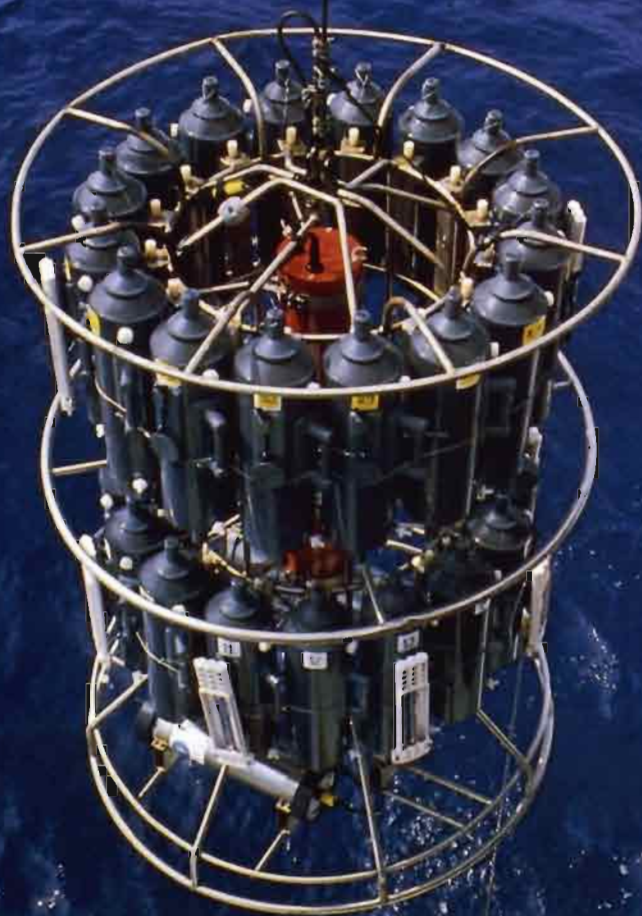


# EMBARQUEMENT POUR "CITHER"

*Courants océaniques et climats*



**ORSTOM**

Actualités N° 41

*La bathysonde à la remontée (bouteilles fermées)*

*Photo : Jean-Michel Boré*

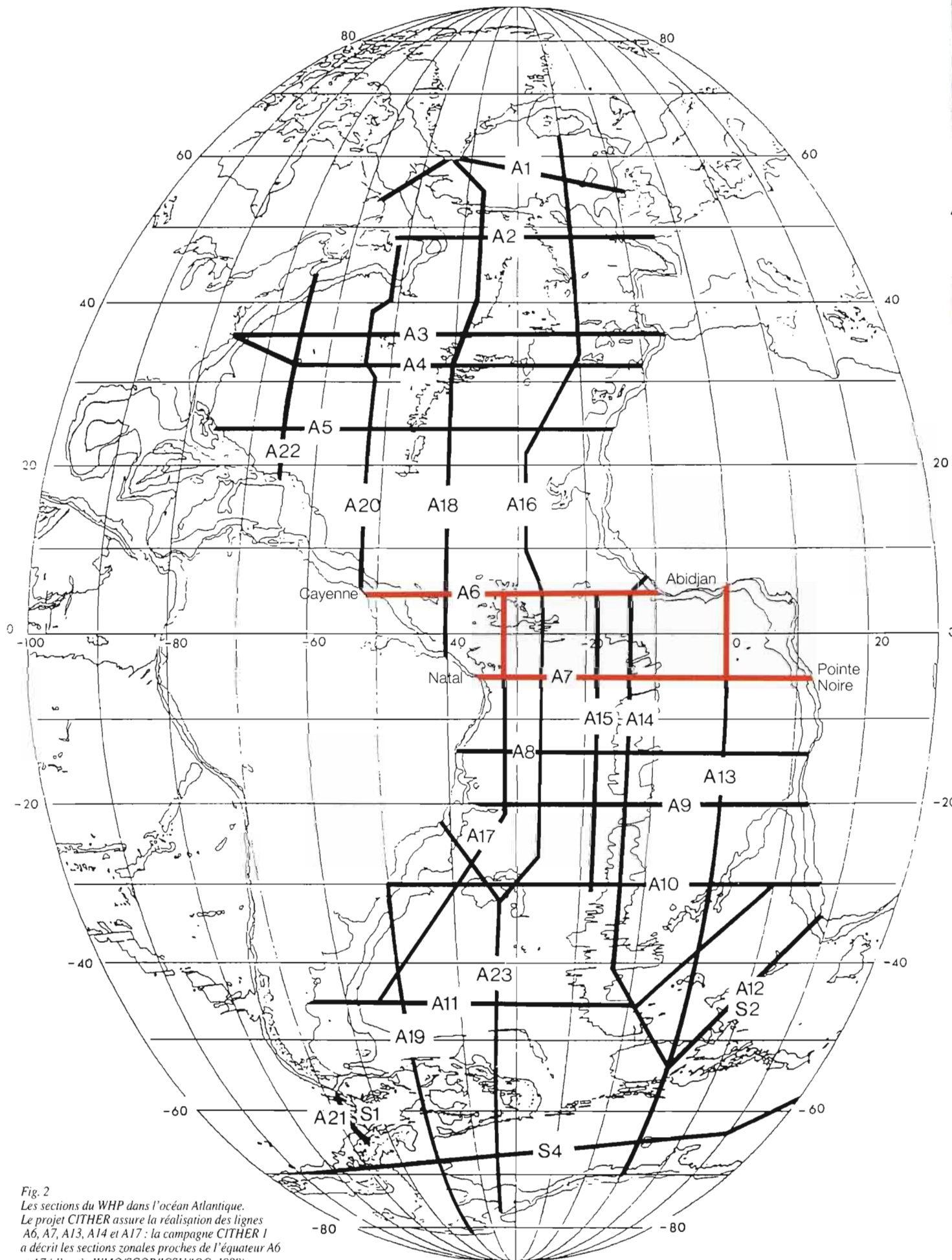


Fig. 2  
 Les sections du WHP dans l'océan Atlantique.  
 Le projet CITHER assure la réalisation des lignes  
 A6, A7, A13, A14 et A17 : la campagne CITHER 1  
 a décrit les sections zonales proches de l'équateur A6  
 et A7 (d'après WMO/SCOR/ICSU/IOC, 1988).

*Le programme international WOCE (World Ocean Circulation Experiment) s'attache à approfondir la connaissance de la circulation océanique qui reste à ce jour le maillon faible de la prévision climatique. La première campagne CITHER (Circulation THERmohaline), qui fait partie du volet hydrographique de WOCE, a été réalisé à bord de l'Atalante. Cette campagne, organisée par l'Orstom, en collaboration avec l'Ifremer, le Cnrs, le Cea et l'Université de Bretagne Occidentale (UBO), et avec la participation de partenaires étrangers (Congo, Côte-d'Ivoire, Guinée, Brésil et Allemagne), s'est déroulée de janvier à mars 1993. Elle a mené les chercheurs de Pointe-Noire à Cayenne, leur permettant de collecter des centaines d'observations.*

