

Session 8 : Observatoires inhabités du fond de la mer

- NADIA : NAVETTE DE DIAGRAPHIE - ETAT DE DEVELOPPEMENT PRESENT ET
EVOLUTION ULTERIEURE.

- J. Legrand - JY. Bervas - L. Floury

- Ifremer Centre de Brest - BP 70 - 29280 Plouzané - France.

En juillet 1988, la première opération de réoccupation d'un puits marin profond était réalisée au moyen de la navette de diagraphie NADIA 1 et du submersible NAUTILE au cours de la campagne FARE (Faisabilité de la Réentrée).

Cette opération s'est déroulée sur le site 396 B, foré par le Glomar Challenger dans le cadre du Deep Sea Drilling Project, en 1976 à proximité de la dorsale Médio-Atlantique à 23°N.

Une sonde thermique ainsi qu'un préleveur de fluide ont été réintroduits dans ce puits jusqu'à la cote -300 m sous le fond de mer. C'était la première fois qu'une telle opération était conduite sans l'aide d'un train de tiges et d'un navire de forage à positionnement dynamique.

A partir de cette expérience, une navette de diagraphie de deuxième génération, NADIA 2 a été développée. Alors que NADIA 1 était conçue essentiellement pour répondre à l'objectif de la démonstration de faisabilité, NADIA 2 est une véritable unité de diagraphie capable de mettre en oeuvre la plupart des sondes de logging utilisées dans l'Ocean Drilling Programme. NADIA 2 peut également fonctionner en mode observatoire grâce à l'énergie embarquée, permettant une autonomie de quelques semaines à quelques mois au fond.

Dans une troisième phase de développement, en fonction de la demande que suscitera NADIA 2, il s'agira de doter la navette des moyens lui permettant de réaliser la réoccupation du site de forage et la diagraphie du puits sans l'aide du sous-marin. NADIA sera alors rendue autonome grâce à l'implantation de propulseur sur la structure. Le suivi de la navigation sur le fond et le contrôle/commande de NADIA seront assurés depuis le navire de surface via un système de communication haut débit à définir. De même, le contrôle/commande de la diagraphie et l'acquisition des données seront réalisés par ce même canal.

Session 8 : Unmanned deep sea observatories

- NADIA : A LOGGING SCHUTTLE PRESENT STATE OF DEVELOPMENT AND FUTURE EVOLUTION
- J. Legrand - JY. Bervas - L. Floury
- Ifremer/Centre de Brest - BP 70 - 29280 Plouzané - France

In July 1988, the first re-access to a deep sea borehole was performed using the logging schuttle NADIA 1 and the manned submersible NAUTILE during the cruise FARE.

This operation was conducted on the site DSDP 396 B, drilled by the Glomar Challenger within the framework of the Deep Sea Drilling Project in 1976, close to the axis of the mid Atlantic Ridge at 23°N.

A temperature logging hole and a fluid sampler was introduced in that hole and lowered to - 300 m below the sea floor. It was the first time such an operation was done without a drill string and a drilling ship equipped with a dynamic positioning system.

From this experience, a new logging shuttle, NADIA 2, was developed. NADIA 1 was designed with the objective of demonstrating the feasibility of the reoccupation of a deep sea borehole. NADIA 2 is a real logging unit, able to operate most of the logging tools used in the Ocean Drilling Programme. NADIA 2 can also be used as an ocean bottom observatory with an autonomy of weeks to a few months on the sea floor.

In a third phase of development, depending on the amount of demands, NADIA 2 will be fitted with propellers in order to perform the underwater operations without a manned submersible. Bottom navigation as well as control/command will be done from the surface ship via a high rate communication link to be defined. In the same way, control/command of the logging and data acquisition will be performed by the same link.

NADIA : NAVETTE DE DIAGRAPHIE - ETAT DE DEVELOPPEMENT PRESENT ET EVOLUTION ULTERIEURE.

Introduction

En une vingtaine d'années, le navire de forage Glomar Challenger, dans le cadre du programme "Deep Sea Drilling Project", puis le SEDCO/BP 471 "JOIDES RESOLUTION" pour l'"OCEAN Drilling Program" ont foré plus de 800 puits dans les fonds de la quasi-totalité des océans du globe.

Quarante-cinq de ces puits sont équipés de ce que l'on appelle un cône de réentrée prolongé, dans les couches sédimentaires, par un tubage de longueur variable. Ce dispositif permet, d'une part, de marquer l'entrée de ces forages pour y réintroduire le train de tiges et, d'autre part, de maintenir le puits ouvert dans les couches sédimentaires molles.

La réentrée de ces puits par l'outil de forage, même par grande profondeur d'eau, est une opération classique sur le navire foreur ; elle est mise en oeuvre chaque fois qu'il est nécessaire de remplacer le trépan.

