

Session 7 : Observation des océans par submersible

UTILISATION DES SUBMERSIBLES EN BIOLOGIE ET EN ECOLOGIE
ABYSSALE

UTILISATION OF SUBMERSIBLES IN DEEP-SEA BIOLOGY

A.M. Alayse-Danet et les chercheurs, ingénieurs et techniciens d'IFREMER
DRO/EP, DITI/ICA, DITI/VSI et GENAVIR/SAE

IFREMER - Centre de Brest - BP 70, 29280 PLOUZANE

Avec la mise à disposition, auprès des océanographes, de submersibles maniables tels que Cyana et le Nautille, les programmes d'écologie abyssale ont pris un nouvel essor car il était enfin possible avec ces engins de réaliser des études de physiologie et de biochimie *in situ* ou à bord en particulier sur des animaux de la mégafaune benthique récupérés vivants. Ceux-ci ont aussi permis de mener des études dans des zones très chaotiques et/ou présentant des micro-environnements nécessitant de travailler au centimètre près telles que les écosystèmes hydrothermaux. Pour réaliser ces travaux il a été nécessaire de développer des engins de prélèvements (pinces, bouteilles, aspirateur, ventouses, panier isotherme, pièges à particules, etc ...), de mesures (sondes de température) et d'incubation *in situ* (carottier à injection, enceintes de marquage). Ces nouvelles voies d'études ont démarré il y a une dizaine d'années, nous ferons le point sur les engins développés pendant cette période pour les deux submersibles français. Les systèmes qu'il faudrait acquérir ou développer, en particulier en ce qui concerne la caractérisation physico-chimique *in situ* du milieu ainsi que l'intérêt d'utiliser des systèmes téléopérés (ROV) à la place des submersibles habités seront discutés.

With the advent of deep submergence research vessels (DSRVs) biological and ecological studies of ocean deeps have made great strides. Especially these submersibles allowed to conduct physiological and biochemical experiments on benthic fauna directly on the bottom or on board with alive retrieved animals. A second great interest is the possibility to work in chaotic areas and on micro-environments. Without DSRVs most of measurements and observations obtained on hydrothermals vents would had been impossible. But when biologists began to work on these programs no adequate devices existed, thus around 10 years they designed pincers, slurp guns, insulated coffins, bottles, particle traps, different types of incubation chambers..., in cooperation with technological and submersible crews. We will present the different equipment designed for the two French DSRVs used during the cruises conducted by the Departement "Environnement Profond" de l'IFREMER to study hydrothermal and "normal" deep-sea ecosystems. We will discuss the new devices required to progress especially in knowledge of physico-chemical properties of micro-environments and the interest to use remotely operated tethered unmanned vehicles (ROV) instead of DSRVs.

UTILISATION DES SUBMERSIBLES EN BIOLOGIE ET EN ECOLOGIE ABYSSALES

par

A.M. Alayse-Danet et les chercheurs, ingénieurs et techniciens d'IFREMER-DRO/EP¹,
DITI/ICA¹, DITI/VSI² et GENAVIR/SAE³

- 1 - IFREMER - Centre de Brest - BP 70, 29280 PLOUZANE
- 2 - IFREMER - Centre de Toulon - BP 330, 83507 La SEYNE CEDEX
- 3 - GENAVIR - Centre de Toulon - BP 330, 83507 La SEYNE CEDEX

INTRODUCTION

Alors que les biologistes français ont plongé avec les bathyscaphes (FNRS II et Archimède) dès le début de leur utilisation (Pérès, 1982, Laubier et *al*, 1987 et Reyss, 1990), ce n'est qu'en 1982 qu'ils ont travaillé avec la soucoupe plongeante Cyana, en Mars tout d'abord pendant la campagne BIOCYATHERM puis en Juin pendant la campagne BIOCYAN 1. La première de ces deux campagnes était consacrée à l'étude de la faune associée aux émissions de fluides hydrothermaux sous-marins et la seconde à l'étude des phénomènes biologiques intervenant à l'interface eau-sédiment dans les zones abyssales sédimentaires. Dans les zones hydrothermales, l'utilisation d'un tel submersible est indispensable pour décrire les peuplements qui les colonisent, y prélever des échantillons, y réaliser des mesures physico-chimiques ou y effectuer des expériences *in situ* car ces zones présentent des reliefs très accidentés et la distribution des émissions de fluides et de la faune associée y est trop ponctuelle (surfaces colonisées de l'ordre de quelques m² à la centaine de m², composition des fluides et de la faune associée variant selon de forts gradients de l'ordre de quelques cm) pour être étudiée avec des engins manipulés de la surface et travaillant en aveugle. Dans le cas des zones abyssales non hydrothermales qui ont déjà fait l'objet de travaux avec des engins tels que des dragues, des chaluts ou des caméras tractées sur le fond, l'utilisation des submersibles a permis de lancer de nouvelles études, en particulier de physiologie et de métabolisme, mais aussi de mettre en évidence des phénomènes de détail en particulier au niveau de la micro-distribution des peuplements et des particules accumulées sur le fond. En outre, ces sous-marins permettent d'étudier plus facilement des falaises ou des faciès rocheux.

