

OVIDE 2004



<http://www.ifremer.fr/lpo/ovide/>

EN RÉPONSE À

:

APPEL D'OFFRE 2004

Pour les dossiers de propositions de campagne à la mer

Dossier à retourner pour le **15 janvier 2003**

en **7 exemplaires** à

IFREMER

Secrétariat de la Commission Flotte et Engins

Direction Scientifique

155 rue Jean-Jacques Rousseau

92138 Issy-Les-Moulineaux cedex – France

et 1 copie par email : anne.marie.alayse@ifremer.fr

Pour les dossiers de demandes de moyens nautiques pour des essais technologiques

Dossier à retourner pour le **1er mars 2003**

en **5 exemplaires** à

Secrétariat de la Commission Flotte et Engins

Direction Scientifique

155 rue Jean-Jacques Rousseau

92138 Issy-Les-Moulineaux cedex – France

et 1 copie par email : anne.marie.alayse@ifremer.fr

RÉCAPITULATIF -1-

DOSSIER DE DEMANDE : OVIDE 2

DATE : 13 JANVIER 2003

TITRE DE LA CAMPAGNE : OVIDE 2

| | | | | | | |
|--|-----------------------|--------------------------|---|---------------------|--|--|
| <p>Année : 2004 Durée (sur zone) : 32 jours (30 jours en mer et 2 jours de mise à disposition) Escale éventuelle (à justifier) Période (si impératif) : entre juin et fin août 2004 (contrainte météo et glaces), l'idéal étant la même période qu'en 2002 soit 11 juin - 12 juillet Zone : Atlantique Nord 40°N-60°N</p> <p>Pays dont les eaux territoriales sont concernées : Portugal, Danemark (Groenland) Pays dont la zone économique est concernée : Portugal, Danemark (Groenland)</p> | Chef de projet | | Chef de mission | | | |
| | Nom Prénom : | | MERCIER Herlé | | HUCK Thierry | |
| | Organisme : | | CNRS / INSU | | CNRS / INSU | |
| | Laboratoire : | | Laboratoire de Physique des Océans (UMR 6523) | | Laboratoire de Physique des Océans (UMR 6523) | |
| | Adresse : | | IFREMER Centre de Brest BP 70, 29280 Plouzané | | UBO, UFR Sciences 6 avenue Le Gorgeu BP 809, 29285 Brest cedex | |
| | Tél. : | | 02 98 22 42 86 | | 02 98 01 65 10 | |
| | Fax : | | 02 98 22 44 96 | | 02 98 01 64 68 | |
| E-mail : | | Herle.Mercier@ifremer.fr | | thuck@univ-brest.fr | | |

| | |
|--|--|
| <p>Travaux : Hydrographie, Géochimie, courantométrie Doppler, mise à l'eau de flotteurs profileurs lagrangiens PROVOR.</p> <p>Traitement des données et Besoins informatiques : Accès au réseau informatique du navire</p> <p>Navire : Thalassa</p> <p>Engin(s) : AUCUN</p> <p>Gros équipements : AUCUN</p> <p>Nécessité d'une campagne pour récupération d'engin ? NON</p> | <p>Équipe scientifique embarquée : 24 personnes au total</p> <p>Laboratoire de Physique des Océans (chef de mission, hydrographie, ADCP, déploiement de flotteurs profileurs lagrangiens dans le cadre du projet CORIOLIS/ARGO) : 15 personnes</p> <p>Laboratoire Chimie Marine IUEM/UBO (sels nutritifs, CFCs, CCI4) : 6 personnes</p> <p>IIM Vigo (pH, alcalinité, pCO2) : 3 personnes</p> <p>A terre : Centre Coriolis</p> |
|--|--|

Cette proposition se rattache au(x) programme(s) (nationaux ou internationaux) avec comité scientifique :
 (L'avis des comités scientifiques sera sollicité)

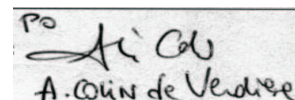
Programme National d'Etude de la Dynamique du Climat : responsable Pascale Delecluse
 <delecluse@lodyc.jussieu.fr>
Programme international CLIVAR - Atlantic Panel : Herlé Mercier <Herle.Mercier@ifremer.fr>

Thème scientifique : **VARIABILITÉ DE LA CIRCULATION OCÉANIQUE ET DE LA FORMATION DES MASSES D'EAU EN ATLANTIQUE NORD**

Responsable d'unité : **Xavier CARTON**

DATE : 13 JANVIER 2003

SIGNATURE :



PO
 A. Quin de Vendree

Nombre de dossiers présentés pour 2004 au sein de l'Unité : 1

RESUME

- **Texte synthétique résumant l'ensemble des documents 1 à 6, lisible par un non spécialiste**
(ne pas dépasser 15 lignes)

Il est proposé de répéter une section hydrographique de 95 stations entre le Portugal et l'extrémité sud du Groenland tous les deux ans pendant 10 ans afin de déterminer les fluctuations à basse fréquence de la cellule méridienne de circulation océanique, du flux de chaleur vers l'Europe, du transport de traceurs et des caractéristiques des masses d'eau. Une première réalisation de la section a été effectuée en 2002. Après la seconde réalisation en 2004, la périodicité de l'échantillonnage sera ré-évaluée si nécessaire. Les mesures de la sonde CTDO2 seront complétées par la détermination de la teneur en sels nutritifs et traceurs anthropiques (CFCs, CCl4, carbone anthropique) d'échantillons et par des mesures de courant à l'aide de courantomètres acoustiques Doppler de coque et sur la rosette. Le programme s'appuie en outre sur l'analyse des données des profileurs lagrangiens du projet ARGO, un programme de modélisation réaliste à haute résolution (DRAKKAR 1/12°) et d'assimilation variationnelle de données dans un modèle à plus basse résolution (OPA 1/3°). Ce projet fait partie du programme international CLIVAR et complète les travaux prévus dans cette région principalement par l'Allemagne, la Grande Bretagne et le Canada. Cette proposition s'insère dans le PNDEC en collaboration avec les projets SURATLANTE (G. Reverdin) et GINS/SIGNATURE (J.C. Gascard et C. Jeandel). La réalisation de la section hydrographique prendra 23 jours, le temps navire demandé est basé sur l'expérience de la campagne OVIDE 2002 (Brest-Groenland-Lisbonne), et permettra le déploiement de flotteurs profileurs lagrangiens dans le cadre du projet CORIOLIS, contribution française à ARGO.

ABSTRACT**Traduction en Anglais du récapitulatif –2–**

A hydrographic section composed of 95 stations is proposed to be repeated between Portugal and the southern tip of Greenland every second year for 10 years starting in 2002. The goal is to monitor the low frequency fluctuations of the oceanic meridional overturning cell, heat and tracer transports, and water mass characteristics in the northern North Atlantic Ocean. The first section was successfully completed in 2002. After carrying out the second section in 2004, the sampling frequency will be re-examined. The CTDO₂ measurements will be complemented by measurements of nutrients, CFCs, and CCl₄ contents, pH, and alkalinity from water samples. Acoustic Doppler Current Profilers measurements will be available from the ship and the rosette. The scientific project also relies on ARGO profiling float data, a high resolution numerical model (DRAKKAR 1/12°) and variational data assimilation in a coarser resolution model (OPA 1/3°). The OVIDE hydrographic line is proposed within the framework of CLIVAR and complements field works carried out by German, Canadian and UK scientists. This project is part of a joint proposal to the PNEDC (a French program which supports climate research) in collaboration with the SURATLANTE (G. Reverdin) and GINS/SIGNATURE (J. C. Gascard and C. Jeandel). Twenty-three (23) ship days are needed to realize the hydrographic section, the requested ship time is based on the experience of the OVIDE 2002 cruise, and will allow the deployment of profiling floats for the CORIOLIS project, the French contribution to ARGO.

PROGRAMME GÉNÉRAL DE RECHERCHES (Ce document peut être rédigé en anglais)

- **Thème scientifique et zone d'étude**
- **Campagnes antérieures et bibliographie sommaire sur le sujet**
- **Situation au niveau national et international**
- **Rattachement aux grands programmes**
- **Cela s'intègre-t-il dans un programme plus large à la mer ? (plusieurs campagnes, récupération de mouillage)**
- **Résultats escomptés**

*Les documents 1 et 2 ne doivent pas dépasser **10 pages maximum** avec les illustrations et la bibliographie et une carte de localisation*

1. Contexte et objectifs généraux du projet

Les mers du Labrador, du Groenland et de Norvège sont le lieu de formation de l'eau profonde Nord Atlantique, composante principale de la branche froide de la cellule méridienne de circulation de l'Atlantique. L'eau profonde formée est exportée vers le sud par les courants profonds de bord ouest. La branche supérieure de la cellule méridienne de circulation transporte vers le nord l'eau chaude et salée subtropicale qui est progressivement refroidie et convertie en eau modale subpolaire (SPMW) source de l'eau profonde. La cellule méridienne de circulation est associée au transport de chaleur vers le nord de l'Atlantique et répond au forçage atmosphérique : sa variabilité pourrait être le signe, cause ou effet, de changements climatiques majeurs. Le gyre subpolaire de l'Atlantique Nord est une région importante pour le climat de l'Europe : elle transfère de la chaleur à l'atmosphère et tempère ainsi le climat européen (Stommel, 1979).

La variabilité basse fréquence de l'atmosphère en Atlantique Nord est caractérisée par l'Oscillation Nord Atlantique (NAO). L'indice NAO, défini comme la différence de pression atmosphérique de surface entre les Açores et l'Islande, présente un spectre de variabilité très riche, avec des pics peut-être significatifs à échelle décennale (7-8 ans) et inter-annuelle. À l'échelle de temps quasi-décennale, la variabilité de la circulation océanique montre une certaine corrélation avec celle de l'indice NAO. L'analyse de données historiques effectuée par Dickson et al. (1996) montre que l'activité convective dans l'Atlantique est modulée de façon synchrone dans les sites principaux de formation de masses d'eau : dans la mer des Sargasses (eau modale à 18°), dans la mer du Labrador, et dans la mer du Groenland (eau profonde Nord Atlantique). Ils suggèrent que cette modulation est liée à la NAO, de telle manière que les maxima d'activité convective dans les mers des Sargasses et du Groenland sont associés à un minimum en mer du Labrador (au cours des années 60, par exemple) ; la situation inverse prévalait dans les années 70 et 90. Joyce et al. (2000) complètent cette étude en montrant une corrélation entre l'indice NAO et d'autres paramètres tels que la position du Gulf Stream : ils proposent un mécanisme dans lequel l'océan joue un rôle actif pour expliquer l'anti-corrélation entre la formation de l'eau à 18°C et celle de l'eau de la mer du Labrador. Curry et al. (1998) montrent que la signature de la variabilité de la formation de l'eau de la mer du Labrador peut être suivie jusque dans les tropiques.

