976) regorge de vie !

Les scientifiques tombent sous le charme de ces sites hydrothermaux et leur donnent des noms évocateurs comme "le banc d'huîtres", "L'allée aux chandelles", "Le Jardin d'Eden", etc.

Il faut rappeler que l'équipe se compose de spécialistes en Sciences de la Terre et non de biologistes marins. Les scientifiques décident donc de contacter par radio le biologiste de la WHOI, Holger Jannasch, afin de lui faire part de leur découverte. Celui-ci leur conseille de conserver les individus prélevés dans des blocs de boue provenant du site, afin de pouvoir analyser la composition organique de la boue. Holger semble ne pas avoir compris, Jack Corliss saisit alors le micro et lui explique : "Il n'y a pas de boue, on est directement sur la lave, sur de la pierre nue." Silence. Puis Holger reprend : "Je ne vois pas comment c'est possible. Il doit y avoir une erreur."

**La découverte des sources hydrothermales et des espèces associées fit l'effet d'une bombe dans le monde de l'océanographie**, bouleversant les certitudes des biologistes. Ceux-ci auront l'occasion de découvrir de leurs propres yeux ces extraordinaires écosystèmes ...

**Cette expédition constitue la première preuve d'hydrothermalisme océanique et pose de nombreuses questions. La 1<sup>ère</sup> étant : comment la vie peut-elle se développer à des milliers de mètres sous la surface de l'eau, dans le noir le plus complet et à des pressions et des températures aussi extrêmes ?**

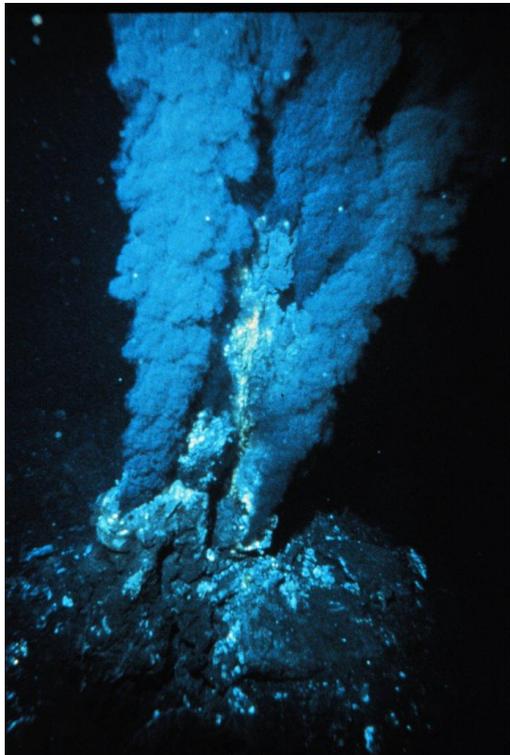
## ***E. Une découverte extraordinaire qui bouleverse les certitudes scientifiques***

### **Sources hydrothermales**

Au cœur du rift, là où les deux plaques s'écartent, les mouvements de la croûte océanique créent un réseau de fissures et de crevasses par où s'infiltré l'eau de mer jusqu'à plusieurs centaines de mètres de profondeur. Elle se réchauffe au contact du magma et se charge de sulfures métalliques.

Sous la pression du magma qui remonte, cette eau surgit à la surface du plancher océanique, tel un geyser sous-marin, à une température de 350°C.

Au contact de l'eau de mer froide, les sulfures contenus dans les eaux se solidifient et s'accumulent pour former des cheminées en forme de termitière. Ces cheminées, les fumeurs noirs, crachent des volutes d'eaux noires et chaudes et croissent sans cesse pouvant atteindre 20 m de haut sur 2 m de diamètre.



Fumeur noir sur la dorsale médio-atlantique

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

30 ans après la découverte des oasis sous-marines, l'une des plus importantes de la biologie marine de la seconde moitié du 20<sup>ème</sup> siècle, le sujet est encore au centre de nombreux débats au sein de la communauté scientifique. Elle ouvre, par ailleurs, des perspectives nouvelles et fantastiques : les abysses sont-elles le refuge d'espèces aujourd'hui disparues sur la terre ferme ? La vie est-elle apparue au fond des océans, au voisinage des sources hydrothermales ?