En 1981 quand les projets de campagnes ont été déposés aucun outil de prélèvement n'était disponible. Pour BIOCYATHERM, une pince adaptée au prélèvement des animaux avait été conçue mais pour les remonter en surface c'est une simple poubelle qui a été utilisée. A cette époque les biologistes américains avaient déjà effectué des campagnes avec l'Alvin aussi bien en milieu sédimentaire (Jannash and Wirsén, 1973) qu'en zone hydrothermale (Galapagos Biology Expedition Participants, 1979) et développé un certain nombre d'outils auxquels nous nous sommes en partie référés pour faire réaliser des engins adaptés à nos propres projets de recherche et aux sous-marins français.

Dans un premier temps, nous avons utilisé Cyana mais, compte-tenu de sa faible capacité d'emport il a fallu construire une navette autonome pour transporter les outils sur le fond. Cette navette constituée de deux tiroirs de 1 m² de surface permet de transporter 60 kg d'équipement (poids dans l'eau) entre la surface et le fond et vice versa. Par la suite, nous avons plongé avec le Nautile dont le principal avantage dans le cadre de nos travaux est sa plus grande capacité d'emport autorisant la fixation sur sa charpente, d'un certain nombre d'outils et donc de se dispenser pour certaines opérations d'utiliser la navette autonome et ainsi de consacrer plus de temps aux manipulations proprement dites.

1) OBSERVATION DES ECOSYSTEMES ABYSSAUX

L'utilisation première des submersibles habités a été l'observation directe sur le fond par le scientifique embarqué, ce rôle demeure primordial ainsi que l'observation indirecte à partir d'images photographiques et vidéoscopiques. Le dispositif de prises de vues actuellement en place sur les deux sous-marins français n'est pas encore satisfaisant : si les images vidéo ont nettement été améliorées avec l'acquisition de caméras 3CCD, par contre le nombre d'images photographiques utilisables est nettement insuffisant parce que les expositions et les mises au point sont très souvent incorrectes, aucun réglage de ces paramètres n'étant accessible pendant les plongées. Il faudrait pouvoir disposer de flashes asservis et d'un appareil photo automatique avec autofocus et zoom et le relier à un viseur vidéo pour contrôler les prises de vues. En outre, il serait nécessaire que les images soient stockées et archivées pour informatiser leur exploitation qualitative et quantitative. Un autre inconvénient majeur du système est la difficulté d'en extraire les informations nécessaires à l'établissement des cartes des zones explorées et à l'estimation des biomasses. Pour résoudre ce problème il faudrait disposer d'un système permettant d'estimer sur le fond des distances entre différents amers et d'un système vidéo ou photogrammétrique.

Pour la cartographie, les biologistes américains utilisent une caméra orientée verticalement, celle-ci a donné des résultats satisfaisants sur le site des Galapagos mais un tel système est difficilement utilisable dans les zones très tourmentées telles que celles où nous travaillons car il est impossible d'y maintenir le submersible à la même altitude pendant des transects. Pour estimer la taille des animaux ils ont tenté d'utiliser une caméra stéréo mais comme il n'existe pas, actuellement, de système de traitement de données opérationnel les images obtenues sont difficilement exploitables.

Au cours de la dernière campagne d'essais du Nautilé, un distancemètre développé par la société norvégienne Seatex a été testé, il permet de mesurer par acoustique la distance entre un objet et le centre de l'image prise par une caméra associée, le pointage de la cible étant effectué à l'aide d'un rayon laser. Un calculateur permet d'estimer au fond ou en surface la tailles des objets pointés. Ce système semble être un moyen apte à résoudre, après adaptation entre autre au travail en grande profondeur, nos problèmes de cartographie et d'estimation de biomasses.