À ces mêmes échelles de temps, des anomalies de température ou de salinité de grande échelle spatiale (2000 km) se propagent en surface autour du gyre subpolaire. Dickson et al. (1988) ont décrit la propagation autour du gyre subpolaire dans les années 1970 de la grande anomalie de sel (GSA), créée par un apport accru d'eau peu salée d'origine arctique par le détroit de Fram. Belkin et al. (1998) ont aussi identifié des GSA dans les années 1980 et 1990 mais leur génération était localisée en mer du Labrador. Les GSA ont un impact sur la formation d'eau profonde (Curry et al. 1998). Hansen et Bezdek (1996) et Sutton et Allen (1997) décrivent la propagation d'anomalies de température de surface dont l'origine est située en amont de la dérive Nord Atlantique. Une caractéristique de ces anomalies est que leur propagation est plus lente que celle déduite des échelles de temps advectives (Malmberg et Valdimarsson 1999).

Koltermann et al. (1999) ont trouvé des changements significatifs dans l'amplitude de la cellule méridienne de circulation à 24°N, 36°N et 48°N dans l'Atlantique en comparant les mesures des années 1957-58, 1981-82 et 1992-93 : à 48°N, le transport méridien de chaleur varie entre 0.3 PW et 0.6 PW. L'amplitude de la cellule méridienne de circulation est anti-corrélée avec le taux de production d'eau de la mer du Labrador et corrélée avec la production d'eau dense dans les mers

nordiques. Ces résultats paraissent en désaccord avec McCartney (1997) qui associe les périodes de fort transport de la dérive Nord-Atlantique à une forte production d'eau en mer du Labrador. Des recirculations locales pourraient cependant biaiser cette dernière analyse. Lorbacher (2000) suggère que l'amplitude de la cellule méridienne de circulation varie fortement sur des échelles inter-annuelles.

Il faut également noter la tendance au réchauffement global de l'océan mondial, mis en évidence par Levitus et al. (2000) par exemple : pour l'Atlantique Nord, le réchauffement moyen sur les 50 dernières années serait respectivement de 0.01, 0.006 et 0.003°C/an pour les 300, 1000 et 3000 premiers mètres. En parallèle, les eaux profondes de l'Atlantique Nord voient leur salinité diminuer depuis 4 décennies (Dickson et al. 2002). Ces observations justifient une préoccupation croissante pour l'évolution future de la cellule méridienne, vu son rôle climatique crucial pour notre climat européen.

Faute d'une base de données suffisante, la variabilité de l'océan à échelle de temps saisonnière à inter-annuelle n'est décrite que de manière incomplète et les différentes observations historiques ne sont pas reliées entre elles de manière rationnelle. L'échelle de temps inter-annuelle est énergétique dans le spectre de la NAO et est a priori importante (car comparable aux échelles de temps advective) pour la formation de la SPMW, source des eaux profondes. Quel est alors l'impact de la variabilité inter-annuelle de cette masse d'eau sur la formation des eaux profondes et sur l'amplitude de la cellule de circulation méridienne ? Quel est l'influence du cycle saisonnier et des variations inter-annuelles des forçages atmosphériques ?

Le dispositif expérimental proposé dans le cadre du projet OVIDE, basé sur une section hydrographique répétée (Fig. 1) et les profileurs lagrangiens du projet ARGO, doit contribuer à l'observation des éléments de circulation du gyre subpolaire de l'Atlantique Nord, dans le but de mieux comprendre la variabilité de l'océan, des interactions océan-atmosphère et du climat dans l'Atlantique Nord. Nous proposons de surveiller quatre indices climatiques importants :

- 1) l'amplitude de la cellule méridienne de circulation, responsable du flux de chaleur positif vers l'Europe ;
- 2) les transports nets des nutriments, CFCs, CCl₄ et carbone anthropique ;
- 3) la formation de la SPMW, associée à un transfert de chaleur de l'Atlantique Nord vers l'atmosphère ;
- 4) les caractéristiques des masses d'eau intermédiaires et profondes dont les sources en mer du Labrador, mer Méditerranée, mers de Norvège et du Groenland sont suffisamment proches de la région d'observation pour être rapidement affectées par les variations des forçages.

Nous chercherons des relations entre ces indices climatiques, la variabilité atmosphérique et les variations des conditions aux limites des traceurs.

Le projet OVIDE propose d'effectuer une section, répétée tous les deux ans pendant dix ans, d'hydrographie/géochimie/courantométrie entre la péninsule ibérique et le Groenland (Fig. 1). La durée de 10 ans est choisie pour échantillonner un cycle de la période dominante de la NAO. Le pas d'échantillonnage de 2 ans permettra, grâce à la complémentarité avec la radiale du Dr. Meincke, (Fig. 2) d'échantillonner avec une période annuelle les courants de bord ouest profonds exportant vers le sud les composantes les plus denses de l'eau profonde Nord Atlantique issue du Détroit du Danemark et des seuils Islande-Ecosse, et d'observer la variabilité inter-annuelle de leurs caractéristiques. Après les deux premières réalisations de la radiale en 2002 et 2004, un ré-examen de la périodicité de l'échantillonnage sera effectué en fonction du contexte international et de notre compréhension des mécanismes dynamiques de la variabilité. Cette section s'insère dans le projet international coordonné de CLIVAR/GOOS visant à effectuer des sections répétées d'hydrographie et géochimie dans l'Atlantique Nord (Fig. 3 et Gould et al. 2000). La périodicité de 2 ans choisie pour répéter notre section est un compromis entre la répétition annuelle des sections «mer du Labrador» et «Ecosse-Islande» et celle de 3 ans choisie pour la section 48°N (Fig. 3). La première réalisation de la section hydrographique a eu lieu en 2002 (Fig. 1), la seconde réalisation de la section est l'objet de la présente demande de campagne. Notre radiale hydrographique répétée donnera accès à des informations importantes sur les 4 indices climatiques définis ci-dessus (voir section 4).

Une partie de notre groupe a participé à l'ensemencement de l'Atlantique Nord par des profileurs lagrangiens dans le cadre du projet européen Gyroscope coordonné par Y. Desaubies (LPO). Gyroscope contribue au réseau global d'observation ARGO (Argo Science Team 1998). L'analyse scientifique des données de la radiale OVIDE se fera conjointement avec l'analyse des données des profileurs lagrangiens d'ARGO.

Un programme de modélisation (inverse, assimilation) associé au volet expérimental a également débuté au LPO. C'est l'ensemble de ces résultats que nous analyserons pour une meilleure compréhension de la dynamique de la variabilité de l'Atlantique Nord. Une collaboration étroite avec les équipes françaises travaillant sur la modélisation réaliste est mise en place. Un projet de modélisation à haute résolution DRAKKAR qui fait suite à CLIPPER (<http://www.ifremer.fr/lpo/clipper/>) est en cours de définition (coordination B. Barnier, LEGI). Il se concentrera sur la modélisation réaliste de la circulation générale (courants, transports, transformation des masses d'eau) et la variabilité (échelles saisonnière à pluri-annuelle) dans le gyre subpolaire et peut-être l'Arctique. Les grandes lignes de ce projet sont

présentées en annexe (Annexe Drakkar). L'analyse des données se fera en collaboration étroite avec nos partenaires français et étrangers travaillant dans le gyre subpolaire.

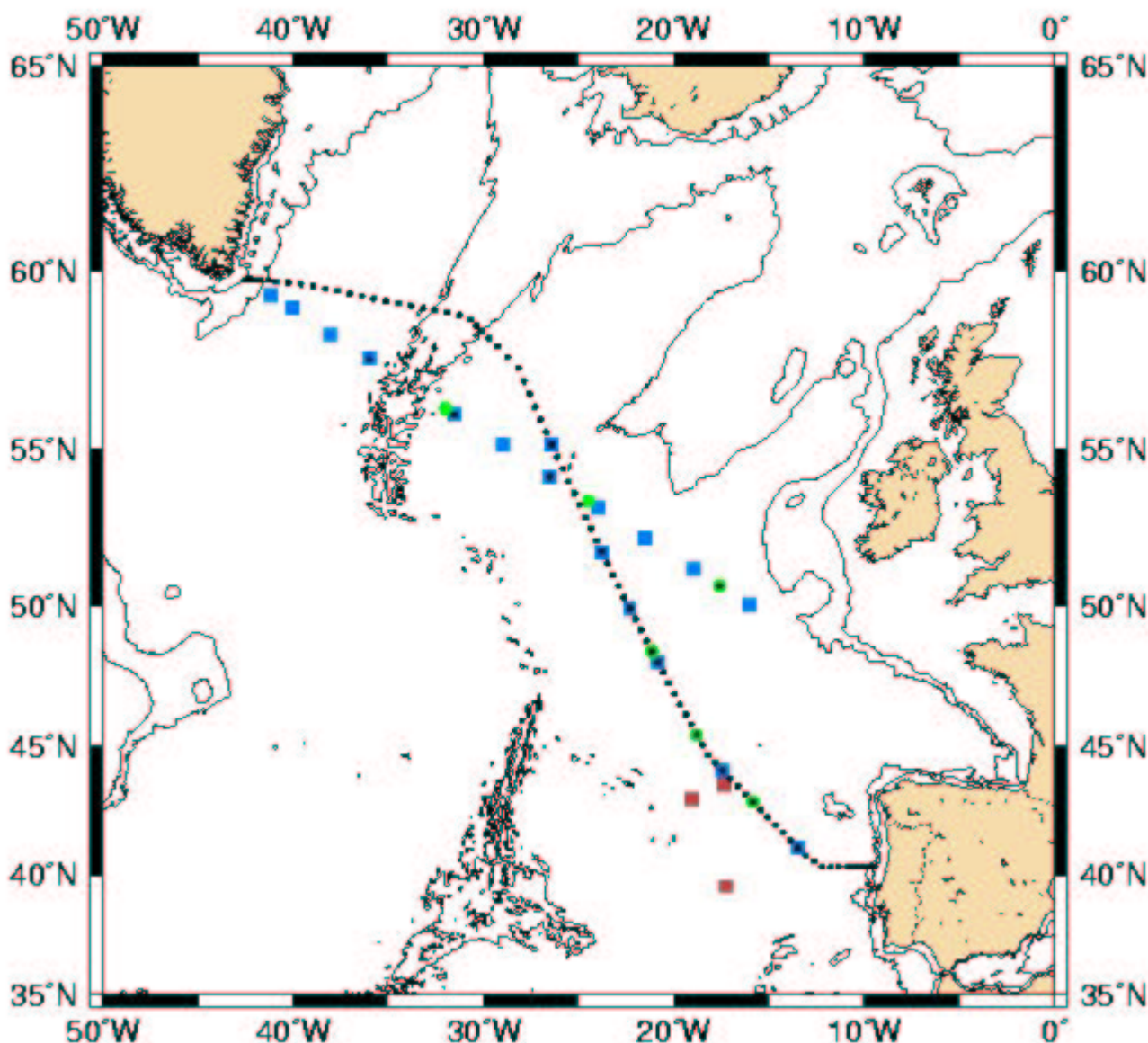


Figure 1 : Travaux à la mer lors de la campagne OVIDE 2002. Cercles noirs : stations d'hydrographie, géochimie, courantométrie Doppler. Rectangles bleus : déploiements de flotteurs profileurs dérivants (PROVOR ou APEX). Cercles verts : déploiements de bouées Météo-France (bouées SVP « Surface Velocity Program »). Rectangles rouges : relevages des mouillages POMME.