En 1978, lors de la campagne franco-américaine Rita, le submersible français *Cyana* explore une portion de la dorsale du Pacifique oriental, par 21°N, près de la Basse-Californie, à une profondeur de 2 600 mètres. Les scientifiques découvrent la première source hydrothermale à très haute température (350°C). Un fluide acide et anoxique, chargé de composés toxiques, s'échappe des édifices autour desquels se développe une faune identique à celle des Galápagos. Mais, les scientifiques découvrent également de nouvelles

espèces comme ces curieuses colonies de vers surnommés "vers de Pompéi" qui construisent leurs tubes à proximité immédiate du fluide.

L'étude de ces environnements réserve aux scientifiques d'autres surprises. Il est rapidement apparu que la survie de ces communautés reposait d'abord sur les bactéries, nombreuses dans ces milieux. Le fluide hydrothermal qui jaillit des fumeurs noirs est acide, dépourvu d'oxygène et très riche en sulfures de différents métaux. L'hydrogène sulfuré contenu dans le fluide hydrothermal fournit l'énergie à la vie des bactéries qui vivent en symbiose\* à l'intérieur des cellules de divers invertébrés (vers, bivalves...).

Les missions se succèdent et explorent de nouveaux sites : Pacifique oriental, golfe de Californie, dorsale médio-atlantique, océan Indien...

Une des dernières campagnes océanographiques a eu lieu du 7 août au 6 septembre 2006 sur la dorsale médio-Atlantique, au sud des Açores : c'est la campagne Momareto.

Organisé par l'Ifremer, cette campagne a réuni des chercheurs européens et canadiens. Le navire océanographique *Pourquoi pas ?* et le robot sous-marin télé-opéré *Victor 6000* ont été mis en oeuvre.

Au cours de cette campagne, trois sites hydrothermaux déjà connus ont été étudiés, avec notamment le Victor 6000 : Menez Gwen (profondeur 850 m), Lucky Strike (profondeur 1700 m) et Rainbow (profondeur 2300 m).

Cette campagne s'inscrit dans le cadre du programme international pour le suivi temporel des systèmes hydrothermaux de la dorsale médio-Atlantique et des écosystèmes associés MoMAR (Monitoring the Mid Atlantic Ridge). L'objectif de ce programme est d'installer un observatoire permanent au niveau de la dorsale médio-atlantique des Açores. De nombreuses sources hydrothermales y sont en effet localisées. Une combinaison d'outils déposés sur le fond marin, ou près du fond, réalisera, en continu, différents types de mesures, sur un petit nombre de sites cibles, pendant plusieurs années. Le projet MoMAR vise ainsi à comprendre l'ensemble du processus hydrothermal : comment circule l'eau, jusqu'à quelle profondeur, quels sont les flux chimiques et de chaleur des sources hydrothermales, comment ces flux contribuent-ils à la dynamique et à la chimie globale des océans, comment fonctionnent les écosystèmes chimiosynthétiques des grands fonds, quelles sont leurs ressources en terme de biodiversité, quelles sont les applications potentielles en pharmacie et dans le domaine des biotechnologies ?

**Les connaissances sur les écosystèmes des profondeurs océaniques sont encore limitées. Leur exploration scientifique est indispensable non seulement pour améliorer la compréhension du fonctionnement de ces habitats mais aussi simplement pour en répertorier et en connaître les habitants.**

## Glossaire

National Science Foundation : agence fédérale américaine, créée en 1950, qui soutient des projets de recherche dans divers domaines.

Pétrographe : personne qui étudie et décrit les roches et leur répartition.

Symbiose : Association de deux êtres vivants d'espèces différentes, qui est profitable à chacun d'eux.

## Bibliographie - Webographie

### OUVRAGES EN LANGUE FRANÇAISE

**La grande aventure de l'exploration des océans : de la découverte du Titanic à la recherche des vestiges du déluge** / Robert D. Ballard. - National Geographic, 2001. - 288 p. ; 31x24.

**La vie dans les abysses** / Patrick Geistdoerfer. - Paris : Pour la science, 1995. - 94 p. : ill. en couleur ; 22x14. - (Sciences d'avenir).