Suivi de l'évolution des sites

Un aspect particulièrement intéressant en écologie est de pouvoir suivre l'évolution des écosystèmes, pour cela il faut acquérir des images de bonne qualité mais aussi pouvoir disposer sur le fond de repères incontestables. Un tel marquage pourra être obtenu facilement pendant les prochaines campagnes avec le distributeur de marques qui vient d'être construit sur le même principe de fonctionnement que celui de l'Alvin. Il est constitué d'un moteur électrique qui entraîne une vis sur laquelle sont fixés 6 marqueurs composés d'une plaque en ertafluor lesté et d'un flotteur en mousse syntactique.

2) PRELEVEMENTS

Deux grands types de prélèvements doivent pouvoir être réalisés dans le cadre des études d'écologie : les organismes d'une part, des bactéries à la mégafaune et le milieu qui les environne d'autre part, qu'il soit liquide ou solide. Pour les bactéries aucun type spécifique de prélèvements n'a été développé (sauf le multiprélèvement sous pression), elles sont isolées en surface à partir des différents types de prélèvement.

OUTILS POUR PRELEVER LES ORGANISMES

- **La pince à godets** : cette pince composée de deux godets métalliques d'un volume d'environ 3l chacun permet de capturer pratiquement tous les organismes de la mégafaune fixée ou peu mobile (vestmentifères, bivalvès, gastéropodes échinodermes ...).

- **Les aspirateurs** : deux aspirateurs sont disponibles, ils sont constitués d'un groupe moto-pompe hydraulique, d'un tuyau d'aspiration et intercalé entre ceux-ci d'un collecteur de 20l pour Cyana et de six collecteurs en plastique de 1,2l pour le Nautile. Ces six collecteurs sont permutés par rotation par un système de pignon crémaillère actionné par un vérin. Ces aspirateurs sont plus particulièrement utilisés pour récolter des organismes mous et/ou de forme allongée tels que les holothuries, les poissons ou les crevettes.

- **La ventouse** : la ventouse est constituée d'une ventouse en caoutchouc raccordée par un tuyau à une pompe, elle convient pour prélever des organismes portant une carapace relativement lisse tels que certains crabes.

La ventouse et l'aspirateur présentent l'avantage de ne pratiquement jamais détériorer les animaux prélevés, ce qui n'est pas toujours le cas avec la pince à godets.

- **Les nasses à crustacées ou à poissons** : ces nasses sont des adaptations de celles utilisées en pêche cotière.

- **Paniers de récolte.**

Une fois capturés ces animaux doivent pouvoir être remontés en surface en limitant les variations de température pour maintenir en vie le maximum d'organismes afin de réaliser en surface des expériences de physiologie ou de métabolisme. Avec Cyana nous utilisons des boîtes de 20 l en plexiglass remontées par la navette autonome et avec le Nautile un panier isotherme de 200 l en résine époxy et tissus roving fermé par un couvercle bloqué par un vérin. Ce panier présente plusieurs avantages par rapport aux boîtes de 20 l : possibilité de remonter des animaux de grande taille comme les Riftia, gain de volume, gain de temps puisqu'il est fixé sur le sous-marin ; en outre il possède une meilleure qualité isothermique. Par contre, comme il est fixé légèrement sous le sous-marin et qu'il s'ouvre par rotation autour d'un axe situé au niveau du bras gauche, la zone, proche de cet axe, n'est pas visible et difficile d'accès. Ceci limite donc son utilisation pour le transport d'outils à la zone accessible. Pour améliorer l'accessibilité du panier, il faudrait concevoir son ouverture de manière à ce qu'il reste dans l'axe du sous-marin.

PRELEVEURS D'EAU ET DE FLUIDES

Les préleveurs actuellement disponibles pour travailler avec les sous-marins ont été conçus au départ pour travailler dans les zones hydrothermales, c'est à dire qu'ils ont été étudiés pour faire des prélèvements le plus ponctuels possible.