2. Dispositif expérimental

2.1 Section hydrographique répétée

Une section hydrographique/vm-adcp/l-adcp/géochimie sera répétée tous les deux ans, l'été, de 2002 à 2010 entre le Portugal et la pointe sud-est du Groenland (Fig. 1). Le tracé de cette section a été choisi pour :

1. Permettre de déterminer l'amplitude de la cellule méridienne de circulation au nord de l'Atlantique Nord et le flux de chaleur vers l'Europe. Ceci impose une section trans-océanique. Le choix d'une section Groenland-péninsule ibérique permet d'estimer le flux de chaleur vers l'Europe du Nord.
2. Réaliser une fois par an l'échantillonnage (transport, caractéristiques des masses d'eau) des courants profonds de

bord ouest situés le long de la pente continentale du Groenland et sur le flanc est de la dorsale de Reykjanes. Ces courants exportent les eaux profondes formées dans les mers nordiques et forment une composante essentielle de la cellule méridienne de circulation. Dans sa partie ouest, notre radiale suit celle du Dr. Meincke, ce qui permettra cet échantillonnage annuel (Fig. 3).

3. Permettre de surveiller la variabilité des masses d'eau de l'Atlantique nord-est (SPMW étudiées lors des campagnes Bord-Est et POMME, eau méditerranéenne, eau de la mer du Labrador étudiées lors des campagnes ARCANE et EUROFLOAT) et de la circulation associée. Cette volonté nous a fait terminer la section au niveau de la péninsule ibérique plutôt qu'en Ecosse.
4. Être perpendiculaire aux principaux courants moyens identifiés dans la région et à la bathymétrie. L'espacement entre les stations a été raffiné au niveau des fronts (front sub-arctique) et des structures bathymétriques (ride Açores-Gascogne) (Fig. 1). Au niveau de la Péninsule ibérique, la radiale se termine au sud du banc de Galice (zone de bifurcation de la veine d'eau méditerranéenne) et au nord de la zone de formation privilégiée des tourbillons d'eau méditerranéenne (meddies), afin de minimiser les perturbations dues aux structures moyennes échelles.

Les paramètres du carbone inorganique (pH, alcalinité, pCO₂, DOC) seront mesurés par l'équipe de F. Pérez de l'IIM à Vigo, les sels nutritifs (nitrates, phosphate, silicates) et certains traceurs anthropiques (CFC-11, CFC-12, CFC-113, CCl₄) par l'équipe de P. Morin (Laboratoire de Chimie Marine, IUEM/UBO et Observatoire Océanologique de Roscoff).

Les masses d'eau intersectées : les champs de salinité, d'oxygène, et de carbone anthropique sur la section OVIDE 2002 (Fig. 2) mettent en évidence les différentes masses d'eau qui sont échantillonnées. Nous nous intéressons plus particulièrement à l'évolution des caractéristiques de la SPMW (maximum de salinité dans les couches de surface) et des produits de la convection : eau de la mer du Labrador (LSW) caractérisée par un minimum de salinité à mi-profondeur, eau des seuils d'Islande-Ecosse (ISOW) et du détroit de Danemark (DSOW) caractérisée par un maximum de salinité profond, panache nord de l'eau méditerranéenne (MOW) caractérisée par un maximum de salinité intermédiaire. Un examen du champ de salinité montre que la section permettra aussi de documenter la structure verticale des structures cohérentes intersectées telles que les Meddies, les tourbillons de NACW (Stammer et Boening 1996).

Les traceurs conservatifs : dans l'océan profond, l'oxygène dissous, les nitrates, les phosphates et les silicates ont sous certaines conditions des variations conservatives. En complément des traceurs physiques classiques (température, salinité), ils aident à l'identification des masses d'eau qui ne pourraient pas être distinguées par les seuls traceurs physiques et la détermination de leur transport présente un intérêt pour les études de bio-géochimie.

Les traceurs transitoires (CFCs, CCl₄) : leurs teneurs ont largement évolué dans l'atmosphère ces dernières décennies et ils constituent donc d'excellents traceurs de la formation d'eau profonde ainsi que de la circulation thermohaline dans l'océan. Les rapports des concentrations CFC-11/CFC-12 ont largement varié dans le temps avant le milieu des années 70 et ces rapports peuvent être utilisés pour estimer l'âge des masses d'eaux formées entre 1950 et 1975. Après cette date, l'utilisation d'autres traceurs transitoires (CFC-113 et CCl₄), dont les concentrations ont évolué à des taux différents des autres fréons ces dernières années, est nécessaire. La combinaison des rapports entre ces différents composés (CFC-11, CFC-12, CFC-113, CCl₄) permettent d'estimer avec une précision suffisante l'âge des masses d'eaux les plus récentes. Le CCl₄, qui a été utilisé dès le début des années 1900 et donc rejeté dans l'atmosphère, permet également de dater les eaux plus vieilles (Eau Antarctique de Fond). Nos résultats les plus récents obtenus lors des campagnes ARCANE ont permis de montrer que ce composé permettait de différencier de manière très nette les eaux issues de la mer du Labrador (caractérisées par un maximum de concentrations) des eaux méditerranéennes (caractérisées par un minimum marqué acquis en Méditerranée).

Les variables du système du carbone (pH, alcalinité, pCO₂, DOC) : elles permettront de calculer le carbone inorganique total C_T en utilisant les équations thermodynamiques du système du carbone (Dickson, 1981) et les constantes de dissociation de Mehrbach et al. (1973). Depuis 1850, les masses d'eau formées en surface contiennent une part de plus en plus importante de carbone inorganique dissous (C_T) dû à l'augmentation de la teneur en carbone dans l'atmosphère liée à l'activité humaine. Après avoir quitté la surface, la masse d'eau subit une perte d'oxygène et un gain de C_T par régénération de matière organique molle et dissolution des organismes calcaires : c'est la pompe biologique. On peut fractionner la concentration en C_T d'un échantillon d'eau de mer en : $C_T = C_T^0 + C_{bio} + C_{CO_3Ca} + C_{ANT}$, où C_T⁰ est la valeur C_T en surface à l'époque pre-industrielle (ie 278 ppm de CO₂), C_{ANT} est l'augmentation de C_T due à l'activité humaine pour les masses d'eau formées après 1850, C_{bio} est la part de C_T régénérée par la respiration de la communauté biologique, et C_{CO₃Ca} est la contribution des organismes calcaires. C_T⁰, C_{bio} et C_{CO₃Ca} pourront être calculés à partir des paramètres mesurés à bord, les mesures permettront donc d'estimer la contribution du carbone d'origine anthropique.

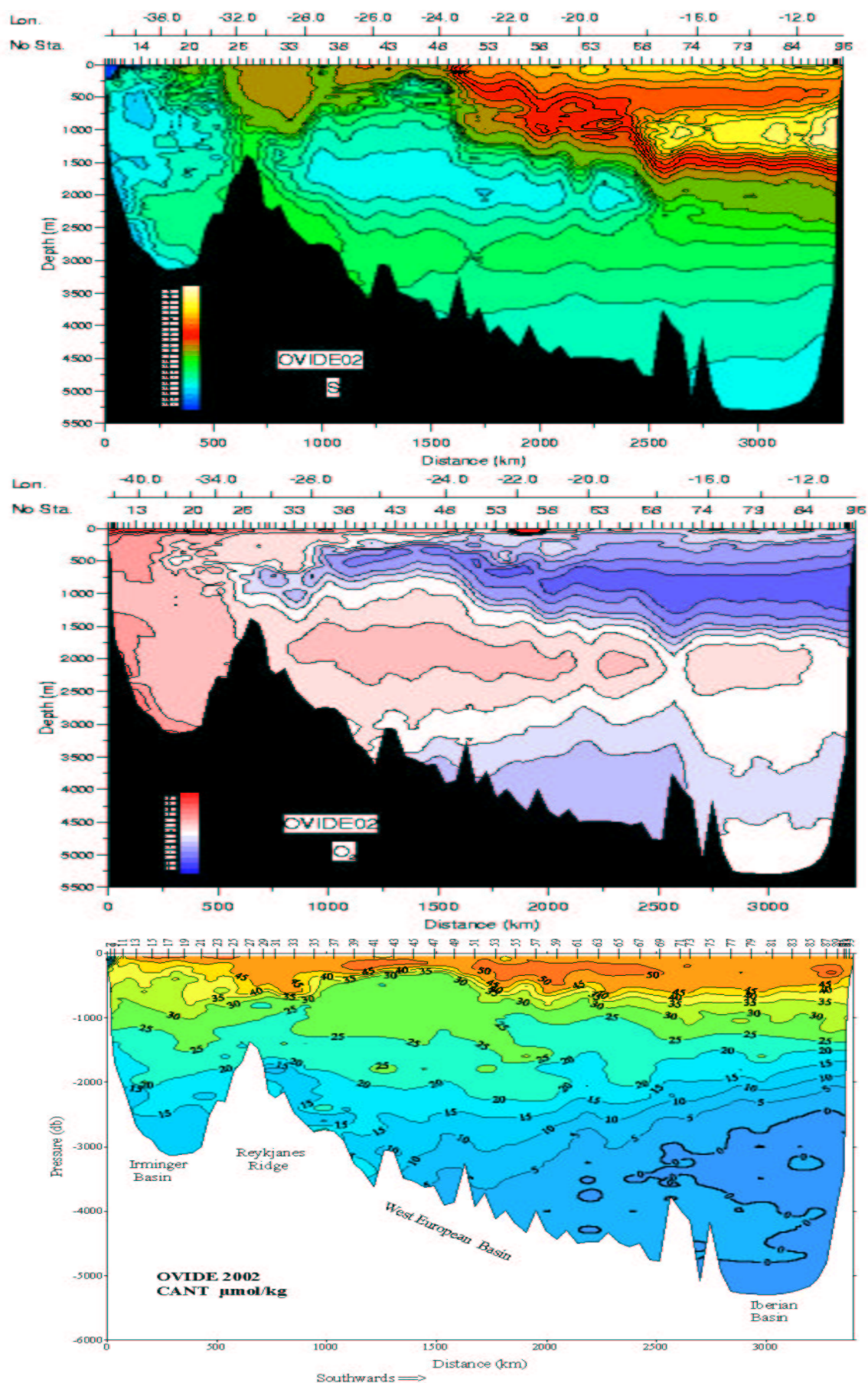


Figure 2 : Salinité, oxygène et carbone anthropique le long de la section OVIDE 2002 entre le Groenland et le Portugal. Toutes les données, figures, rapports et informations sont disponibles en ligne sur le site <http://www.ifremer.fr/lpo/ovide/>.