**Vingt mille vies sous les mers** / Lucien Laubier. - Paris : Odile Jacob, 1992. - 332 p. ; 24x16.

**La découverte des abysses** / Daniel Reyss. - Paris : Pocket, 1991. - 127 p. ; 18 x 11. - (Explora ; 3594).

**Dans la nuit des abysses : au fond des océans** / Daniel Reyss. - Paris : Gallimard Jeunesse, 1990. - 144 p. ; 18 x 13. - (Découvertes Gallimard / Marc Plocki ; 78. Nature).

**Naissance d'un océan : sur la dorsale du Pacifique Est** / sous la dir. de Jean Francheteau. - Plouzané (Finistère) : Centre National pour l'Exploitation des Océans, 1980. - 84 p. ; 24 x 32.

**Expédition "Famous" : à 3000 mètres sous l'Atlantique**. / Claude Riffaud ; Xavier Le Pichon. - Paris : Albin Michel, 1976. - 272 p. : ill. en noir et blanc ; 24x17.

### OUVRAGES EN LANGUE ANGLAISE

**The eternal darkness : a personal history of deep-sea exploration** / Robert D. Ballard ; avec la collab. de Will Hively. - Princeton (Etats-Unis) : Princeton University Press, 2000. - 388 p. : Ill. en coul. et noir et blanc ; 22x14.

**Handbook of deep-sea hydrothermal vent fauna** / sous la dir. de Daniel Desbruyères, Michel Segonzac. - Plouzané (Finistère) : IFREMER, 1997. - 279 p. ; 30 x 21.

**Explorations : an autobiography** / Robert D. Ballard. - Londres (Grande-Bretagne) : Phoenix Giant, 1996. - 407 p. : Ill. en coul. ; 24x16.

## ARTICLES DE PERIODIQUES

**Campagne Momareto : Explorer la dorsale médio-atlantique** / Dominique Guillot ; avec la collab. de Daniel Desbruyères.

in : Les nouvelles de l'Ifremer. - Issy-les-Moulineaux : Ifremer, 2006. - N° 83 : Campagne Momareto : Explorer la dorsale médio-atlantique (Octobre 2006).

**Voyage au centre de la mer** / Vahé Ter Minassian.

in : L'Express. - Paris : Groupe Express-Expansion, 2006. - (7 août 2006).

**Une vie acide** / Joël Ignasse.

in : Le Nouvel Observateur. - Paris, 2006. - (28 juillet 2006).

**Un mois d'août au fond des mers** / Cécile Dumas.

in : Le Nouvel Observateur. - Paris, 2006. - (4 juillet 2006).

**La dernière frontière** / Salvatore Arico.

in : Planète Science (Bulletin trimestriel d'information sur les sciences exactes et naturelles). - Paris : Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (Unesco), 2006. - ISSN 1815-9729. - Vol. 4, N° 2 : Un risque majeur pour la sécurité (Avril-juin 2006).

**Une source possible de la naissance de la vie** / André Thomas.

in : Le Marin. - Rennes : Infomer, 2006. - N° 3059 : Le commissaire Borg vend l'Europe sur le terrain (24 février 2006).

**Observer la vie animale sous 800 à 2300 m d'eau** / Christophe Blanchard.

in : Sciences Ouest. - Rennes : Espace des sciences, Centre de culture scientifique et industrielle, 2006. - N° 228 : Un nouveau conquérant des océans (Janvier 2006).

**Campagne EXOMAR : comprendre le rôle des microorganismes dans l'écosystème.**

in : Les nouvelles de l'Ifremer. - Issy-les-Moulineaux : Ifremer, 2006. - N° 76 : Programme des moyens navals 2006 : année chargée pour la flotte de l'Ifremer (Janvier 2006).

**Les abysses perdent de leur mystère.**

in : Science et vie. - Paris : Excelsior Publications, 2005. - Hors-série n°233 : L'année de la science : bilan 2005, rendez-vous 2006 (Décembre 2005).

**De nouvelles sources hydrothermales sur le plancher des océans** / Alicia Chang.

in : Le Nouvel Observateur. - Paris, 2005. - (6 décembre 2005).

**La Cité perdue du fond des mers** / Adélie Delacour.

in : La Recherche. - Paris : Financière Tallandier, 2005. - N° 389 : L'hôpital est-il dangereux ? (Septembre 2005).