- "**bouteilles titane**" et "**plastique**" : ces deux bouteilles sont basées sur le principe de la seringue. En surface, le piston est enfoncé dans le corps de la bouteille et maintenu jusqu'au moment du prélèvement par un ressort. Au fond, le relâchement du ressort est réalisé par l'intermédiaire d'un vérin fixé sur la pince gauche du sous-marin. Ces bouteilles contiennent 1l et sont munies d'une canule de prélèvement qui peut être rincée par le fluide avant le déclenchement. Les bouteilles "**titane**" ont été développées à la demande des géochimistes du département "Géologie" de l'IFREMER, elles permettent de prélever les fluides les plus chauds alors que les bouteilles plastiques ne peuvent être utilisées que pour les eaux environnant les organismes. Les bouteilles peuvent être transportées soit dans le panier isotherme (au maximum 2), soit dans la navette autonome.

- "**multi-préleveur sous-pression**" : ce préleveur est lui aussi basé sur le principe de la seringue, il permet de remonter en surface 6 échantillons de 50 ml (réalisés simultanément) sous-pression. Un accumulateur à ressort permet de maintenir au cours de la remontée, la pression constante. En surface des traceurs peuvent être additionnés sous-pression et chacune des bouteilles peut être portée à haute température (jusqu'à 200°C) avec maintien de la pression par une centrale hydraulique.

- "**aspirateur multi-prélèvements**" : cet aspirateur comporte une pompe hydraulique et 6 bouteilles en titane de 1,2 l. Contrairement à l'aspirateur à barillet, ce ne sont pas les bouteilles qui tournent pour effectuer les prélèvements successifs mais c'est une came qui écrase les tuyaux correspondant aux bouteilles qui ne doivent pas être remplies. L'embout de prélèvement est fixé sur le bras droit du submersible en parallèle d'une sonde de température. Au départ, les bouteilles sont remplies d'eau distillée qui peut être stérilisée et déoxygénée. En surface, les bouteilles peuvent être vidées à l'abri de l'oxygène dans une enceinte anaérobie sous un flux d'azote.

- les préleveurs type "**seringue**" présentent l'avantage, par rapport à celui par pompage, de réaliser les prélèvements dans des bouteilles vides au départ et donc sans risquer de contaminer le prélèvement en cours par les échantillons précédents. Par contre, l'aspirateur étant directement fixé sur le sous-marin avec l'embout en permanence sur le bras est plus commode et plus rapide d'emploi. Pour chaque prélèvement il faut compter 5 minutes de pompage alors que pour mettre en oeuvre une bouteille "titane" il faut compter 15 à 60 minutes suivant qu'elles sont transportées dans le panier isotherme ou dans la navette autonome.

PRELEVEMENT DE SEDIMENT

Des carottiers tubes manipulables par les sous-marins ont été développés, 2 diamètres intérieurs sont utilisés suivant la cohésion du sédiment 53 et 36 mm (Sibuet *et al.*, 1990).

PRELEVEMENT DE PARTICULES

Trois modes de prélèvement sont utilisés. Dans le premier, l'eau ou les fluides prélevés ponctuellement sur le fond sont filtrés en surface, dans le second à la place d'une bouteille et de l'aspirateur, on intercale un support filtre et un filtre et dans le troisième les particules sont récoltées. Un piège à particules type "entonnoir" a été adapté pour être transporté par le sous-marin à différentes distances des sites hydrothermaux (Khripounoff and Alberic, sous presse).

3) MESURES IN SITU DES CONDITIONS ABIOTIQUES

Le facteur abiotique le plus accessible est la température, mais actuellement la chaîne de mesure (sonde bout de bras) disponible sur le Nautille présente deux inconvénients : l'absence de calibration et l'absence d'enregistrement des données. Au sein de notre département une chaîne de mesure est à l'étude mais il serait souhaitable qu'elle soit intégrée au sous-marin et qu'en particulier l'acquisition des données soient réalisées au niveau de la centrale d'acquisition afin de pouvoir les rejouer avec les autres paramètres enregistrés et les incruster sur la bande vidéo.

Outre la température, il faut pouvoir mesurer sur le fond d'autres facteurs abiotiques (oxygène, sulfures, sels nutritifs ...), en particulier dans les zones hydrothermales pour décrire les gradients dans lesquels vivent les organismes. Une telle description permettrait, entre autre, d'optimiser les milieux de culture destinées à isoler les bactéries. Un système a été conçu par K.JOHNSON (1986) " le scanner", il est basé sur l'utilisation d'une sonde polarographique pour l'oxygène et des analyses colorimétriques en flux contenu par les autres composés. Avec ce système, il est possible de travailler au cm près et d'obtenir un grand nombre de données, pendant la première campagne scientifique "Galapagos 85" il a permis de réaliser 10 000 mesures *in situ* alors qu'il n'a pas été fonctionnel à 100 %, avec notre aspirateur nous aurions obtenu au maximum 114 prélèvements. Un système équivalent devrait être réalisé pour travailler avec le Nautil. Au cours d'HYDRONAUT, la sonde de pH développée par Distèche (1964) a été testée, les résultats obtenus ont montré qu'il était possible de l'utiliser dans les zones hydrothermales. Cette sonde pourrait intégrer à un système type "scanner".