**L**e système climatique de la planète est un régime dynamique entretenu par l'énergie radiative émise par le soleil. Plus de la moitié de cette énergie est reçue par l'océan, qui la restitue directement à l'atmosphère ou la stocke, et parfois la transporte sur de grandes distances par l'intermédiaire des courants océaniques. Les vents engendrent les courants océaniques, dont certains transportent de l'eau chaude vers les pôles où la chaleur est libérée dans l'atmosphère. Quand l'eau cède de la chaleur à l'atmosphère aux hautes latitudes, elle se refroidit, devient plus lourde, s'enfonce dans l'océan profond, parfois jusqu'au fond, où elle peut rester isolée de l'atmosphère pendant des décennies voire des siècles. D'autre part, de l'eau douce est échangée avec l'atmosphère à la surface de l'océan à travers les précipitations et l'évaporation, ce qui a pour conséquence de modifier la teneur en sel de l'eau de mer, donc sa densité, et par voie de conséquence la stabilité de la colonne d'eau. Ces deux processus qui font



Arrivée en surface de la bathysonde - Photo : Yves Gouriou

varier la température et la salinité d'une masse d'eau engendrent une circulation verticale conduisant au rétablissement de l'équilibre de densité : cette circulation est connue sous le nom de circulation thermohaline. Wallace S. Broecker a parfaitement illustré cette circulation sous la forme d'un gigantesque "tapis roulant" (fig. 1).