**La photosynthèse sans soleil** / Cécile Dumas.

in : Le Nouvel Observateur. - Paris, 2005. - (21 juin 2005).

**Plongée au coeur de la "Cité perdue" / Fabienne Lemarchand.**

in : La Recherche. - Paris : Financière Tallandier, 2005. - N° 386 : La téléportation quantique (Mai 2005).

**La chimie, écolo des bactéries des abysses / Raymond Cosquéric.**

in : Ouest France. - 2005. - (29 janvier 2005).

**Nouvelles sources hydrothermales.**

in : La Recherche. - Paris : Financière Tallandier, 2004. - N° 381 : Le hasard et les nombres (Décembre 2004).

**La vie dans les abysses / Julie Krassovsky.**

in : Energies. - Total, 2004. - N° 4 : Les promesses des grands fonds (Mai 2004).

**Dossier Planète bleue - La vie au-delà de la vie / Pierre Grumberg.**

in : Science et vie. - Paris : Excelsior Publications, 2004. - N° 1037 : Planète bleue : à 5000 mètres sous la mer, une autre vie... (Février 2004).

**Les colons des vallées sous-marine / Franck Zal.**

in : La Recherche. - Paris : Financière Tallandier, 2003. - HORS-SERIE 13 : La Terre (Avril 2003).

**Les sources abyssales, berceau de la vie ? / Franck Zal.**

in : La Recherche. - Paris : Financière Tallandier, 2002. - N° 355 : Spécial - La mer (Juillet-août 2002).

**C'était en 1977, à 2500 m de profondeur...**

in : Le journal du CNRS. - Paris : Citizen Press, 2002. - Tiré à part n°150 : Plein phare sur les abysses (Juin 2002).

**Vivre sans lumière / Patricia Chairopoulos.**

in : Le journal du CNRS. - Paris : Citizen Press, 2002. - Tiré à part n°150 : Plein phare sur les abysses (Juin 2002).

**Plongée dans l'extrême.**

in : Le journal du CNRS. - Paris : Citizen Press, 2002. - Tiré à part n°150 : Plein phare sur les abysses (Juin 2002).

**La colonisation des fumeurs hydrothermaux.**

in : Le journal du CNRS. - Paris : Citizen Press, 2002. - Tiré à part n°150 : Plein phare sur les abysses (Juin 2002).

**Un océan de diversité / Carlo Heip.**

in : Biofutur. - Cachan : Editions Lavoisier, 1998. - N° 179 (Juin 1998).

**Les oasis des grands fonds / Fabrice Nodé-Langlois.**

in : Eurêka. - 1996. - Supplément au n°8 : L'univers des abysses (Juin 1996).

**La vie au fond des océans** / Daniel Desbruyères.  
in : Pour la science. - 1993. - N° 192 (Octobre 1993).

**La biologie des grands fonds** / Myriam Sibuet.  
in : Apnéa. - Groupe SOFIMAV, 1992. - Hors-série n°3 : La vie dans les océans de la baleine... au plancton (Juin 1992).

**Un paradis aux portes de l'enfer** / Bernard Michot.  
in : Apnéa. - Groupe SOFIMAV, 1992. - Hors-série n°3 : La vie dans les océans de la baleine... au plancton (Juin 1992).

**La vie à haute température** / Thomas D. Brock.  
in : La Recherche. - Paris : Financière Tallandier, 1988. - N° 198 (Avril 1988).

#### VIDEOS

**Phare 2000, la campagne océanographique** / real. par Jean-François Ternay. - Plouzané (Finistère) : Ifremer, 2002. - Français, 60 mn.

**Séquences hydrothermales** / real. par Olivier Dugornay, Patrick Briand. - Plouzané (Finistère) : Ifremer, 2001. - Français. - (Connaissance et exploration des fonds océaniques).

**Atalante Pacifique, 1999** / real. par Laurent Billard. - Plouzané (Finistère) : Ifremer, 2000. - Français, 52 mn. - (Au Fond des Océans).

**La vie à haute température** / real. par Laurent Maget. - Plouzané (Finistère) : Ifremer, 1997. - Français. - (Connaissance et exploration des fonds océaniques).