Insertion internationale : cette section s'inscrit dans un effort international dans le cadre de CLIVAR/GOOS de suivi des propriétés hydrographiques dans le gyre subpolaire (Fig. 3 et Gould et al., 2000) et la volonté affichée au niveau international de maintenir des observatoires en certains points clé pour la circulation. La section 48°N (A02) a été réalisée en mai–juin 2000 et 2002 (P. Koltermann, BSH, Allemagne) et sera répétée en 2003 (M. Rhein, Allemagne) et 2004 (P. Koltermann). La radiale en mer du Labrador est réalisée sur une base annuelle, il y a une volonté de continuer à réaliser la radiale entre le Groenland et l'Ecosse tous les deux ans (2001 et 2003 par le Dr. Meincke, Allemagne). La section entre l'Ecosse et l'Islande sera réalisée sur une base annuelle. Notons aussi la volonté de X. Carton du LPO de répéter sur une base annuelle une section hydrographique à 8°W dans le Golfe de Cadix (projet EMA).

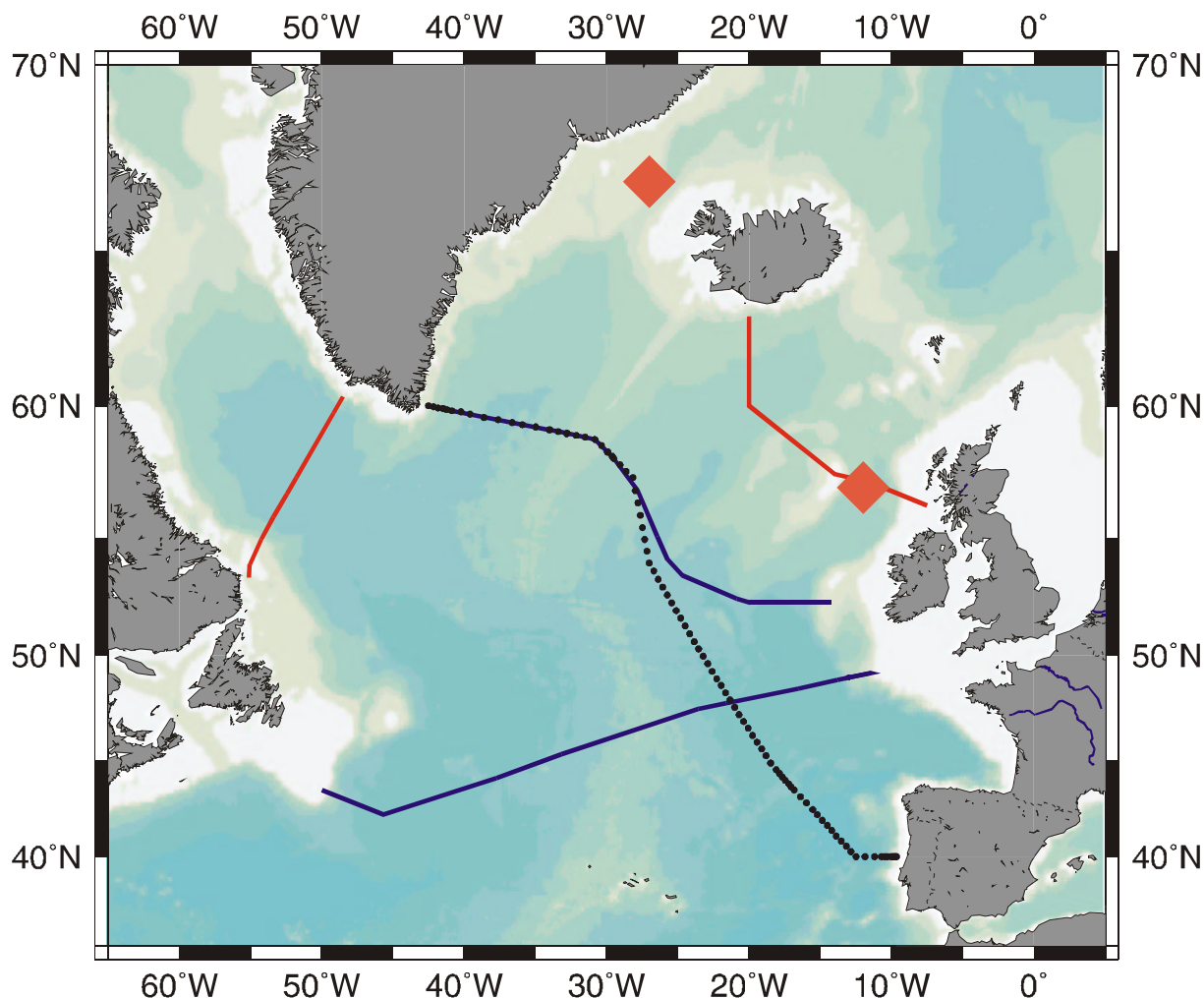


Figure 3 : Radiales hydrographiques répétées dans l'Atlantique Nord (d'après Gould et al. 2000). En trait continu rouge les radiales répétées tous les ans. En trait continu bleu les radiales répétées tous les 2–3 ans. En pointillé noir, la radiale OVIDE. Les carrés rouges indiquent la position des mouillages de courantométrie assurant la surveillance des transports d'eau froide à travers les seuils. La radiale 48°N est réalisée par Dr. P. Koltermann (2000, 2002) et M. Rhein (2003). La radiale Groenland–Ecosse par Dr. J. Meincke (2001, 2003).

2.2. Autres composantes expérimentales

En complément de notre contribution à l'observation de la variabilité du gyre subpolaire et de l'Atlantique Nord–Est, nous nous appuyons sur les observations et produits existants suivants :

- altimétrie et satellite gravimétrique pour l'estimation de la circulation et du contenu thermique, et principalement des variations interannuelles, de vitesse de surface par exemple (en s'affranchissant de l'incertitude sur le géoïde, on atteint des précisions du cm/s) ;
- VOS (Voluntary Observing Ship) pour l'estimation du contenu thermique et halin (collaboration avec G. Reverdin) ;
- vents et flux à l'interface air/mer issus des réanalyses météorologiques (ECMWF, NCEP) et estimés par satellite ;

- flotteurs profileurs lagrangiens du réseau ARGO. Les profileurs lagrangiens de ARGO (et de sa composante française CORIOLIS) dérivent à une pression pré-déterminée et permettent d'effectuer des profils de température et de salinité entre 2000 m et la surface et donnent ainsi des informations sur le contenu thermique et halin. Les données de ces profileurs sont librement accessibles au public au centre CORIOLIS de Brest.

Ces flotteurs sont bien adaptés à l'observation de signaux couvrant une large plage d'échelles spatio-temporelles (après inversion ou assimilation dans un modèle dynamique) : la variabilité saisonnière à inter-annuelle des contenus en chaleur et en sel, la structure à grande échelle de la couche de mélange, la formation des eaux modales et leur subduction, la formation et la propagation d'anomalies de T et S de grande échelle. Dans le cadre du projet européen Gyroscope, le LPO et ses partenaires ont déployé un réseau de 80 flotteurs en Atlantique Nord-Est (25°N–60°N, 40°W–10°W) depuis début 2001 dans le contexte du programme international ARGO, au sein duquel l'ensemble de ces activités flotteurs est coordonnée (ARGO Science Team 1998). L'objectif est d'avoir suffisamment de flotteurs pour une résolution spatiale de 3°. Si les engagements internationaux pris à la réunion « Atlantic Implementation Meeting » en juillet 2000 à Paris sont tenus, ce sera le cas pour les gyres subtropical et subpolaire de l'Atlantique Nord dès 2002. Les flotteurs effectuent un profil (0–2000 m) en température et salinité tous les 10 ou 15 jours. Pour les flotteurs GYROSCOPE deux profondeurs de dérive ont été retenues : 400 m au coeur de la SPMW et 1750 m au coeur de la LSW.

3. Outils d'analyse

Le dispositif expérimental OVIDE, complété par les observations récurrentes disponibles, fournira un vaste jeu de données complémentaires chacune apportant sa couverture spatiale et temporelle propre. La synthèse de cet ensemble permettra de reconstituer des champs de vitesse, de température et de salinité cohérents avec les forçages. Pour ce faire nous nous appuierons sur des approches complémentaires : un modèle à relativement basse résolution (OPA 1/3°) assimilant les données, des modèles inverses, et une modélisation haute résolution (supérieure à 1/6°) pronostique (projet DRAKKAR). La zone résolue par ces modèles sera l'Atlantique Nord au sens large (18°S –70°N) même si l'analyse proposée ici se focalise sur le gyre subpolaire et la région inter-gyre de cet océan.

3.1 Analyse des masses d'eau, calcul des transports de masse (cellule méridienne) et de traceurs, comparaison avec les données historiques

On procédera dans un premier temps à l'analyse des masses d'eau (propriétés, niveau, volume), afin de les comparer aux données historiques (climatologies Levitus et Reynaud, sections hydrographiques précédentes). On suivra plus particulièrement l'évolution des propriétés de l'eau de la mer du Labrador (LSW) et des eaux issues du détroit du Danemark et des seuils Islande-Ecosse en provenance des mers nordiques qui forment l'eau profonde nord-atlantique.