#### **WOCE : UNE EXPÉRIENCE MONDIALE SUR LA CIRCULATION DE L'OCÉAN**

L'océan joue un rôle majeur dans le système climatique de la planète et une bonne part des incertitudes à prédire les changements climatiques vient d'un manque de compréhension de la circulation océanique. Grâce à TOGA (Tropical Ocean and Global Atmosphere) des progrès ont été accomplis pour la prédiction de changements climatiques sur de courtes échelles de temps, tel que le phénomène ENSO (El Niño - Southern Oscillation). Dans le cadre du Programme Mondial de Recherche sur le Climat, l'Organisation Météorologique Mondiale a lancé à la suite de TOGA une



Lancement d'une sonde XBT (eXpendable BathyThermograph) destinée à mesurer la température de l'eau de mer de la surface à 700-800 m. Photo : Yves Gouriou

"Expérience Mondiale sur la Circulation de l'Océan", WOCE, afin d'étudier la régulation du climat et ses changements sur des périodes de temps plus longues (à partir d'une ou plusieurs décennies), expérience qui conduit à observer l'océan à plus grande profondeur (jusqu'au fond) et aux latitudes plus élevées. WOCE est le premier programme de recherches destiné à obtenir une vision globale de la circulation océanique. A ce titre, il nécessite la conjonction des efforts de scientifiques appartenant à plus de 40 pays et utilisant des navires, des bouées dérivantes, des satellites. Les divers organismes scientifiques français oeuvrant dans le domaine océanographique (Cnrs, Ifremer, Orstom, Universités) ont choisi comme terrains d'opérations le bassin Atlantique sud et l'Océan Indien.

#### **18 FOIS LE TOUR DE LA TERRE...**

L'expérience WOCE s'articule en plusieurs corps de projets dont le premier vise à obtenir un jeu global de données pour aboutir à une description d'ensemble de la circulation de la chaleur (température), de l'eau douce (salinité) et des traceurs géochimiques (oxygène, sels nutritifs, fréons). Il constitue le Programme d'Hydrologie de WOCE (en anglais WHP pour Woce Hydrography Programme) qui est la description d'ordre zéro (phase stationnaire),



Mise à l'eau de la bathysonde. Photo : Jean-Michel Boré

effectuée une fois pour l'océan entier. Le projet CITHER appartient au WHP dont l'ensemble des sections mises bout à bout permettrait de faire 18 fois le tour de la terre le long de l'équateur.

Le cadre géographique du projet CITHER (Circulation THERmohaline) est le bassin Atlantique sud, délimité au nord par la ceinture équatoriale. L'océan Atlantique occupe une position privilégiée dans la redistribution énergétique planétaire. C'est un océan méridien largement ouvert à son extrémité sud où il reçoit de la chaleur des deux autres océans, et le transport de chaleur méridien est continu du sud au nord. L'océan Atlantique avec une zone équatoriale relativement étroite comparée à celle du Pacifique apparaît comme une des régions les plus favorables à l'étude du transport méridien de chaleur de l'océan mondial.

Le flux d'eau chaude vers le nord, en surface, est équilibré par un flux d'eau froide vers le sud, en profondeur, selon le schéma du "tapis roulant" de Broecker et al. (fig. 1) illustrant la circulation thermohaline, dont le moteur est le refroidissement hivernal exercé dans l'Atlantique nord septentrional (Mer du Labrador et Mer de Norvège).

En profondeur, la distribution des paramètres hydrologiques (température - salinité) est relativement uniforme et la caractérisation des masses d'eau entraînées par les courants océaniques oblige à recourir à d'autres outils : les traceurs géochimiques. Aujourd'hui, outre les traceurs naturels stationnaires, comme l'oxygène et les sels nutritifs (nitrate, phosphate, silicate) il existe des traceurs transitoires d'origine anthropogénique comme les fréons ou CFC (chlorofluorocarbone) voire le gaz carbonique. Ces traceurs transitoires permettent de repérer le moment où les masses d'eau ont perdu tout contact avec l'atmosphère lors de leur plongée et de dater ces masses d'eau. Les données de traceurs géochimiques sont très utiles pour vérifier les modèles de circulation océanique.