#### SITES INTERNET

##### **Ifremer - L'exploration des grands fonds**

Site en français

Ce site décrit les engins sous-marins, libres ou habités, grâce à laquelle une exploration peut avoir lieu. Il donne également un aperçu des principales découvertes réalisées et des enjeux qu'elles comportent. Il vous invite également à "plonger avec le Nautille".

<http://www.ifremer.fr/exploration/>

##### **Ifremer - Département environnement profond**

Site en français

Ce département a pour objectif de contribuer, d'une part, à la connaissance et l'exploration des fonds océaniques par l'étude de la structure et du fonctionnement des écosystèmes profonds ; de développer et de valider, d'autre part, une instrumentation dédiée à l'étude des écosystèmes profonds.

<http://www.ifremer.fr/droep/>

## **Ifremer - Laboratoire de microbiologie des environnements extrêmes**

Site en français

Ce laboratoire hérite de la gestion des collections de microorganismes isolés à partir d'échantillons prélevés en milieux extrêmes. Il est, à ce titre, l'un des laboratoires au monde à disposer d'une telle collection, l'objectif étant de valoriser son potentiel biotechnologique.

<http://www.ifremer.fr/drvvpmbbe/page/otrpagfr/accueil.htm>

## **La Cité de la Mer – Dossier documentaire "Des bactéries qui n'ont pas froid aux yeux"**

Site en Français

Les premières observations d'espèces thermophiles (espèces adaptées aux hautes températures) sous-marines eurent lieu en 1977 et 1978 lors de campagnes océanographiques américaines et françaises sur la ride Est-Pacifique. Les scientifiques ont découvert des écosystèmes hydrothermaux sous-marins à plus de 2500 mètres de profondeur.

[http://www.citedelamer.com/fr/ocean\\_connaissance/mediatheque/Dossiers\\_documentaires/Bacteries/default.asp](http://www.citedelamer.com/fr/ocean_connaissance/mediatheque/Dossiers_documentaires/Bacteries/default.asp)

## **MoMAR - Monitoring the Mid Atlantic Ridge**

Site en Français

Momar est un programme international pour le suivi temporel des systèmes hydrothermaux de la dorsale médio-Atlantique et des écosystèmes associés. L'objectif de ce programme est d'installer un observatoire permanent au niveau de la dorsale médio-atlantique des Açores.

<http://www.momarfr.org/>

## **Campagne Momareto**

Site en Français

La campagne Momareto (07/08/2006 au 06/09/2006) est menée dans le cadre du programme international MoMAR (Monitoring the Mid Atlantic Ridge).

Avec le robot télé-opéré Victor 6000, trois sites hydrothermaux déjà connus seront visités : Menez Gwen (profondeur 850 m), Lucky Strike (1650 m) et Rainbow (2300 m). L'objectif : valider de nouveaux outils pour l'observation de la biodiversité des grands fonds et étudier la dynamique des écosystèmes hydrothermaux.

<http://www.ifremer.fr/momareto/>

## **Adaptation aux milieux extrêmes**

Site en français

Ces pages ont été réalisées par l'équipe du laboratoire "Adaptation aux milieux extrêmes (AMEX)" qui dépend du Centre National de la Recherche Scientifique, de l'Institut de Recherche pour le Développement, du Muséum National d'Histoire Naturelle et de l'Université Pierre et Marie Curie. Des informations sont données sur les sources hydrothermales, la faune qui y vit et leurs caractéristiques (résistance au stress thermique ; reproduction et développement ; ...)

<http://amex.snv.jussieu.fr/fichiers/intro.htm>

## **Le laboratoire Juniper**

Site en français

Le laboratoire Juniper (du nom du directeur du laboratoire et du centre de recherche GEOTOP) fait partie du centre de recherche GEOTOP (Centre de Recherche en Géochimie et en Géodynamique) et de l'Université du Québec à Montréal. Sur ce site, vous trouverez des informations sur les sources hydrothermales (définition, historique, localisation, faune, ...).

<http://www.unites.uqam.ca/juniper/>

## **Futura Sciences**

Site en français

Découvrez un dossier sur les abysses réalisé par un chercheur de l'Ifremer, spécialisé dans les écosystèmes hydrothermaux profonds.