Afin d'obtenir les transports de masse (et plus spécifiquement l'intensité de la cellule méridienne) et de traceurs, plusieurs méthodes seront mises en oeuvre. Des calculs géostrophiques classiques seront menés, que l'on comparera aux transports calculés par interpolation des mesures directes de courants (ADCP) sur les premiers 600 m. Les profils de courants ont été obtenus à chaque station jusqu'au fond à l'aide d'un ADCP monté sur la rosette, et en route et en station jusqu'à 600 m à l'aide d'un ADCP de coque NB75. La comparaison des données des deux ADCP permettra d'étudier les ondes de marée et d'inertie-gravité aux stations et d'estimer une barre d'erreur dans les calculs de transport. Enfin le modèle inverse en boîte du LPO sera utilisé pour faire la synthèse des observations dans un contexte dynamique cohérent.

Des analyses complémentaires sur la représentativité de la section et l'estimation de la variabilité saisonnière et interannuelle seront menées à partir des données historiques, des flotteurs profileurs à l'aide d'un modèle inverse, et à partir des sorties de modèles réalistes (CLIPPER, puis DRAKKAR, en collaboration avec les équipes concernées).

En 2002, nous avons prélevé des échantillons pour J. C. Gascard (LODYC) pour analyse de l'Iode 129 (un traceur anthropique rejeté essentiellement par les usines de retraitement de déchets nucléaires, La Hague et Sellafield). Ces prélèvements seront reconduits en 2004, afin de permettre des bilans de ce traceur (programme européen MAIA). Son équipe travaillera également sur la variabilité du transport méridien au travers de 59°N–60°N entre le Groenland et les Shetland, au voisinage de la ride de Reykjanes et au voisinage des Shetland. Les données des sections XBTs des dernières années seront analysées conjointement aux données altimétriques et aux données ADCP pour tenter d'estimer le transport méridien de chaleur des eaux chaudes superficielles dans ce secteur de l'Atlantique.

3.2 Assimilation

La géométrie du réseau de profileurs lagrangiens variera de manière aléatoire, ce qui nécessitera une stratégie adaptée d'interprétation. L'assimilation dans un modèle doit fournir l'interpolation dynamique spatio-temporelle des données flotteurs. Les mesures en des points ou des sections fixes (hydrographie, courantométrie) et l'altimétrie seront aussi

assimilées et sont complémentaires. Le modèle est mis en oeuvre par le LPO qui a conduit des travaux d'assimilation 4D-variationnelle de données hydrographiques WOCE et altimétriques dans l'océan indien (Ferron et Marotzke 2002). Une approche similaire sera utilisée pour la région OVIDE afin de fournir des réanalyses de la circulation sur l'Atlantique nord en utilisant des observations altimétriques de hauteur de surface de la mer, des données hydrologiques de flotteurs dérivants et de profils hydrographiques (section), et des cartes de températures de la surface de la mer.

En 2002, nous avons commencé à mettre en place la configuration qui sera utilisée lors des expériences d'assimilation avec le modèle OPA au $1/3^\circ$ et son adjoint sur un domaine Atlantique s'étendant de 20°S à 70°N (CLIPPER NATL3). La bathymétrie du modèle a été refaite de manière à être plus lisse. Les forçages atmosphériques seront ceux construits pour CLIPPER, adaptés à notre utilisation d'une surface libre. Le forçage des frontières ouvertes a été étudié. L'assimilation des données débutera en 2003. Le choix d'une relativement haute résolution a été motivé par une nécessité d'approcher le contenu physique du modèle de celle des observations altimétriques afin de retirer par assimilation davantage d'informations de ces observations. Aussi, nous commencerons par étudier l'impact de l'assimilation des données altimétriques sur la circulation. Nous passerons ensuite à l'assimilation multi-données en combinant à l'altimétrie des observations de la stratification fournies par les flotteurs profileurs et les campagnes hydrologiques. Nous nous appuyerons sur les travaux de thèse de G. Forget qui étudie l'impact de l'assimilation de profils de température et salinité sur la circulation en Atlantique Nord dans un modèle à plus basse résolution.

3.3 Inversions

Un modèle inverse en boîte (e.g. Lux et al. 2001) sera utilisé pour combiner mesures hydrographiques, géochimiques, et ADCP avec des équations de conservation dans un cadre géostrophique. Cette inversion permettra l'estimation de la circulation absolue perpendiculaire à la section et la détermination des transports de chaleur, de carbone et de nutritifs à partir de la section OVIDE. Ce modèle sera ensuite étendu, en collaboration internationale, par l'incorporation des autres données hydrographiques de la zone.

Une configuration Nord Atlantique du modèle aux différences finies du LPO (Mercier et al. 1993) a été construite avec une résolution spatiale de 1° et adaptée à l'utilisation des données issues des profileurs : la dynamique est géostrophique, mais les équations de conservation comportent un terme d'évolution temporelle. Une première simulation incluant les données des profileurs de l'année 2001 a été effectuée ainsi que des simulations de référence avec la base de données historiques de T. Reynaud et les données hydrographiques disponibles en 96–98. Des analyses sont en cours pour diagnostiquer l'amplitude de la cellule méridienne de circulation et les différents termes de l'équation de la chaleur sur ces trois simulations. Suite aux déploiements effectués dans le cadre du projet Gyroscope, la base de données sera, à partir de 2002, nettement plus conséquente et devrait permettre d'accéder à la variabilité saisonnière de la circulation et des flux de chaleur. Cette analyse aidera à l'interprétation des bilans de chaleur basés uniquement sur les profileurs lagrangiens. De plus ce modèle fortement contraint par les données fournira une référence indispensable au projet d'assimilation.

3.4 Modélisation pronostique

Une collaboration est en place avec l'équipe CLIPPER (B. Barnier, G. Madec, T. Penduff, A.M. Treguier) qui proposent de focaliser le projet de modélisation réaliste qui fera suite à CLIPPER sur l'étude de la circulation du gyre subpolaire de l'Atlantique Nord. La transition vers ce nouveau projet, DRAKKAR (voir Annexe) est progressive. Nos analyses de données seront directement utiles pour valider le modèle numérique qui fournira un contexte dynamique.

4. Bénéfices scientifiques

Notre objectif est de participer à l'observation de la variabilité du climat du gyre subpolaire de l'Atlantique Nord (incluant l'Atlantique Nord Est) à échelles de temps saisonnière à inter-annuelle, et à sa compréhension, en déterminant entre autre les équilibres dynamiques conduisant à sa variabilité. Vu son rôle prépondérant dans le transport de chaleur vers l'Europe, surveiller l'évolution de l'intensité de la cellule thermohaline est une préoccupation climatique majeure. Nous détaillons ci-dessous nos principaux objectifs scientifiques qui reprennent en les explicitant les indices climatiques définis précédemment (section 1).

4.1 Documenter les propriétés des masses d'eau, la circulation associée et leur variabilité

Notre section hydrographique répétée donnera accès aux caractéristiques physiques et géochimiques de la variabilité des principales masses d'eau par comparaison des sections entre elles et confrontation aux données historiques. Nous nous focaliserons sur l'étude de la SubPolar Mode Water (SPMW), de l'eau de la mer du Labrador (LSW), de l'eau méditerranéenne (MOW), et de l'eau issue des seuils du Danemark et Islande-Ecosse (OW). La circulation des masses

d'eau sera estimée par les analyses menées à partir des modèles inverses et par assimilation de données. Les données de la radiale hydrographique complèteront, par la variété des traceurs mesurés et la résolution spatiale des données, les observations des flotteurs profileurs dans la couche 0–2000 m.

SPMW Le gyre sub-polaire de l'Atlantique Nord est alimenté en eau chaude par la dérive Nord Atlantique. Les échanges air-mer vigoureux provoquent alors la transformation progressive de l'eau chaude advectée autour du gyre en SPMW froide (McCartney et Talley, 1982). Différentes variétés de SPMW existent qui alimentent les régions de convection des mers du Labrador, du Groenland et de Norvège (variétés les plus froides) ou recirculent dans la thermocline en Atlantique Nord-Est (variété à 11°C) (Talley 1999). Talley (1999) suggère l'existence de régions spécifiques de formation des SPMW, possiblement associées à des structures topographiques, et identifie une variation décennale des propriétés de la SPMW. Nous documenterons les régions de formation des différentes variétés de SPMW et leur variabilité spatiale et temporelle à partir de notre section hydrographique, celles réalisées par la communauté internationale ainsi que des données de flotteurs profileurs. Notre radiale échantillonnera les variétés de la SPMW dans le bassin d'Irminger et l'Atlantique Nord-Est (Bersh et al. 1999). Nous déterminerons à partir de l'analyse des simulations dynamiques le rôle respectif du forçage local et de l'advection dans la variabilité de cette masse d'eau ainsi que le taux de subduction de SPMW dans l'Atlantique Nord-Est (Paillet et Mercier 1997). Les premières analyses des données de la campagne OVIDE 2002 montrent clairement la présence d'une eau modale à 7–8°C située entre 200 et 600 m vers 58°N, sur le bord est de la dorsale de Rekjanes, ce qui confirmerait les résultats de Talley (1999). Nous déterminerons à partir d'une analyse plus fine de la section les propriétés et la localisation des différentes eaux modales échantillonnées par la section. Les prochaines sections et la comparaison aux données historiques permettront de documenter la variabilité interannuelle des caractéristiques de ces eaux modales. En 2003, nous débiterons une étude des mécanismes de formation des eaux modales et le rôle des structures topographiques, ainsi que celui de l'activité de méso-échelle, seront plus spécifiquement examinés.

LSW La LSW est formée par convection hivernale en mer du Labrador et circule selon trois routes : le courant profond de bord ouest l'entraîne directement vers les tropiques, une partie recircule rapidement dans le bassin d'Irminger et une branche de circulation l'entraîne vers l'est. Koltermann et al. (1999) montrent que les échelles de temps pour observer la propagation des différents crues de la LSW vers le bassin d'Irminger et l'Atlantique Est sont respectivement inférieures à 1 an et de l'ordre de 5 ans. Notre radiale hydrographique, et peut-être les flotteurs profileurs, devraient nous permettre de quantifier la variabilité de la LSW jusque dans l'Atlantique Nord-Est. La variabilité au coeur de la LSW peut atteindre 1°C près de la source et est de l'ordre de 0.1°C dans l'Atlantique est (Bersch et al. 1999). Les mesures hydrographiques de CLIVAR permettront de compléter ces résultats, en particulier notre section qui échantillonnera la branche de circulation vers l'est et la recirculation dans la mer d'Irminger de la LSW. Nous tenterons donc de déterminer la distribution spatiale et l'évolution temporelle des anomalies. Les échelles de temps de la circulation de cette masse d'eau seront déduites des âges estimés par les traceurs anthropiques (Rhein et al. 2002), et confrontés aux résultats de modèle.