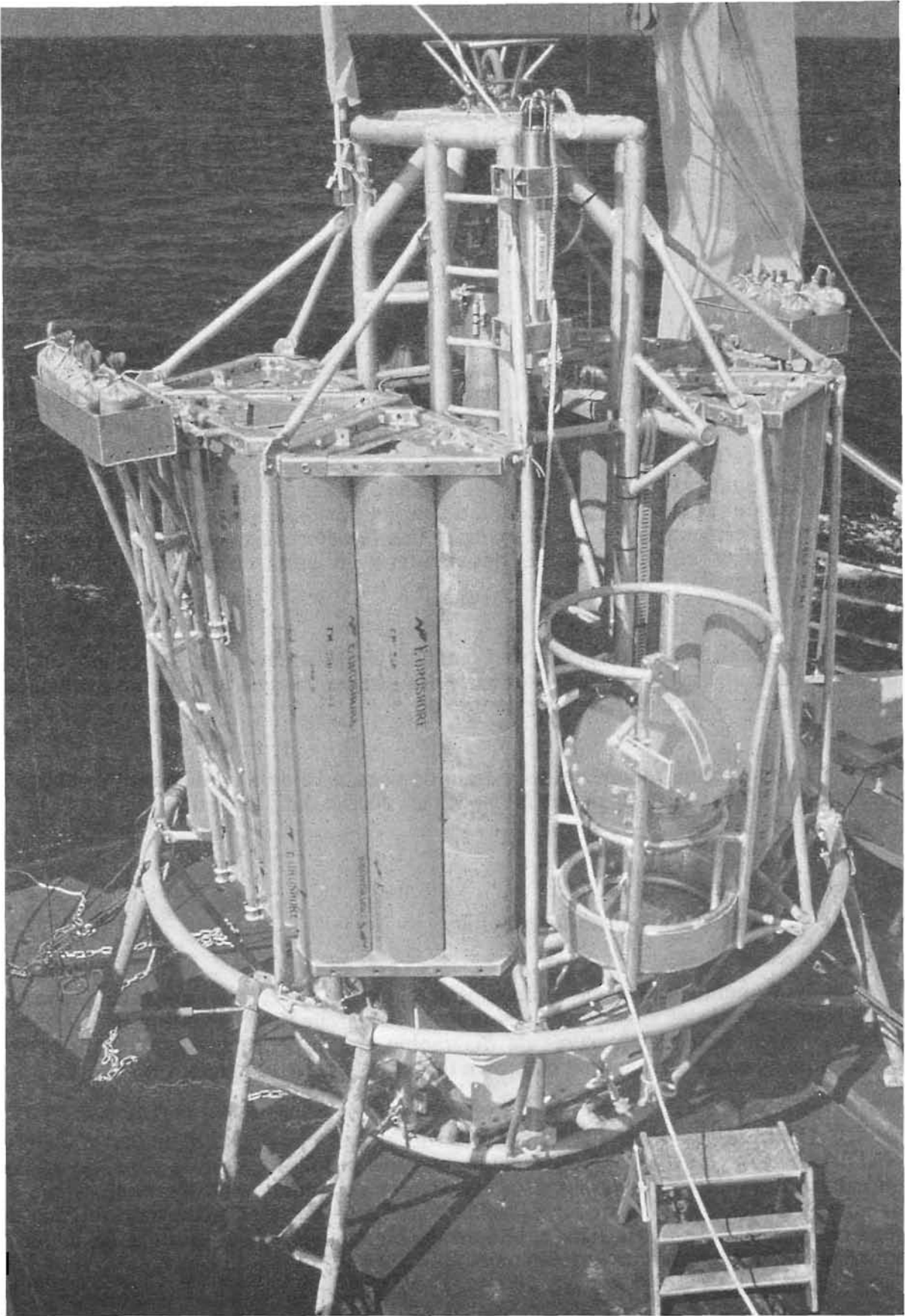
Effectuer une réentrée sans le train de tiges, à l'aide d'un dispositif à câble, est une idée plus récente ; l'une de ces méthodes est décrite dans cet article.

Le concept de la Navette de Diagraphie

La Communauté scientifique considère, depuis un certain temps déjà, que ces puits représentent des sites privilégiés pour la recherche, à la condition de pouvoir y retourner pour faire des mesures de diagraphie, des expérimentations in-situ et des prélèvements, sans l'intervention du navire foreur (Langseth et Spiess, 1987).