La mesure de température ponctuelle n'est pas suffisante, il faut aussi effectuer des suivis temporels de ce facteur. Une centrale autonome "T Hydro" a été développée pour suivre parallèlement en quatre points d'un site l'évolution de la température (Chevaldonné et al., soumise). Quatre sondes sont raccordées par des cables de 20 m à une centrale d'acquisition programmable pour enregistrer des mesures entre 1 et 7 jours à des cadences modulables suivant les variations mesurées sur le fond (une brusque augmentation déclenche une augmentation de la cadence).

4) MESURES DE METABOLISME IN SITU

Pour estimer des taux métaboliques chez des organismes abyssaux, il faut pouvoir réaliser des expériences *in situ*. Pour certaines espèces résistant à la remontée, des expériences peuvent être menées en surface dans des enceintes sous-pression, mais il est impossible d'estimer l'impact de la remontée sur les taux métaboliques ainsi mesurés. Les expériences en enceinte sous-pression sont par contre une méthode de travail intéressante pour rechercher les voies métaboliques. Actuellement, nous nous sommes orientés principalement sur le développement d'expériences *in situ* basées principalement sur le suivi de molécules marquées par des radioéléments. Pour cela il a fallu concevoir d'une part des systèmes pour isoler les organismes et d'autre part un système pour injecter les molécules marquées.

Pour isoler les animaux, différentes enceintes ont été construites selon les types d'étude à réaliser. Pour étudier la nutrition d'organismes tels que les holothuries, ce sont des enceintes sans fond qui ont été utilisées afin que les animaux restent sur le sédiment ; par contre pour les autres expériences avec de la mégafaune, ce sont des enceintes totalement closes qui ont été fabriquées. Pour vidanger l'excès de molécules marquées à la fin de l'incubation, 2 types de chasse ont été développés, la première par ouverture de volets situés sur les côtés des enceintes et la seconde par aspirations par l'intermédiaire d'une pompe fixée sur le sous-marin et d'un tuyau dont l'embout est connecté sur le dessus de l'enceinte.

Ce système de pompage peut aussi être utilisé pour introduire dans l'enceinte avant le début de l'incubation de l'eau environnant les animaux prélevés. Cette possibilité est plus particulièrement intéressante dans les zones hydrothermales où il est quelques fois impossible de déposer les enceintes d'incubation dans le milieu correspondant aux organismes étudiés (cas des Alvinellidae sur les parois de fumeur).

Pour travailler sur l'activité bactérienne des eaux du fond, on peut utiliser les bouteilles "plastique" décrites précédemment, par contre pour le sédiment des carottiers spécifiques de section rectangulaire obturables par des lames ont été conçus (Sibuet et al., 1990).

En ce qui concerne l'injection, un seul type de module est utilisé avec ces différentes enceintes, il s'agit d'une seringue de type médical de 50 ml jetable fixée sur un support retenant le piston jusqu'à son déclenchement par le sous-marin.

Les premières expériences réalisées avec ces équipements ont permis d'obtenir un certain nombre de résultats qualitatifs (Alayse-Danet et al., 1985 ; Cahet et Sibuet, 1980). Mais ces expériences ayant été effectuées en milieu confiné et sans contrôle du milieu d'incubation, en particulier de la variation de la teneur en oxygène, les résultats ont du être interprétés avec précautions (Alayse-Danet et al., 1986).

Pour poursuivre des expériences de métabolisme et de physiologie *in situ*, il faut développer une nouvelle génération d'enceintes d'incubation avec contrôle d'un certain nombre de paramètres. Pendant Hydronaut, une enceinte thermostatée a été testée. Elle comportait 4 sous-enceintes permettant de réaliser 4 incubations différentes en parallèle, un système de thermostatation, des modules d'injection et un système de vidange contrôlés par une horloge. Aucune expérience n'a pu être menée à son terme pendant cette campagne mais cet essai a permis de démontrer la faisabilité d'incubations en milieu contrôlé.