MOW La partie est de la radiale OVIDE coupera le courant de bord est transportant la MOW vers le nord contre le talus ibérique ainsi que l'extension vers le nord-ouest de cette masse d'eau. Les flotteurs profileurs permettront de caractériser la distribution spatiale des anomalies de température et de sel associées à cette masse d'eau. Nous nous intéresserons plus particulièrement à caractériser le front entre la LSW et la MOW (Fig. 2). Reid (1979) argumente que la MOW est une source pour l'eau chaude alimentant les mers nordiques. McCartney et Mauritzen (2000) soutiennent au contraire que toute la MOW est exportée vers le gyre subtropical. Pour apporter des éléments de réponse à cette question, nous nous emploierons à quantifier le transport de sel vers le nord dans le bassin est à partir de la radiale OVIDE ainsi que dans les champs analysés (inversion, assimilation).

OW Les OW pénètrent au nord de l'Atlantique Nord par le détroit du Danemark (DSOW) et par les seuils entre l'Islande et l'Ecosse (ISOW). Ils alimentent des courants de bord ouest profonds dans le bassin d'Irminger et le bassin est. Des observatoires devraient déterminer les transports aux seuils (Fig. 3). La radiale OVIDE se situe en aval de ces observatoires et échantillonnera le produit du mélange et de l'entraînement des eaux des overflows avec l'eau de l'Atlantique Nord. La détermination des caractéristiques et les transports des OW en aval de ces seuils permettra de déduire des informations sur le mélange et l'entraînement, ainsi que leur variabilité.

4.2 Documenter la variabilité de l'amplitude de la circulation thermohaline et des transports de traceurs

Seule une radiale d'hydrographie et géochimie peut permettre d'estimer précisément ces paramètres. Dans l'Atlantique, l'amplitude de la circulation thermohaline est directement reliée au transport de chaleur vers le Nord. Koltermann et al. (1999) ont trouvé des changements significatifs dans le transport net des masses d'eau à 48°N dans l'Atlantique en comparant les mesures des années 1957–58, 1981–82, 1992–93. L'analyse de la radiale hydrographique OVIDE permettra de documenter les variations de l'amplitude de la cellule méridienne de circulation à échelle de temps inter-

annuelle et des propriétés associées (en particulier transport de chaleur, nutritifs, fréons, carbone anthropique) et de déterminer leur origine. L'estimation du transport de la cellule méridienne de circulation effectuée à partir de la radiale du Dr. Koltermann (Fig. 3) inclura la contribution du courant de bord-ouest exportant la LSW vers le sud. Ce ne sera pas le cas de la radiale OVIDE. La confrontation de nos résultats avec ceux de P. Koltermann sera une autre source d'information sur la circulation de la LSW. La répétition de la radiale OVIDE permettra de résoudre la variabilité inter-annuelle de l'amplitude de la cellule méridienne de circulation et du transport de chaleur associé. Nous utiliserons les simulations numériques contraintes par les données pour estimer les fluctuations à plus hautes fréquences.

La variabilité des transports méridiens de traceurs sera estimée : à travers la section 4x (Bacon 1998) par exemple, Álvarez et al. (2002) ont obtenu des transports de 50, 6, 26 et 1992 kmol/s de nitrate, phosphate, silicate et oxygène, du gyre subpolaire vers le gyre subtropical. Les flux de carbone feront l'objet d'une attention particulière, l'Atlantique Nord étant une région de puit pour ce paramètre (Brewer 1978, Roos et Gravenhorst 1984, Takahashi 1989, Merlivat et al. 1991, Rios et al. 1995). Les transports de carbone obtenus seront confrontés aux mesures de pCO₂ effectuées dans le cadre de CAVASSO (voir collaboration internationale). À travers la section 4x, Alvarez et al. (2003) ont obtenu un transport de carbone inorganique vers le sud, alors que le transport de carbone anthropogénique est vers le nord : ces résultats impliquent que l'Atlantique Nord subpolaire est un puit de CO₂ important, puisque 17% de ces flux air-mer correspondent directement à du carbone anthropique.

4.3 Bilans de chaleur et d'eau douce

Une des clés pour expliquer la variabilité observée viendra de la possibilité de quantifier les différents termes des bilans de chaleur, d'eau douce et de sel et leur variabilité. Comment la chaleur et le sel importés par la dérive Nord Atlantique dans le gyre subpolaire sont-ils redistribués ? Quelle est la part de chaleur cédée à l'atmosphère, quelle est la part stockée dans le gyre, quel est le rôle de l'advection et du forçage éolien ? Le bilan de sel est aussi de grande importance. Le sel est un des éléments qui contrôle la formation des eaux profondes : la "grande anomalie de sel" a par exemple bloqué la convection en mer du Labrador plusieurs années (Dickson et al. 1988). L'évolution de la salinité dans ces régions clés est critique pour la stabilité de la cellule thermohaline dans le cadre du réchauffement climatique (Wood et al. 1999, Latif et al. 2000). L'accent sera mis sur le diagnostic du bilan de chaleur et de sel de la couche mélangée à partir du modèle inverse et de l'assimilation de données.

4.4 Documenter la structure, en particulier verticale, des perturbations cohérentes (T,S)

Lorsque le programme d'observation aura perduré, il sera une contribution significative au suivi des anomalies de température et salinité de surface de grande échelle, qui se propagent lentement à des vitesses qui ne sont pas celles de la circulation générale océanique autour du gyre subpolaire de l'Atlantique Nord et dans la zone intergyre (Atlantique Nord-Est entre la dérive Nord-Atlantique et le courant des Açores). Belkin et al. (1998) décrivent l'impact des deux "grandes anomalies de sel" qui ont influencé la zone intergyre, en 76-77 puis en 85-87, et se sont manifestées par un refroidissement d'environ 0.5°C des eaux centrales. Il s'y superpose, depuis le début des années 70 un lent réchauffement moyen de ces eaux, dont il est important de mesurer l'extension et l'évolution, et les mécanismes sous-jacents. Ce réchauffement est marqué par des fluctuations plus intenses (comme en 89-90 par exemple), sans doute liées à des apports d'eaux chaudes et salées en provenance du gyre subtropical. Un apport essentiel des profileurs lagrangiens et des sections hydrographiques de CLIVAR sera de permettre de déterminer la structure verticale de telles anomalies.

4.5 Relations avec le forçage atmosphérique

Nous estimerons la phase entre la variabilité de la circulation et la variabilité des forçages (vent, flux de chaleur, flux d'eau douce). Une question clé dans l'identification des mécanismes à l'origine de la variabilité de l'océan est de savoir si la variabilité océanique est forcée par l'atmosphère ou si elle reflète un mécanisme purement océanique. Les observations ont montré notamment l'existence d'anomalies de SST d'échelle intermédiaire de l'ordre de 1000 km avec des périodes pluriannuelles à décennales dans l'Atlantique Nord. Ces anomalies ont des échelles spatiales identiques aux anomalies atmosphériques de pression au niveau de la mer (SLP). Ces grandes anomalies de SLP ont un impact majeur sur la circulation du gyre subpolaire ainsi que sur le climat de l'Europe via l'Oscillation Nord Atlantique (NAO). La dynamique qui entretient l'oscillation Nord Atlantique aux différentes périodes observées n'est pas encore élucidée. Les travaux récents de Rodwell et al. (1999) indiquent, néanmoins, que la variabilité décennale de la NAO peut être reproduite dans les modèles atmosphériques (Hadley Centre, UK) par les forçages (flux positif de chaleur de l'océan vers l'atmosphère) via les températures de surface observées. Il y a donc un lien causal entre SST et NAO dont la dynamique reste encore inconnue. Tourre et al. (1999) ont analysé la variabilité longue-période de l'océan Atlantique sur la base de corrélations conjointes de SST et SLP issues de 136 ans de données. Pour les périodes supérieures à 3.5 ans, les signaux de SST liés à

l'oscillation NAO sont clairement situés dans la dérive Nord Atlantique secteur ouest 52°N, 30–50°W ainsi que dans le secteur 30–40°N, 40–70°W. Ces régions se situent à proximité de la frontière intergyre dans le secteur ouest de l'Atlantique Nord. Les mesures issues d'un suivi lagrangien de flotteurs profilants tous les 10 à 15 jours et de longue durée sont parfaitement appropriés pour observer et analyser ce type de variabilité grande échelle spatio-temporelle.

5. Coopérations nationales et internationales

PNEDC G. Reverdin (projet SURATLANT), J. C. Gascard et C. Jeandel (GINS/SIGNATURE) proposent des analyses scientifiques complémentaires des nôtres. SURATLANTE est un réseau d'observation des conditions de surface dans le gyre subpolaire de l'Atlantique Nord basé sur deux navires d'opportunité. Le projet GINS/SIGNATURE contribue à la documentation de la formation des OW dans les mers nordiques et a contribué à leur suivi dans le nord de l'Atlantique Nord. Une collaboration étroite avec ces équipes est prévue dans la phase d'analyse scientifique. En 2002, des prélèvements ont été effectués pour des analyses complémentaires de traceurs, en particulier dans le courant profond de bord ouest le long du Groenland : Iode 129, O18 et C13 (G.–C. Gascard, LODYC), terres rares (C. Jeandel, LEGOS). Ces chercheurs ont exprimé leur intérêt pour reconduire ces analyses en 2004, dont nous effectuerons donc les prélèvements.

CLIVAR/GOOS Ce programme permet de coordonner les différentes actions en Atlantique Nord. L'étude de la variabilité de la gyre subpolaire à partir de la section hydrographique se fera en collaboration avec Dr. P. Koltermann (BSH Hamburg) et Dr. J. Meincke (IFM Hamburg). S. Bacon (SOC) a aussi donné son accord pour collaborer à une étude de la variabilité de la circulation et des transports de chaleur basée sur la comparaison des résultats des radiales FOUREX et OVIDE (en collaboration avec M. Alvarez).

LPO X. Carton propose de réaliser sur une base annuelle une radiale hydrographique à 8°W dans le Golfe de Cadix, dans le cadre du projet EMA (Eau Méditerranéenne en Atlantique). En 2002, cette section a immédiatement suivi notre arrivée à Lisbonne. Une analyse conjointe de la radiale Ovide et de la radiale à 8°W est prévue.

CORIOLIS/ARGO Dans le cadre de la contribution française au programme international ARGO, nous contribuons au déploiement de flotteurs profileurs selon les besoins exprimés par CORIOLIS en 2004 (Y. Desaubies).

CAVASSOO Projet Européen (2001–2003) pour étudier et évaluer les fluxes de CO₂ entre l'atmosphère et l'océan dans le Nord Atlantique. On fera pendant la section mesures en continue de pCO₂ dans l'eau de surface et dans l'atmosphère. Les participants sont : A. Watson (UEA, UK), D. Wallace (IFM Kiel, Allemagne), A. Rios (Vigo), T. Johannessen (Bergen, Norvège), P. Cias (LSCE, France). Ce projet fournira les conditions limites de surface qui permettront de placer nos mesures dans un contexte grande échelle.