Dans ce contexte, l'IFREMER a développé un équipement de ré-entrée, NADIA (Navette de diagraphie), capable, une fois positionné dans le cône, de mettre en oeuvre des outils de diagraphie ou d'effectuer des mesures et observations sur de longues périodes. Dans la version actuelle, NADIA est mise en place dans le cône de réentrée par un sous-marin habité, le contrôle-commande et l'acquisition de données sont également réalisés dans le submersible.

En juillet 88, au cours d'un test sur site réel, la faisabilité des opérations a été démontrée, lors d'une campagne de trois semaines, intitulée FARE (FAisabilité REentrée), utilisant le submersible habité Nautille.



NADIA 2

Le puits DSDP 396B (situé à proximité de l'axe de la Dorsale Médio-Atlantique à 23°N) a été réentré cinq fois, sur une profondeur de plus de 300 m de puits ouvert dans le basalt (Legrand et al. 1989).

Pour la première fois, des données scientifiques ont été collectées, ainsi que les échantillons de fluide, indépendamment du navire foreur, et cela 12 ans après les opérations de forage.

A la suite de cette campagne, l'IFREMER a décidé le développement d'une deuxième version de NADIA, capable de mettre en oeuvre des outils de diagraphie classiques.

NADIA 2

1. description technique

NADIA 2 rassemble les principales fonctions nécessaires à la conduite de la diagraphie, sur une structure adaptée.

Les principales caractéristiques techniques du système sont les suivantes :

- Structure

. assemblage mécano-soudé de tubes d'aluminium.	
. profondeur maximum de travail	6000 m
. hauteur hors tout	5,3 m
. diamètre maximum	3,8 m
. poids	8 t
. poids dans l'eau : . en phase descente	+ 120 kg
. " " " : . en phase déplacement	+ 20 kg
. " " " : . en phase diagraphie	+ 120 kg
. " " " : . en phase remontée	- 100 kg

- Flottabilité

. mousse syntactique.

- Energie

- . primaire : . batteries au plomb en équipression.
 - . 100 AH sous 144 V et 100 AH sous 24 V.
- . secondaire : . centrale hydraulique à moteur autosynchrone et pompe à pistons axiaux.
 - . débit variable de 0 à 7 l/mn.
 - . pression maximum en pointe : 350 b.

- Treuil

- . Châssis et tambour en aluminium équipé de coquilles LEBUS.
- . Moteur lent hydraulique à 2 cylindres.
- . Système de trancannage associé au rainurage LEBUS.
- . Vitesse de défilement du câble, de 2 à 20 m/mn.
- . Collecteur électrique tournant.

- Câble

- . Câble électroporteur 7 conducteurs.
- . Diamètre nominal : 8,3 mm (5/16").
- . Longueur maximum : 1500 m (4920 ft).
- . Charge de rupture : 4 t (8800 lbs).
- . Pied de câble Gearhart-Owen, rupture calibrée 1 t (2200 lbs).

- Paramètres de contrôle

- . Tension mécanique dans le câble, capteur dynamométrique 0-5 t au point d'accrochage de la poulie de renvoi.
- . Longueur filée, mesure effectuée à l'aide d'un codeur optique entraîné par la rotation de la poulie.
- . Tensions des batteries.

- Contrôle - commande

- . Ordinateur portable dans la sphère du submersible.
- . Affichage des courbes Tension et Longueur filée en fonction du temps, plus les valeurs numériques instantanées.
- . Affichage des "status" du moteur autosynchrone.
- . " " de la vitesse de la longueur filée.

- Sécurités

- . Arrêt automatique du treuil dans les cas suivants :
 - dépassement consignes mini et maxi de la tension câble.
 - " " " de la longueur filée.
- . Rupture du pied de câble pour une tension prédéterminée.
- . Activation, par le submersible, d'un coupe-câble à vérin hydrostatique.

- Outil de diagraphie

- . longueur maximum : 4 m (13 ft)
- . diamètre maximum : 200 mm (9" 7/8)
- . poids dans l'eau : égal à 100 kg

2. Mise en oeuvre opérationnelle

Les principales phases opérationnelles ont été décrites par Legrand et al. (1989).

La structure, lestée et équipée de 2 flotteurs secondaires largables, est mise à l'eau à l'aide du portique du navire.