### LA CAMPAGNE CITHER 1 À BORD DE L'ATALANTE

Le projet CITHER agréé par le Programme National d'Etude de la Dynamique du Climat comporte la description de cinq grandes sections d'hydrologie et géochimie légère dans l'Atlantique Sud. L'Orstom fort de son expérience en zone tropicale a pris en charge l'organisation de la première campagne au cours de laquelle les observations, cantonnées dans la ceinture équatoriale, ont couvert les deux sections zonales A6 et A7 à 7°30 N et 4°30 S. A travers ces deux sections c'est la globalité des flux méridiens de chaleur et de masse qui est appréhendée. Deux courtes sections méridiennes ont été



Préparation du Pégasus avant la descente - Photo : Jean-Jacques Lechauve

ajoutées le long de 4° W et 35° W (fig. 2) pour répéter, 10 ans après, les observations du programme FOCAL (Programme français dans l'Océan Atlantique Equatorial), et en particulier contrôler l'évolution des champs de pressions partielles de CO<sup>2</sup> atmosphérique et océanique.

L'*Atalante*, navire amiral de la flotte océanographique française (85 m de long), a quitté Pointe Noire (Congo) le 2 janvier 1993 pour décrire d'abord la section A7 du WHP en direction de Natal, port brésilien, atteint après 21 jours de mer. Après l'escale, au cours de laquelle embarquât l'observateur militaire brésilien, le navire a réalisé la section méridienne 35° W jusqu'à 7°30 N et a rejoint Cayenne (Guyane française) pour une escale du 10 au 13 février. Le bateau a de nouveau traversé l'océan Atlantique pour décrire la section A6 du WHP (7°30 N) et effectuer une escale à Abidjan (Côte-d'Ivoire) après 23 jours de mer. Pour finir, l'*Atalante* a suivi le rail 4° W maintes fois emprunté par

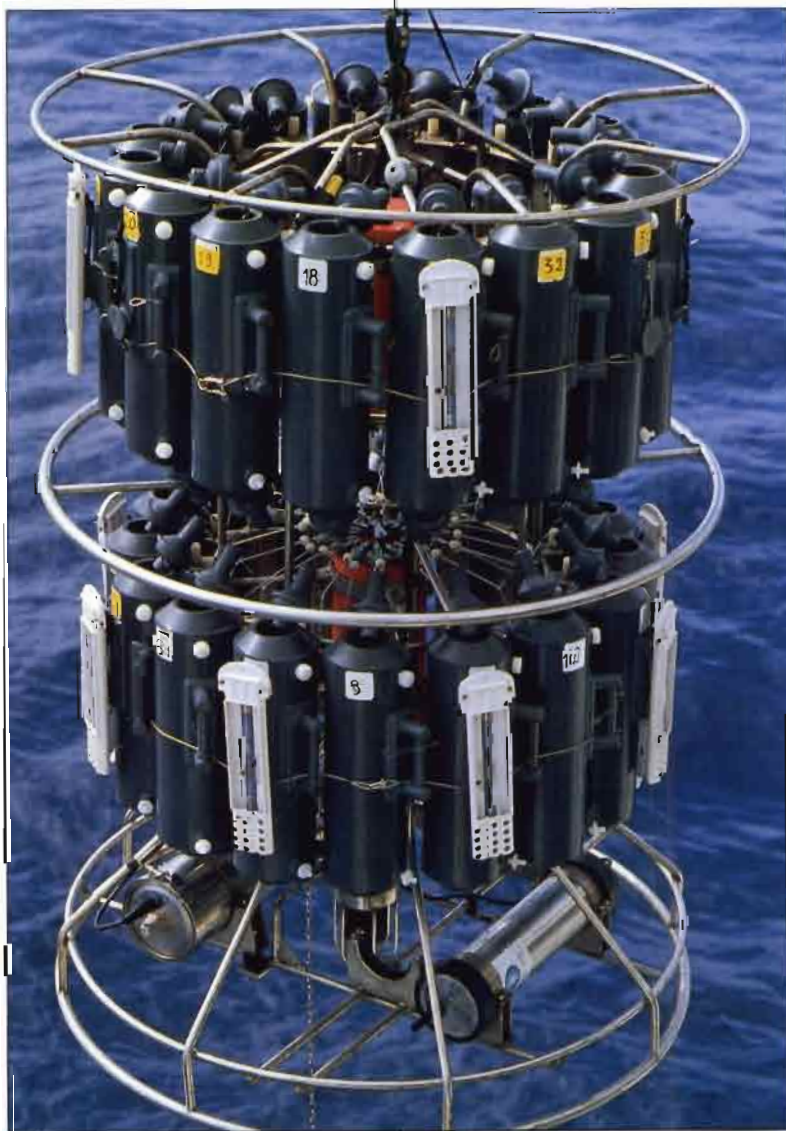
le *Capricorne*, jusqu'à 4°30 S, et a rejoint Pointe Noire le 19 mars 1993 (fig 2 et 3).