IFREMER/DRO/DOPS/OS Rôle d'expertise sur les vents et flux satellitaires.

Références citées dans le texte

- Álvarez, M., H.L. Bryden, F.F. Pérez, A.F. Ríos, G. Rosón 2002: Physical and biogeochemical fluxes and budgets in the subpolar and temperate North Atlantic. *Journal Marine Research*, 60, 191–226.
- Álvarez, M, A.F. Ríos, F.F. Pérez, H.L. Bryden, G. Rosón 2003. Transports and budgets of total inorganic carbon in the subpolar and temperate North Atlantic. *Global Biogeochemical Cycles* (in press).
- ARGO Science Team 1998: On the design and implementation of ARGO. <http://www-argo.ucsd.edu/designdoc.html>
- Bacon, S., 1998: RRS Discovery Cruise 230, 07 august –17 september 1997. Two hydrographic sections across the boundaries of the sub-polar gyre: FOUREX. SOC Cruise Report, No. 16, 104 pp.
- Belkin, I.M., S. Levitus, J. Antovov, S.A. Malmberg, 1998: Great salinity anomalies in the North Atlantic. *Prog. Oceanogr.* 41:1–68.
- Bersch et al. 1999: Interannual thermohaline changes in the northern North Atlantic 1991–1996. *Deep-Sea Research II*, 46, 55–75.
- Brewer, P.G. 1978: Direct observations of the oceanic CO₂ increase. *Geophysical Research Letters*, 5(12): 997–1000.
- Colin de Verdière, A., H. Mercier, M. Arhan, 1989: Mesoscale variability transition from the western to the eastern Atlantic along 48°N. *J. Phys. Oceanogr.*, 19, n° 9.
- Curry, R. G., M. S. McCartney, T. M. Joyce 1998: Oceanic transport of subpolar climate signals to mid-depth subtropical waters. *Nature*, 391, 575–577.
- Dickson, A. G., 1981: An exact definition of total alkalinity and procedure for the estimation of alkalinity and total inorganic carbon from titration data. *Deep-Sea Res.*, 28, 609–623.
- Dickson R., J. Lazier, J. Meincke, P. Rhines, J. Swift, 1988: The great Salinity Anomaly in the northern North Atlantic, 1968–1982. *Prog. Oceanog.*, 20, 103–151.
- Dickson R., J.Lazier, J.Meincke, P.Rhines, J.Swift, 1996: Long-term coordinated changes in the convective activity of the North Atlantic. *Prog. Oceanog.*, 38, 241–295.
- Dickson, B., I. Yashayaev, J. Meincke, B. Turrell, S. Dye, J. Holfort, 2002: Rapid freshening of the deep North Atlantic Ocean over

- the past four decades. *Nature*, 416, 832–837.
- Ferron, B., J. Marotzke, 2002: Impact of 4D-variational assimilation of WOCE hydrography on the meridional circulation of the Indian Ocean. *Deep-Sea Res.*, soumis.
- Garnier, V., R. Schopp 1999: Wind forcing and mesoscale activity along the Gulf Stream and the North Atlantic Current. *Journal of Geophysical Research*, 104, C8, 18087–18110.
- Gould, W. J., J. M. Toole and co-authors, 2000: Investigating ocean climate variability : the need for systematic hydrographic observations in CLIVAR/GOOS. "Oceanobs paper" available from the author.
- Hansen, D. V., H. F. Bezdek, 1996: On the nature of decadal anomalies in the North Atlantic sea surface temperature. *Journal of Geophysical Research*, 101, 8749–8758.
- Joyce, T. M., C. Deser, M. A. Spall, 2000: The relation between decadal variability of subtropical Mode Water and the North Atlantic Oscillation. *Journal of Climate*, 13, 2550–2569.
- Koltermann, K. P., A. V. Sokov, V. P. Dobroliubov, K. Lorbacher, A. Sy, 1999: Decadal changes in the thermohaline circulation of the North Atlantic. *Deep-Sea Research II*, 46, 109–138.
- Latif, M., E. Roeckner, U. Mikolajewicz, R. Voss, 2000: Tropical stabilization of the thermohaline circulation in a greenhouse warming simulation. *J. Climate*, 13, 1809–1813.
- Levitus, S., J. I. Antonov, T. P. Boyer, C. Stephens, 2000: Warming of the world ocean. *Science*, 287, 2225–2229.
- Lorbacher, K. 2000: Transport variability across 48°N in the North Atlantic : An oceanic index of climate variations in the North Atlantic ? Abstract. The WOCE/CLIVAR representativeness and variability workshop. FuKuoka, Japan.
- Lux, M., H. Mercier, M. Arhan, 2001: Interhemispheric exchanges of mass and heat in the Atlantic in January–March 1993. *Deep-Sea Research*, 48, 605–638.
- Malmberg S.-A., H. Valdimarsson, 1999: Satellite tracked surface drifters and " Great Salinity Anomalies " in the subpolar gyre and the Norwegian Sea. *The international WOCE Newsletter*, 37.
- McCartney, M. S., C. Mauritzen, 2000: On the origin of the warm inflow to the Nordic Seas. Submitted to *Progress in Oceanography*.
- McCartney, M. S. 1997: The North Atlantic Atmosphere–Ocean Oscillation. P 55–60 in US WOCE report : 1997 US WOCE implementation report n°9, US WOCE Office, College Station, TX.
- McCartney, M. S., L. Talley, 1982: The Subpolar Mode Water of the North Atlantic. *J. Phys. Oceanogr.*, 12, 1169–1188.
- Mehrbach, C., Culberson, C.H., Hawley, J.E., Pytkowicz, R.M., 1973: Measurement of the apparent dissociation constants of carbonic acid in seawater at atmospheric pressure. *Limnology and Oceanography*, 18, 897–907.
- Mercier, H., M. Ollivraut, P.Y. Le Traon, 1993: An inverse model of the North Atlantic general circulation using lagrangian float data. *Journal of Physical Oceanography*, 23, 689–715.
- Merlivat, L., J. Etcheto, J. Boutin. 1991: CO₂ exchange at the air–sea interface: time and space variability. *Adv. Space. Res.*, 11: (3)77–(3)85.
- Paillet, J., H. Mercier, 1997: An inverse model of the eastern North Atlantic general circulation and thermocline ventilation. *Deep Sea Res.*, 44 (8), 1293–1328.
- Paillet, J., B. Le Cann, A. Serpette, Y. Morel, X. Carton, 1999: Real-Time tracking of a Galician meddy. *Geophys. Res. Letters.*, 26, 13, 1877, 1880.
- Reid, J. L., 1979: On the contribution of the Mediterranean Sea outflow to the Norwegian–Greenland Sea. *Deep-Sea Res.*, 26, 1199–1223.
- Rhein, M., et al., 2002: Labrador Sea Water: Pathways, CFC Inventory, and Formation Rates. *J. Phys. Oceanogr.*, 32, 648–665.
- Ríos, A.F., T.R. Anderson, F.F. Pérez. 1995: The carbonic system distribution and fluxes in the NE Atlantic. *Prog. Oceanog.*, 35: 295–314.
- Rodwell, M. J., D. P. Rowell, C. K. Folland, 1999: Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate. *Nature*, 398, 320–323.
- Roos, M., G. Gravenhorst. 1984: The increase in oceanic carbon dioxide and the net CO₂ flux into the North Atlantic. *J. Geophys. Res.*, 89: 8181–8193.
- Schauer, 1989: A Deep saline cyclonic eddy in the west European basin. *Deep Sea Research*, 36, 1549–1565.
- Stammer, D., C. Boening, 1996: Generation and distribution of mesoscale eddies. In: *The North Atlantic Ocean in Warm Water Sphere of the North Atlantic Ocean*, edited by W. Krauss, pp. 446, Gebrueder Borntraeger, Berlin, 1996.
- Stommel, H., 1979: Oceanic warming of western Europe. *Proc. Nat. Acad. Sci., US*, 76, 2518–2521.
- Sutton, R.T., M.R. Allen, 1997: Decadal predictability of North Atlantic sea surface temperature and climate. *Nature*, 388, 563–567.
- Takahashi, T., 1989: Only half as much CO₂ as expected from industrial emissions is accumulating in the atmosphere. Could the oceans be the storehouse for the missing gas?. *Oceanus*, 32: 22–29.
- Tourre, Y. M., B. Rajagopalan, Y. Kushnir, 1999: Dominant patterns of climate variability in the Atlantic ocean region during the last 136 years. *J. Climate*, 12, 2285–2299.
- Talley, L. D., 1999: Mode waters in the subpolar North Atlantic in historical data and during the WOCE period. *The International WOCE News Letter*, 37, 3–6.
- Wood, R. A., A. B. Keen, J. F. B. Mitchell, J. M. Gregory, 1999: Changing spatial structure of the thermohaline circulation in response to atmospheric CO₂ forcing in a climate model. *Nature*, 399, 572–575.

STRATEGIE D'APPROCHE ET METHODES

(Ce document peut être rédigé en anglais)

- **Méthodologie détaillée et liste précise des travaux pour atteindre les résultats escomptés – stratégie,**
- **Déroulement général de la mission, durée totale, temps sur zone, période souhaitée, escale éventuelle et raisons de ce souhait, carte de situation générale**
- **Calendrier journalier prévisionnel des travaux (tableau J1 à Jx) précisant : travaux, trajets, stations, profils, les différentes zones d'études, ... documents cartographiques obligatoires. Pour les études de sismique et les levés sonars il est indispensable d'indiquer le nombre de milles nautiques des profils.**
- **Pour les trajets, estimer les durées avec les vitesses suivantes : 10 nœuds pour le Suroît et Nadir, 11 nœuds pour Thalassa et L'Atalante)**

Dans la première partie de ce document, nous avons exposé notre proposition de répéter une radiale hydrographique entre le Portugal et le Groenland, nous avons proposé une méthodologie d'interprétation des données et présenté les bénéfices scientifiques attendus. Nous présentons ici le détail de la campagne 2004, basé sur l'expérience de la campagne 2002, qui s'est déroulée de manière nominale, dans des conditions météorologiques clémentes.

Le plan général de déroulement de la campagne est présenté en Figure 4, pour un début de campagne à Vigo (Espagne) et une fin de campagne à Brest (France). En comparaison, le plan de la campagne Ovide 1 en 2002, qui a débuté à Brest et s'est terminé à Lisbonne, est parfaitement satisfaisant même si l'arrivée tôt dans la saison estivale sur la côte de Groenland n'a pas permis de s'approcher suffisamment des côtes à cause des glaces pour bien échantillonner le courant groenlandais.