CONCLUSION

En moins de 10 ans, un grand nombre d'outils a été réalisé grâce à la coopération qui s'est établie entre les équipes de recherche et les équipes techniques de l'IFREMER et de GENAVIR. Ces outils ont rendu les sous-marins plus performants en diversifiant leur activité sur le fond. Dans le domaine des prélèvements, les résultats ont été très positifs, maintenant les efforts doivent porter principalement sur les mesures *in situ* des facteurs abiotiques et les études de physiologie et de métabolisme *in situ* et se poursuivre dans le domaine de l'imagerie (qualité des images et traitement).

Actuellement un nouveau mode d'accès au grand fond se développe : le ROV. D'après les premiers essais réalisés avec le ROV canadien HYSUB 40-5000, il apparaît qu'un certain nombre d'opérations pourraient être menées avec ces types de véhicule tel que l'exploration à moyenne échelle (la dizaine de km) ainsi que certaines expériences en milieu abyssal sédimentaire. Par contre, en milieu hydrothermal, leur utilisation semble difficile car la laisse qui les relie à leur cage risque d'être très encombrante dans des zones au relief perturbé. En outre même si la qualité des images remontées en surface est de bonne qualité, les observations que l'on peut réaliser à partir de celles-ci ne sont pas aussi performantes que celles que peut effectuer un observateur sur le fond.

BIBLIOGRAPHIE

ALAYSE-DANET A.M., GAILL F. and DESBRUYERES D., 1985 : Preliminary studies on the relationship between the Pompeii worm. *Alvinella pompejana* (Polychaeta : ampharetidae) and its epibiotic bacteria. In : PE GIBBS (Ed), Proceedings of the 19th European Marine Biology Symposium, Plymouth, 1984. Cambridge University Press : 167-172.

ALAYSE-DANET A.M., GAILL F. and DESBRUYERES D., 1986. *In situ* bicarbonate uptake by bacteria *Alvinella* associations. In : Marine Ecology, 7 (3) ; 233-240.

CAHET G. and SIBUET M., 1986. Activité biologique en domaine profond : transformations biochimiques *in situ* de composés organiques marqués au carbon-14 à l'interface eau-sédiment par 2 000 m de profondeur dans le Golfe de Gascogne. In : Marine Biology, 90, 307-315.

CHEVALDONNE P., DESBRUYERES D. and LE HAITRE M. Time series of temperature from three deep sea hydrothermal vent sites. Soumise à Deep Sea.

DISTECHE A. 1964. Nouvelle cellule à électrode de verre pour la mesure directe du pH aux grandes profondeurs sous-marines. Bulletin de l'Institut Océanographique, vol 64, n° 1320, 10 p., 3 fig.

JANNASH H.W. and C.O. Wirsen, 1973 : Deep sea microorganisms : *in situ* response to nutrient enrichment. Science 180, 641-643.

JOHNSON K.S., BEEHLER L.L., SAKAMOTO-ARNOLD C.M. and CHILDRESS J.J., 1986. *In situ* measurements of chemical distributions in a deep sea hydrothermal vent field. Science, 231, 1139-1141.

KHRIPOUNOFF A. and ALBERIC P. Settling of particles in a hydrothermal vent field (EPR 13°N). Deep sea (sous presse).

LAUBIER L., REYSS D. et SIBUET M., 1985 : L'utilisation des sous-marins habités pour l'étude de l'écosystème abyssal : le cas particulier des sources hydrothermales. Bulletin de l'Institut Océanographique, Monaco, numéro spécial 4, 107-129.

PEREZ J.M., 1982. Major benthic assemblages, in : marine ecology, ed. O.Kinne, vol. 5, Ocean Management, part 1, pp. 373-522.

REYSS D., 1990. Dans la nuit des abysses : au fond des océans. Ed Gallimard.

SIBUET M., FLOURY L., ALAYSE-DANET A.M., ECHARDOUR A., LE MOIGN T. and PERRON R., 1990. *In situ* experimentation at the water/sediment interface in the deep sea : 1-submersible experimental instrumentation developed for sampling and incubation. Prog. Oceanography. 24, 161-167.

GALAPAGOS Biology Expedition Participants. 1979. GALAPAGOS 79 : initial findings of biology questions. Oceanus 22 (2), 2-10.