Durant ce périple (distance parcourue de 18 800 km sur une durée de 77 jours), les observations furent nombreuses et variées :

- Mise en place de 224 stations hydrologiques par grand fond (la plus grande profondeur atteinte a dépassé 5 800 m) avec la bathysonde CTDO (Conductivité, Température, Profondeur, Oxygène) Neil Brown Mk III couplée à la rosette à 32 bouteilles (capacité de chacune = 8 litres) du Laboratoire de Physique des Océans de Brest.

- Mesures en continu des courants dans la couche d'eau comprise entre la surface et 700 m de profondeur le long du trajet du navire, grâce à son profileur acoustique à effet Doppler fixé sur la coque.

- 12 profils de courants absolus, de la surface au fond, obtenus avec le profileur acoustique Pegasus de l'Université de Kiel (Allemagne), en face du Brésil.



La bathysonde à la descente (bouteilles ouvertes). Photo : Jean-Michel Boré

- 130 lanceurs de sondes thermiques XBT (eXpendable BathyThermograph) pour des tests de comparaison des sondes de marques différentes (Sippican et Sparton) et de calibration avec les profils de la bathysonde Neil Brown.

- Enregistrement en continu d'une part de la température et de la salinité de l'eau de mer de surface grâce au thermosalinographe SIS et d'autre part de la topographie du fond sur une largeur égale à 4 fois la profondeur de la colonne d'eau par le sondeur multi-faisceaux EM 12 (Simrad) de L'Atalante ainsi que du champ de gravité.

- sur les échantillons d'eau de mer (plus de 5 200 échantillons au total) prélevés avec la rosette entre le fond et la surface, ont été réalisées des mesures de salinité, oxygène, nitrate, nitrite, phosphate, silicate, fréon-11, fréon-12, hélium, tritium, carbone minéral total, fugacité de CO<sup>2</sup>, pH, azote moléculaire, argon, méthane, protoxyde d'azote et chlorophylle.

- analyses d'air extérieur pour la mesure des gaz atmosphériques (CO<sup>2</sup> - fréons 11 et 12 - méthane - protoxyde d'azote).

Il est trop tôt pour entrer dans le détail de l'analyse des résultats d'observations dont l'exploitation scientifique ne débutera véritablement qu'après vérification de la calibration des capteurs de la bathysonde et validation des mesures chimiques. Cependant, on peut signaler d'ores et déjà l'importance qualitative et quantitative du jeu de données de "fréons" qui permet la mise en évidence, en profondeur, de l'avancée le long de l'équateur d'une masse d'eau-type clé de voûte de la circulation thermohaline, à savoir l'Eau Profonde Nord Atlantique. La comparaison avec les campagnes FOCAL (1982 - 1984) permet de vérifier la tendance séculaire de l'augmentation du CO<sup>2</sup> atmosphérique (15 ppm en 10 ans, c'est-à-dire plus de 4 %) et parallèlement un accroissement de la pression partielle de CO<sup>2</sup> de la couche de surface océanique.