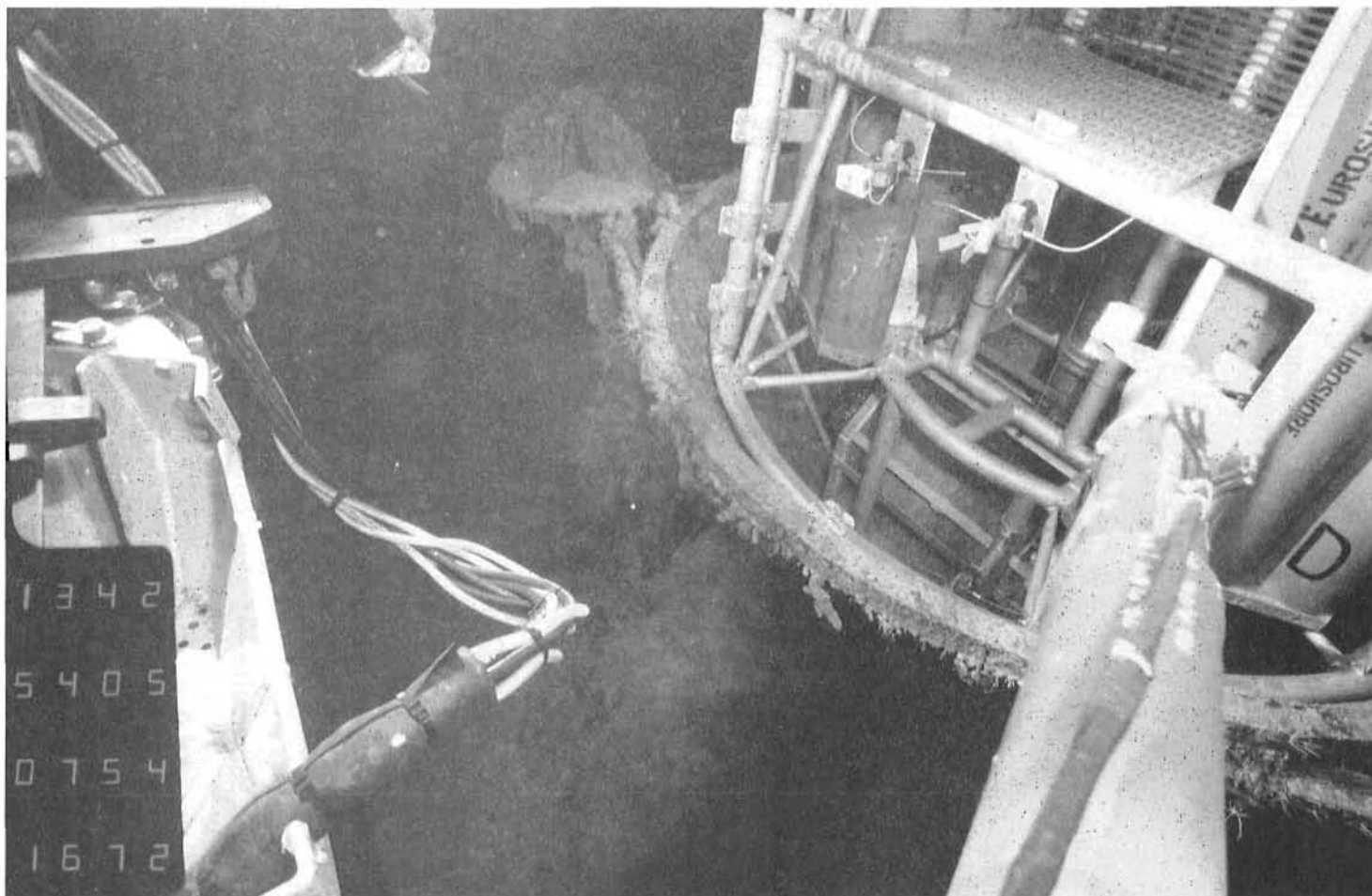
Elle descend librement vers le fond à la vitesse moyenne de 0,6 m/s.

Le submersible qui, au préalable, a repéré et inspecté le cône, rejoint NADIA sur le fond, la déplace horizontalement puis la positionne au-dessus du cône.

La flottabilité secondaire est alors larguée, afin d'alourdir et de stabiliser la structure dans le cône.

Le submersible établit alors les liaisons électriques et hydrauliques qui permettront la mise en oeuvre et le contrôle des équipements de NADIA à partir du submersible, à l'aide d'un système de connexion-déconnexion.

Le treuil de diagraphie est alimenté par une centrale hydraulique installée sur NADIA, utilisant un groupe de batteries au plomb comme source d'énergie primaire. Il est possible, notamment en cas d'incident sur cette centrale, de faire fonctionner le treuil à partir de la centrale hydraulique du sous-marin.



NADIA 2 installée dans le cône de réentrée du puits DSDP 333 par 1 665 m de profondeur. Au premier plan, le NAUTILE en action.

Ce treuil est équipé de 1500 m de câble électroporteur (7 conducteurs) qui peuvent être filés dans le puits, à une vitesse réglable entre 2 et 20 m/mn.

La continuité électrique des 7 conducteurs est assurée entre la sonde et le submersible, par un collecteur tournant sur le treuil et le système de connexion-déconnexion entre NADIA et le submersible.