Un dossier sur "la vie dans les abysses" a été réalisé pour le site Internet de vulgarisation scientifique Futura Sciences. Destiné à un public large mais curieux de science, il décline le milieu abyssal sous différents aspects : moyens pour y accéder, phénomènes chimiques, description de la faune, hypothèses sur l'origine de la vie...

<http://www.futura-sciences.com/comprendre/d/dossier458-1.php>

## **Chess - Biogéographie d'écosystèmes chimiosynthétiques profonds**

Site en français

Chess est un projet pilote du programme Recensement de la Vie Marine (Census of Marine Life, (CoML)). L'objectif principal de Chess est de déterminer la répartition biogéographique des écosystèmes chimiosynthétiques profonds (sources hydrothermales et sources froides) à une échelle globale et de comprendre les processus qui dirigent le fonctionnement de ces écosystèmes. Deux axes de recherche sont privilégiés : Chess suivra deux axes de recherche: la création d'une base de données (ChessBase) géo- et bio-référencée pour espèces de systèmes chimiosynthétiques et le développement d'une phase d'exploration à long terme pour la localisation de nouveaux sites chimiosynthétiques.

<http://www.soc.soton.ac.uk/chess/>

## **Woods Hole Oceanographic Institution – Marine operations**

Site en anglais

Ce site donne des informations sur les navires et engins de plongée (caractéristiques techniques, histoire...). Vous pouvez également accéder à la liste des campagnes effectuées par l'*Alvin* (thème, équipe, données techniques, photographies...).

<http://www.whoi.edu/marops/>

## **Geology 105 Oceanography online web site**

Site en anglais

Le professeur de géologie, Don Reed, de l'Université de San José présente la campagne réalisée sur la dorsale des Galápagos en 1977.

[http://oceansjsu.com/105d/exped\\_dive/10.html](http://oceansjsu.com/105d/exped_dive/10.html)

## **Venture Deep Ocean**

Site en anglais

L'équipe de "Venture Deep Ocean" étudie les fonds sous-marins du bassin de Lau - une zone volcanique située entre les îles Fidji et les îles Tonga -, dans le sud de l'océan Pacifique. Financée par la National Science Foundation\* (Etats-Unis), cette expédition est composée de géologues, d'océanographes, de biologistes... Leur objectif : mieux connaître l'écosystème des sources hydrothermales.

<http://www.venturedeepocean.org>

### **Dive and discover : expeditions to the seafloor**

Site en anglais

Ce site a été réalisé par le Woods Hole Oceanographic Institution. Il donne accès à certaines expéditions océanographiques effectuées sur les sources hydrothermales de 2000 à 2005. Il présente également des dossiers sur l'histoire de l'océanographie, sur le fonctionnement des sources hydrothermales,...

<http://www.divediscover.whoi.edu/>

### **American Museum of Natural History Expeditions - Black smokers**

Site en anglais

Ce site réalisé par l'American Museum of Natural History Expeditions donne des informations sur les fumeurs noirs (animations, jeux, vidéos, photos).

[http://www.amnh.org/nationalcenter/expeditions/blacksmokers/black\\_smokers.html](http://www.amnh.org/nationalcenter/expeditions/blacksmokers/black_smokers.html)

### **Pacific Marine Environmental Laboratory - Vents program**

Site en anglais

Programme étudiant les impacts et les conséquences sur l'océan de la présence de volcans sous-marins et de sources hydrothermales.

<http://www.pmel.noaa.gov/vents/>

### **Lost City Expedition**

Site en anglais

Carnet de l'expédition "Lost city" en 2003.

"Lost city" ("Cité perdue") est le nom donné par l'équipe internationale au site hydrothermal qu'ils ont découvert en 2000, au milieu de l'Atlantique. "Lost city" est unique car elle se trouve à la surface d'un massif dont les roches proviennent du manteau terrestre. Les autres sources hydrothermales découvertes auparavant se situaient plutôt sur des dorsales océaniques, zones de production de plaques tectoniques. En 2003, une nouvelle mission est retournée sur les lieux pour étudier cet écosystème où la vie aurait pu apparaître. En effet, "Lost city" pourrait être très proche des environnements hydrothermaux présents sur la Terre primitive, il y a entre 4 et 2,5 milliards d'années.

<http://www.lostcity.washington.edu>