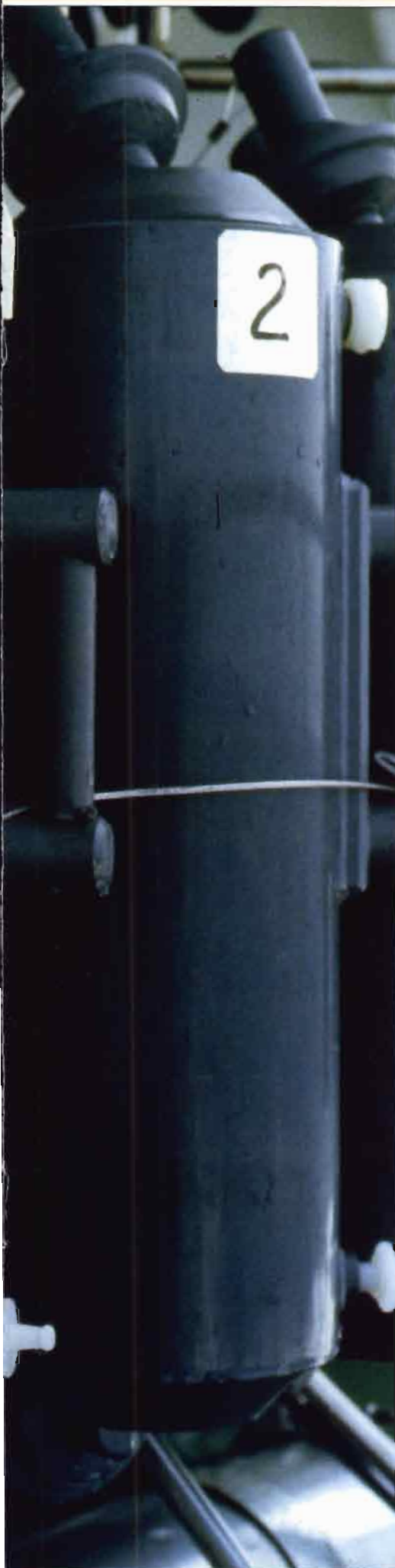
#### APRES CITHER 1

La campagne CITHER 1 est terminée, l'Atalante se trouve maintenant dans le Pacifique où d'autres collègues profiteront des installations de pointe de ce navire océanographique. Il n'est pas prévu que l'Orstom participe aux campagnes CITHER suivantes qui se dérouleront aux latitudes plus élevées de l'Atlantique sud.

Parallèlement à l'exploitation des résultats de CITHER 1, les chercheurs de l'Institut poursuivront des observations identiques à celles de CITHER 1 sur le bord ouest Atlantique depuis le Centre de Cayenne, dans le cadre du projet ETAMBOT (Étude du Transport Atlantique Méridien dans le Bassin Ouest équatorial) en mettant l'accent sur l'étude des variations saisonnières

#### Une campagne multi-organismes et internationale

La campagne CITHER 1 a compté 36 participants, chercheurs et techniciens, originaires du Laboratoire de Physique des Océans (Unité Mixte Ifremer/Cnrs/Ubo) de Brest, du Laboratoire d'Océanographie Dynamique et de Climatologie Lodyc (Unité Mixte Cnrs/Orstom/Upmc) de Paris, du Laboratoire d'Océanographie Chimique (Ubo) de Brest, du Laboratoire de Modélisation du Climat et de l'Environnement (Cen) de Saclay et des Centres Orstom de Brest, Cayenne et Montpellier. Huit scientifiques et un observateur étrangers, représentants des pays riverains (Brésil - Congo - Côte-d'Ivoire - Guinée/Conakry) de la zone d'étude ou partenaire européen (Institut für Meereskunde de l'Université de Kiel, Allemagne) du programme WOCE ont été accueillis à bord pour participer pro-parte à la campagne. Cette campagne fut l'occasion de resserrer les liens de coopération avec les Centres de Recherches Océanographiques d'Abidjan, Dakar et Pointe Noire dont certains chercheurs nationaux sont associés aux programmes de l'Institut.