La commande du treuil est réalisée à partir d'un ordinateur portable, installé dans le sous-marin ; les divers paramètres sont affichés à l'écran : longueur filée et tension dans le câble, indication d'état du moteur et tension électrique des batteries.

Les consignes de sécurité sont initialisées par l'opérateur avant le démarrage des opérations dans le puits : celles-ci s'arrêtent automatiquement lorsque l'une de ces valeurs est atteinte. Par exemple, l'opérateur programme une valeur de tension minimum inférieure au poids de la sonde, le treuil s'arrête dès que la tension atteint cette valeur, indiquant le blocage sur une obstruction dans le puits.

Dans le cas où la sonde se trouve bloquée à la remontée, la rupture du câble au niveau du pied de câble est provoquée dès que la tension atteint une valeur prédéterminée, préservant ainsi l'intégrité de la structure et des équipements embarqués. Si nécessaire, un coupe-câble à vérin hydrostatique, activé depuis le submersible, permet de rompre le câble au niveau du fond de mer.

L'installation des sondes de diagraphie est facilitée par une conception judicieuse de la structure de NADIA. Les équipements associés (rack de contrôle et d'acquisition de données) sont installés dans la sphère habitée du submersible. Ce dernier fournit l'énergie électrique nécessaire.

A la fin de l'opération de diagraphie, lorsque la sonde est revenue dans sa position initiale, deux bacs situés de part et d'autre de la structure à l'extrémité du bras basculant sont libérés, sur un déclenchement par voie acoustique depuis le navire.

La grenaille qu'ils contenaient est déversée à l'extérieur du cône de réentrée. NADIA devient alors flottante et commence sa remontée en surface.

Elle est finalement récupérée et mise à bord du navire par le portique utilisé.

DIANAUT : première campagne opérationnelle avec NADIA 2

NADIA 2 a été utilisée opérationnellement pour la première fois lors de la campagne DIANAUT. Cette dernière s'est déroulée à bord du NADIR, avec l'aide du submersible NAUTILE, en novembre-décembre 90.

En 35 jours de mer, dans l'Atlantique, trois puits ont été visités, et un total de 40 heures de diagraphie y ont été réalisées.

Le principal objectif scientifique était la connaissance du processus des échanges thermiques, et la circulation hydrothermale associée, dans la croûte océanique.

Le tandem NADIA 2-NAUTILE a servi de support aux mesures diagraphiques : cinq types de sonde ont été successivement mis en oeuvre :

- mesure thermique.
- prélèvement de fluide.
- imagerie acoustique des parois du trou (BHTV, BoreHole TeleViewer).
- débitmètre à impulsion thermique.
- magnétomètre triaxial.

L'absence de mouvement de pilonnement, qui est l'un des principaux avantages du système de réentrée avec NADIA, a permis, pour la première fois, l'utilisation d'un outil aussi sensible et précis que le débitmètre à impulsion thermique.

Un autre atout de ces opérations avec NADIA réside dans le fait que les mesures diagraphiques sont réalisées dans un environnement en équilibre thermique et géochimique, ce qui n'est pas le cas immédiatement après les opérations de forage.

Sur un total de 14 plongées du NAUTILE, 5 profils diagraphiques ont été réalisés, 8 échantillons de fluide et 6 mesures de débit ont pu être collectés dans des conditions météorologiques souvent difficiles.

NADIA 2 : station de mesure longue durée

Initialement destinée à la diagraphie, NADIA 2 peut être utilisée dans un mode "station de mesure de longue durée".

Dans ce mode, l'énergie nécessaire à la mise en oeuvre du treuil est fournie par le submersible, les batteries de NADIA 2 étant réservées à l'acquisition et au stockage des données.

Les phases opérationnelles sont identiques à celles décrites dans le cas de la diagraphie.

La liaison entre les capteurs et le submersible permet de vérifier leur bon fonctionnement, immédiatement après la mise en place. Lorsque l'installation est terminée et testée, les données sont dirigées sur un système d'enregistrement monté sur NADIA.

Le système est alors autonome, la période de station pouvant être de quelques semaines à quelques mois, suivant la consommation en énergie et le volume des données à sauvegarder.

Une expérience à la mer utilisant NADIA pour enregistrer sur une durée de 1 mois les signaux acoustiques large bande analogues à ceux des stations terrestres de surveillance sismiques est programmée pour le début de l'année 92.

Le principal objectif de cette expérimentation sera de comparer la qualité des signaux sismiques issus, d'une part d'un sismographe fond de mer, d'autre part d'un sismographe fond de puits, sur le plan du rapport signal à bruit. Ce type d'observatoire fond de mer pourrait, à terme, être utilisé pour compléter les réseaux terrestres existants.

De nombreuses autres applications comme observatoire longue durée en mesures physiques telles que température, pression, débit de fluide, résistivité, etc ... sont tout-à-fait compatibles avec le développement actuel de NADIA.

Conclusion

La réentrée des puits marins profonds pour y réaliser des diagraphies sous l'ordre d'un train de tiges est devenue une réalité.

La récente campagne DIANAUT en est une excellente démonstration.

La nécessité d'utiliser un submersible habité constitue cependant un facteur de majoration du coût de l'intervention, et de limitation pour l'aspect mesure : durée de travail au fond, volume habitable, énergie ...

C'est pourquoi, dans un futur proche, il est prévu de faire évoluer le système vers un dispositif ne nécessitant plus de submersible habité.

La poursuite du développement NADIA portera sur la robotisation des opérations sur le fond : le rendez-vous avec le cône et les opérations dans les puits.

Cette évolution pourra se faire par étapes avec une validation opérationnelle pour chacune d'entre elles. Elles seront les suivantes .

1. Adjonction de propulseurs horizontaux et verticaux sur la structure. Communication NADIA/NAUTILE par une liaison acoustique bidirectionnelle haut débit sur une distance de quelques centaines de mètres. Le submersible n'est plus en contact physique avec NADIA. Il est simplement utilisé pour le guidage et le contrôle des opérations.

2. Remplacement du sous-marin par un véhicule non habité (ROV) relié par câble à la surface et jouant le rôle d'antenne pour le canal de communication fond/surface par acoustique.

3. Développement d'un système d'intelligence artificielle permettant une entière autonomie de NADIA au fond. Seules des informations de contrôle ou de modification de mission seraient échangées avec le navire de surface.

Le calendrier de ce développement sera fonction de la demande scientifique d'utilisation ainsi que la validation des solutions retenues à chacune des étapes mentionnées.

L'équipe de projet en charge du développement technologique est composée de J. DUPONT, A. ECHARDOUR, H. FLOC'H, L. FLOURY, C. PODEUR, Y. RAER.

Ont également participé à ce travail et contribué à sa réussite : D. BOCHER, D. HOFFMANN, D. LE FLOUR, G. LOAEC, T. LE MOIGN, E. MENUT, E. PERSON, P. PICHAVANT, JF. ROLIN, C. SIMEANT.

BIBLIOGRAPHIE

LANGSETH, M.G. and SPIESS, F.N., 1987. Science Opportunities Created by Wireline Re-entry of Deep Sea Boreholes. Report on a Workshop Held at Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, February 23-24, 1987. Joint Oceanographic Institutions, Washington, D.C.

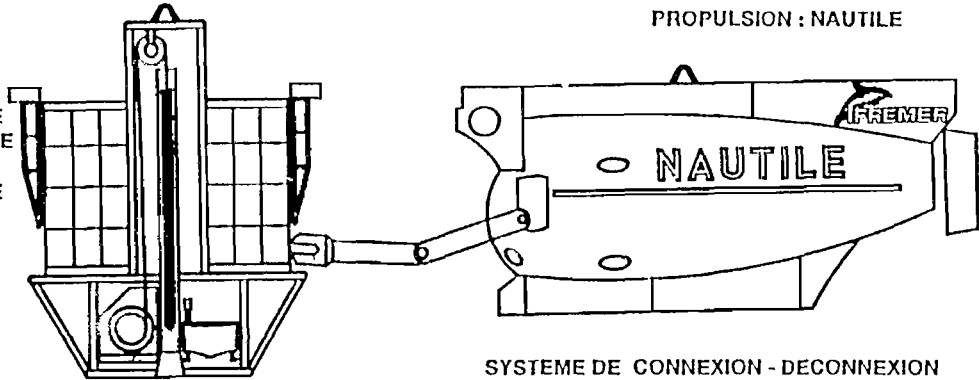
LEGRAND, J. et al., 1988. NADIA : Wireline Re-entry in Deep-Sea Boreholes. Proceedings of Ocean'88 MTS/IEEE Conference, Baltimore, Maryland, v 2, p. 602-605.

LEGRAND, J. et al., 1989. Campagne FARE : Wireline Re-entry of DSDP Hole 396B Using the NADIA System. EOS, Transactions, American Geophysical Union. Vol. 70, N 30, July 25, p. 729-731, 741.