## All aboard for CITHER 1

The ocean plays a major role in Earth's climate system, and the prediction of climate change is a critical environmental objective of our time. Although attention is often focused on the climatic impact of human activities, such as the production of carbon dioxide and other greenhouse gases, natural climate changes are known to occur on time scales ranging from months to years, decades, and longer. Predicting these changes would bring great benefits to society.

The TOGA program concentrated on such short-term climate changes as El Niño - Southern Oscillation. Over longer periods (ten years to several decades), climatic trends and changes are regulated by ocean circulation at greater depths and higher latitudes.

The World Ocean Circulation Experiment (WOCE), successor to TOGA, is designed to improve our understanding of the global ocean throughout its depth, as a step towards more scientifically rigorous climate prediction on these time scales. WOCE is the first research program of sufficient scope to mount a truly global investigation of the ocean.

The CITHER 1 cruise is the first French operation in the equatorial Atlantic ocean as a contribution to the WOCE Hydrography Program (WHP). Orstom was in charge of CITHER 1, carried out

aboard the French oceanography vessel *Atalante*; the cruise, from Pointe Noire (Congo), to Natal (Brazil), Cayenne (French Guiana), Abidjan (Côte-d'Ivoire) and back to Pointe Noire, took about eighty days in the early months of 1993.

The main activities of the cruise focused on hydrography and distributions of geochemical tracers, from surface to ocean floor, along two zonal transects at latitudes 4°30' S and 7°30' N, from the coast of Africa to the coast of America. 224 hydrographic stations were placed, with CTD probes (Conductivity, Temperature, Depth) equipped with an oxygen sensor and a rosette sampler with 32 8-litre bottles. Seawater samples were taken to obtain continuous salinity and dissolved oxygen profiles, and to measure nitrate, nitrite, phosphate, silicate, freon-11, freon 12, total carbon dioxide, concentrations of dissolved gases (nitrogen, argon, methane and nitrous oxide), pH and carbon dioxide fugacity. Additional samples were drawn from the 8-litre bottles and stored for analysis of tritium and helium in the on-shore laboratory. The phytoplankton biomass (chlorophyll) was also sampled in the surface layer, in connection with the JGOFS program.

Forty four scientists, technicians and students - from a dozen of laboratories, embarked on the research vessel.



*Le bateau océanographique de l'Ifremer L'Atalante - Photo : G. Vincent/Ifremer*



Embarquement pour "Cither 1" du conteneur-laboratoire Orstom sur l'Atalante. Photo : André Intes

de la circulation, dans la région où la majorité des flux méridiens est concentrée. Cette étude sera réalisée d'une part avec un navire du type *Suroit* pour les opérations à grande échelle et à fréquence semestrielle, d'autre part avec le futur bateau de l'Orstom appelé à remplacer l'*André-Nizery* pour des opérations plus côtières et à fréquence plus élevée (bimestrielle).

Claude Oudot  
Responsable du projet CITHER 1  
Alain Morlière  
Responsable de mission de CITHER 1 (1<sup>ère</sup> partie)  
Christian Colin  
Responsable de Mission de CITHER 1 (2<sup>ème</sup> partie) - Département "Terre, Océan, Atmosphère" - UR "Océan - Atmosphère".

**Pour en savoir plus**

Broecker W.S. (1991) The great ocean conveyor. *Oceanography*, 4 (2) : 79-89.  
 Broecker W.S. and T.H. Peng (1982) Tracers in the sea. Eldigio Press, Palisades, N.Y., 690 pp.  
 Gordon A.L. (1986) Inter-ocean exchange of thermocline water. *J. Geophys. Res.*, 91 : 5037 - 5046.  
 Lukas R. and P.J. Webster (1992) TOGA-COARE. *Oceanus*, 35 (2) : 62 - 65.  
 Oudot C., Andrié C. et Y. Montel (1987) Evolution du CO<sup>2</sup> océanique et atmosphérique sur la période 1982 - 1984 dans l'Atlantique tropical. *Deep Sea Res.*, 34 (7) : 1107 - 1137.  
 Needler G.T. (1992) WOCE. *Oceanus*, 35 (2) : 74 - 77.  
 Philander S.G. (1992) El Niño. *Oceanus*, 35 (2) : 56 - 61.