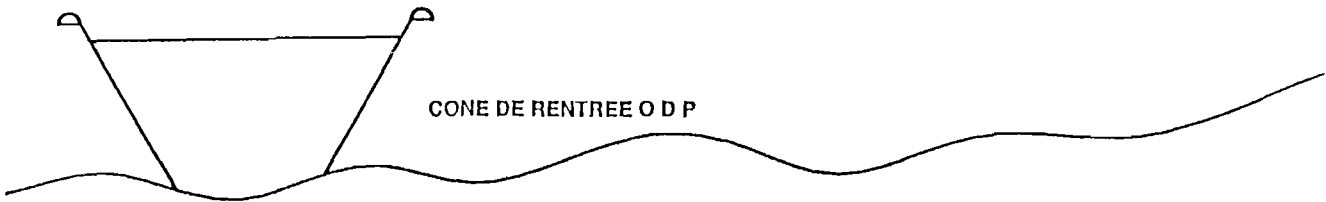
PURDY, G.M. and DZIEWONSKY, F.K., 1988. Permanent Downhole Seismic Observatories in the Deep Ocean. JOI/USSAC Workshop Report Held at Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, Massachusetts, April 26-28, 1988, Joint Oceanographic Institutions Inc., Washington, D.C.

NADIA 2

- FLOTTABILITE INTEGREE
- TREUIL EQUIPE DE CABLE ELECTRO-PORTEUR
- AUTONOMIE EN ENERGIE
- CONTROLE COMMANDE TEMPS REEL



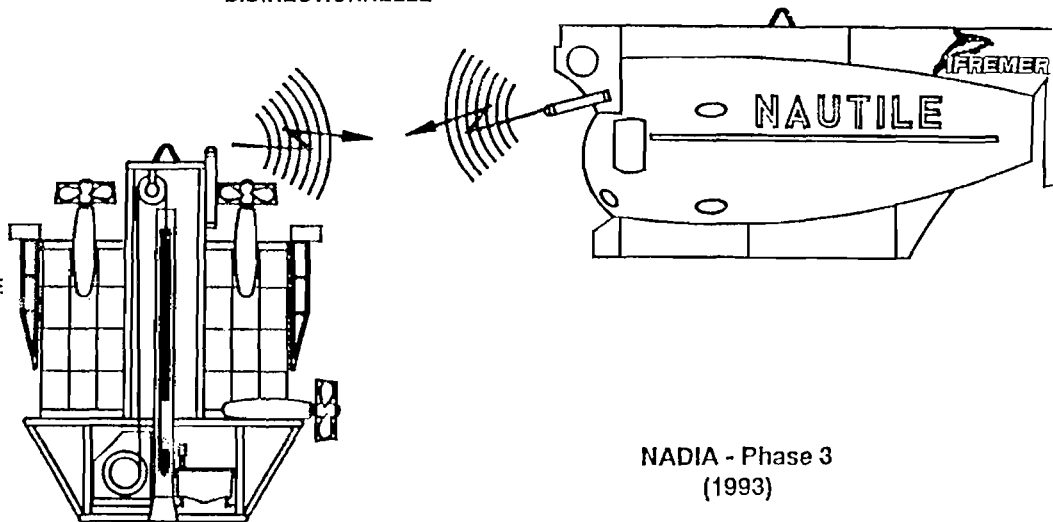
SYSTEME DE CONNEXION - DECONNEXION
(ENERGIE EN SECURITE - COMMANDES)



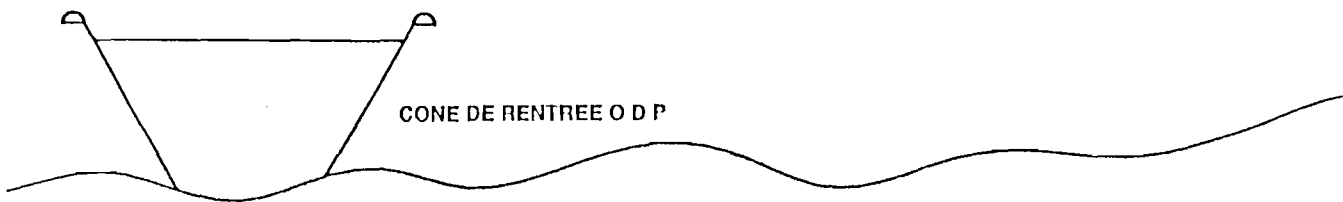
LIAISON ACOUSTIQUE
BIDIRECTIONNELLE

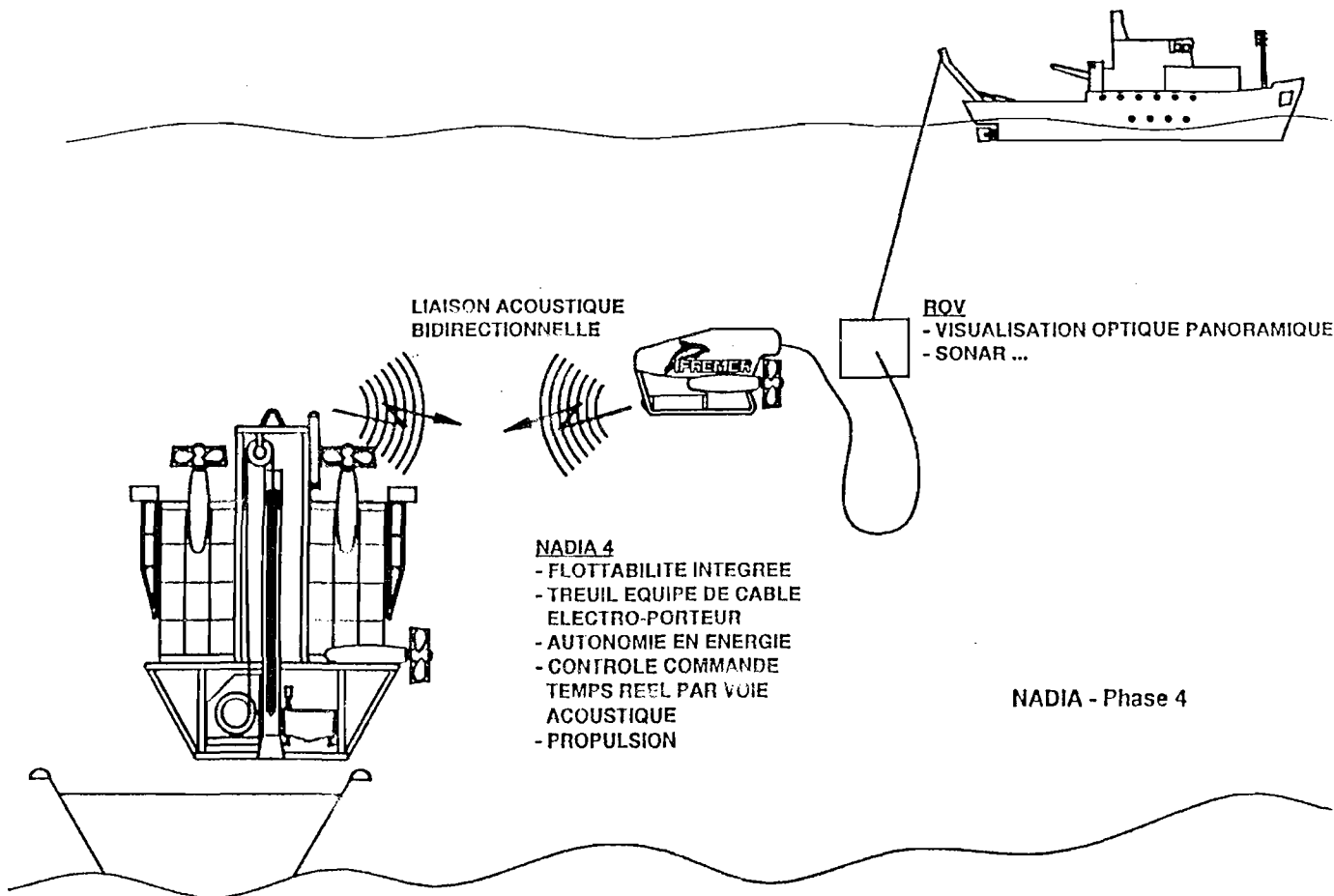
NADIA 3

- FLOTTABILITE INTEGREE
- TREUIL EQUIPE DE CABLE ELECTRO-PORTEUR
- AUTONOMIE EN ENERGIE
- CONTROLE COMMANDE TEMPS REEL PAR VOIE ACOUSTIQUE
- PROPULSION



NADIA - Phase 3
(1993)





LIAISON ACOUSTIQUE
BIDIRECTIONNELLE

ROV
- VISUALISATION OPTIQUE PANORAMIQUE
- SONAR ...

- NADIA 4**
- FLOTTABILITE INTEGREE
 - TREUIL EQUIPE DE CABLE ELECTRO-PORTEUR
 - AUTONOMIE EN ENERGIE
 - CONTROLE COMMANDE TEMPS REEL PAR VOIE ACOUSTIQUE
 - PROPULSION

NADIA - Phase 4



LIAISON ACOUSTIQUE :
TRANSMISSION DE DONNEES,
D'IMAGES ET D'ORDRES.

- NADIA 5**
- FLOTTABILITE INTEGREE
 - TREUIL EQUIPE DE CABLE ELECTRO-PORTEUR
 - AUTONOMIE EN ENERGIE
 - CONTROLE COMMANDE TEMPS SEMI REEL PAR VOIE ACOUSTIQUE
 - INTELLIGENCE DEPORTEE (P.P.O, APPROCHE DU CONE, VISUALISATION...)

NADIA - Phase 5