Schlosser P., Bonisch G., Rhein M. and R. Bayer (1991) Reduction of deep water formation in the Greenland Sea during the 1980s : evidence from tracer data. *Science*, 251 : 1054 - 1056.  
 Warren B.A. (1981) Deep circulation of the world ocean. In : Evolution of physical oceanography. B.A. Warren and C. Wunsch, ed., MIT Press, Cambridge, USA : 6-41.  
 WMO/SCOR/ICSU/IOC (1988) World Ocean Circulation Experiment Implementation Plan. Vol.I : detailed requirements, WMO/TD No 242, WCRP-11.  
 Vol.II : scientific background, WMO/TD No 243, WCRP-12.



Conteneur d'acquisition des données hydrologiques  
Photo : Jean-Jacques Lechaue

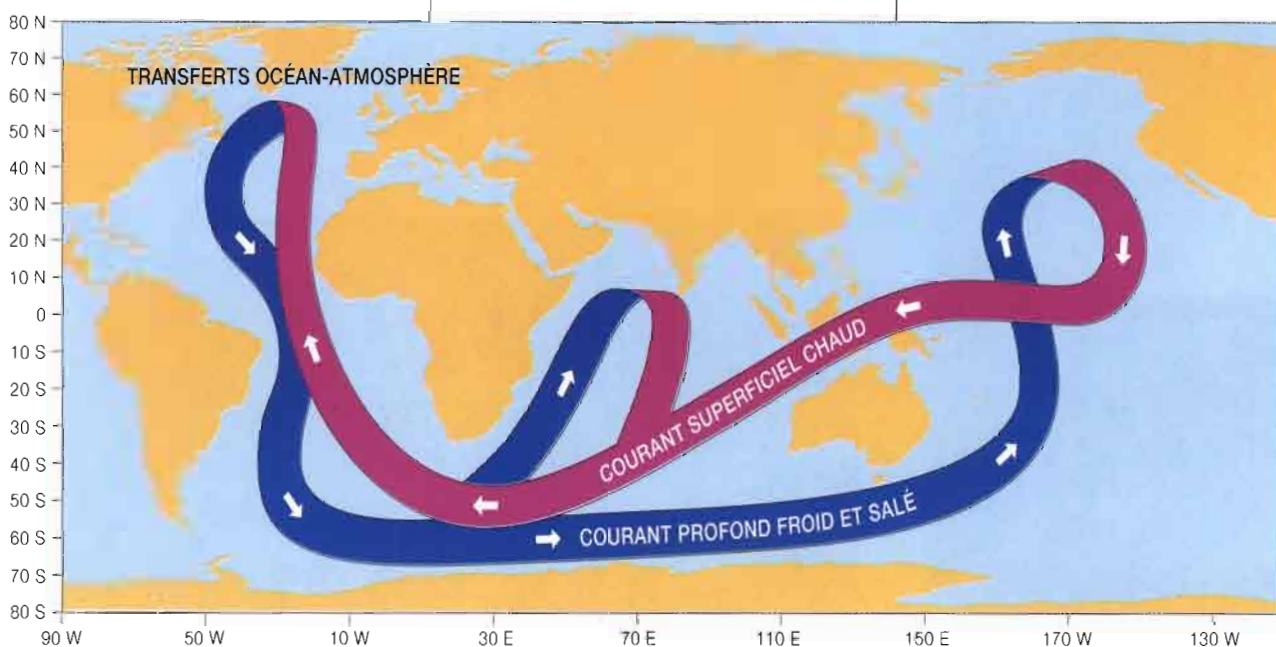


Fig. 1 - Schéma expliquant la notion de circulation thermohaline dite du "tapis roulant" (d'après Broecker, 1987).



Oudot Claude, Morlière Alain, Colin Christian

Embarquement pour "CITHER" : courants océaniques et climats

ORSTOM Actualités, 1993, (41), p. 11-18. ISSN 0758-833X