En considération de la zone d'opération (nord de l'Atlantique Nord) et de l'expérience acquise lors de la première section de la série, il est raisonnable d'estimer les trajets à la vitesse de 10 nœuds. En effet, la vitesse effective du navire Thalassa lors de la campagne OVIDE 1 en été 2002 n'a jamais dépassé 10 nœuds, dans des conditions météorologiques pourtant clémentes.

La campagne se décompose en quatre actions :

1. transit Vigo – 40°N et station d'essai ;
2. réalisation de la radiale d'hydrographie–géochimie et courantométrie ;
3. mise à l'eau de flotteurs profileurs CORIOLIS/ARGO, a priori sur la route ;
4. transit sud Groenland – port de débarquement.

1. Transit port d'embarquement (Vigo) – début de la radiale

Nous proposons de débiter la campagne à Vigo, ce qui faciliterait l'embarquement du matériel de nos collègues espagnols (comparé à Lisbonne, par exemple). La distance entre Vigo et le début de notre section est de 180 miles soit 18 heures. Nous compterons 1 jour pour permettre d'effectuer une première station hydrographique par 2000 m de fond, ce qui permet de stabiliser le capteur de pression de la sonde CTD (recommandation A. Billant, LPO), et de mettre au point les procédures de mise à l'eau et embarquement de la bathysonde pour l'équipe scientifique et l'équipage.

2. Section d'hydrographie, géochimie et courantométrie ADCP

La section hydrographique est constituée de 95 stations espacées en moyenne de 25 miles nautiques et effectuées par une profondeur moyenne de 4000 m. La distance moyenne entre stations est légèrement plus faible que celle utilisée pour les sections hydrographiques de la campagne WOCE, ce qui permet de mieux résoudre les fronts et tourbillons de moyenne échelle et donc de minimiser l'alias dû à ces structures dans les calculs de transport de propriétés. Cet échantillonnage nominal est resserré près des côtes et des structure bathymétriques et plus lâche dans les plaines abyssales. Chaque station sera réalisée à l'aide d'une rosette se déplaçant à 1 m/s. Il faut donc compter 8000 s d'aller retour pour une station de 4000

m. Des prélèvements seront effectués à trente niveaux pour les analyses chimiques. Il faut compter 1 minute par prélèvement, la remontée de la rosette devant être arrêtée pour cette opération. L'utilisation du LADCP nécessite de laisser la rosette en surface 5 minutes en début et fin de station pour acquérir les données dans les couches de surface. Le temps nécessaire à une station est donc de 3 heures et 10 minutes (15 minutes par stations ont été ajoutées pour tenir compte du ralentissement du navire et de la mise à l'eau/relevage de la rosette). Le temps nécessaire pour réaliser les stations est de 12,6 jours.

Le transit entre le Portugal et le Groenland est de 1950 miles nautiques, ce qui à 10 noeuds nécessite 8.1 jours.

L'été 2002, les analyses de CFC dans les eaux groenlandaises très froides et très ventilées, donc très riches en CFC, ont pris beaucoup plus de temps que prévu (7h par stations, sans compter le temps de d'étalonnage) : les échantillons devant être de surcroît analysés dans les 16 heures, et les stations peu-profondes défilant très rapidement, les analyses n'ont pu être menées au rythme des stations hydrographiques et les veines d'eau groenlandaises ont dû être sous-échantillonnées à la fois horizontalement et verticalement. Afin de permettre que ces analyses peu fréquentes dans ces régions et importantes pour la détermination de l'âge des masses d'eau soient faites de manière optimale, un minimum de 2 journées supplémentaires est nécessaire. Il sera bien sûr mis à contribution pour mieux échantillonner le courant est-groenlandais et déterminer ses variations temporelles haute-fréquence (VM-ADCP). Suite au récent rejet par le NERC (UK) de la proposition de mouillages ADCP sur le plateau groenlandais de K. Heywood, il est sérieusement envisagé d'effectuer nous-même ces mouillages (ADCP et/ou courantométrie classique), essentiels pour avoir une estimation correcte du courant est groenlandais (plusieurs Sverdrup). Ils seraient alors déployés lors de la campagne 2004 (1 à 2 jours de travail).

Le temps total sur zone nécessaire à la réalisation de la section hydrographique est donc de 22.7 jours.

3. Mise à l'eau de flotteurs profileurs lagrangiens CORIOLIS/ARGO

Plus de détails sur cette opération seront disponibles en fonction du déploiement des flotteurs en 2003 et de leur fonctionnement. Y. Desaubies, responsable du déploiement des profileurs lagrangiens dans le cadre du projet Coriolis, et maintenant dans le cadre de la contribution française à ARGO, CORIOLIS, nous suggère d'envisager le déploiement probable de 5 flotteurs profileurs lagrangiens de type PROVOR. Cette opération ne devrait pas nécessiter de temps bateau supplémentaire. Nous considérons conservativement un temps de 30 minutes nécessaire au déploiement de chaque flotteur (arrêt du navire, mise à l'eau, remise en route), soit 2.5 heures au total. Une des composantes du projet OVIDE repose sur l'analyse des données des profileurs lagrangiens.

4. Transit sud Groenland – port de débarquement (Brest)

La distance directe entre l'extrémité de la section hydrographique à la pointe sud-est du Groenland et Brest est de 1500 miles, ce qui à 10 noeuds nécessite 6.2 jours.

5. Temps nécessaire à la campagne

Le temps total de campagne demandé est donc de 32 jours (dans une configuration Vigo-Brest) se décomposant en :

- 2 jours de mise à disposition
- 1 jour de transit et essai pour rejoindre le début de la radiale
- 23 jours pour réaliser la radiale hydrographique
- 6 jours pour le retour Groenland-Brest

6. Justification de la période souhaitée

Nous demandons que la radiale soit effectuée entre fin mai et fin août pour des raisons liées à la météo. Plus tôt, le risque de rencontrer des glaces à l'approche du Groenland devient trop important. Plus tard, la probabilité de vents soufflant en tempête et empêchant de travailler devient trop importante. Bien que cela soit non critique, il serait souhaitable que la campagne ait lieu le plus tôt possible dans cette période ce qui permettrait d'échantillonner les eaux modales à la fin de leur période de formation. L'idéal serait que la campagne 2004 ait lieu à la même période que la campagne 2002, en juin, afin de minimiser les différences saisonnières des champs mesurés et maximiser leur représentativité des variations interannuelles.

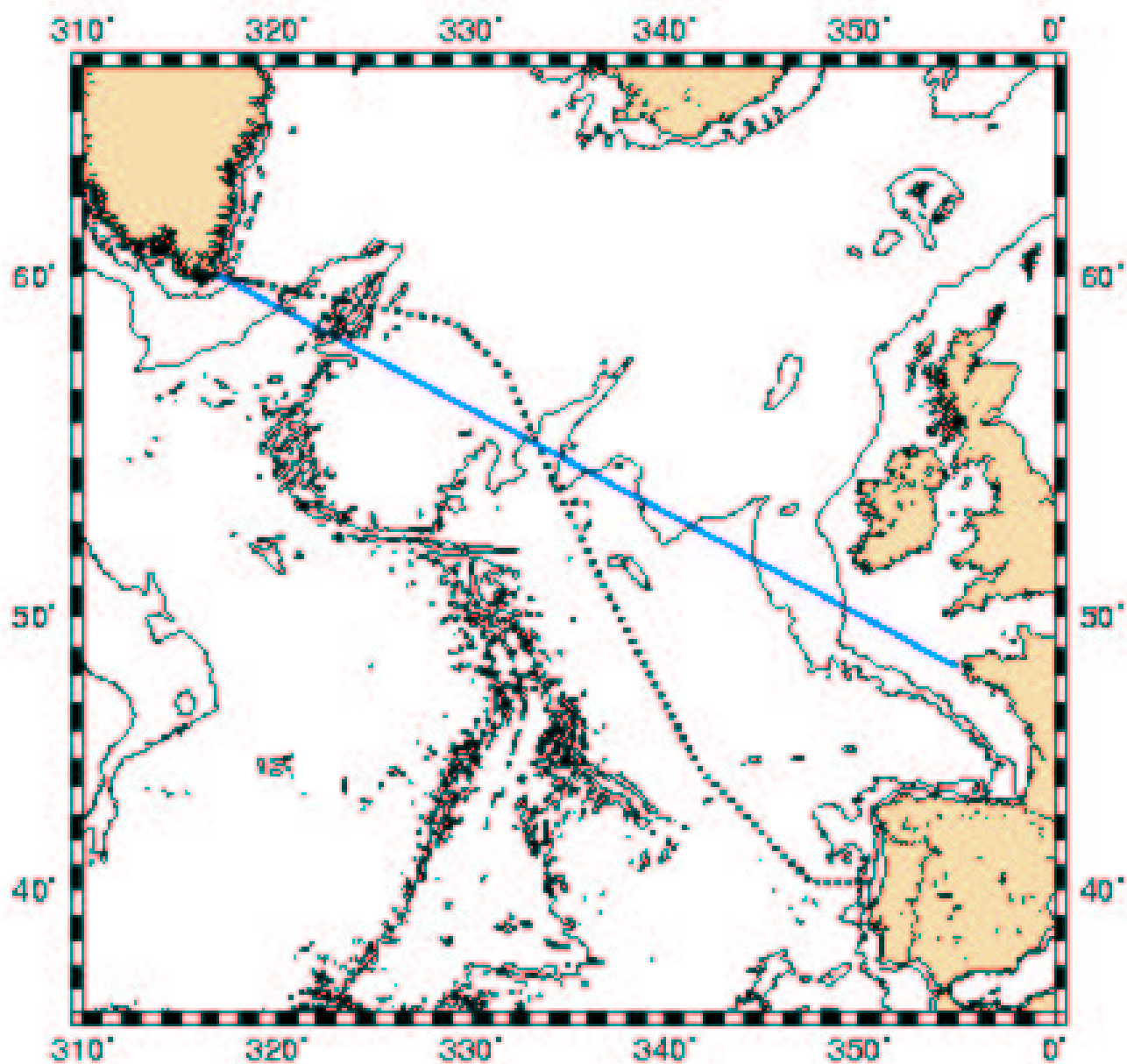


Figure 4 : Déroulement proposé pour la campagne OVIDE 2004, idéalement en juin, dans le cas d'une mission Vigo–Groenland–Brest. Les stations hydrographiques de la radiale sont indiquées (gros points noirs) : 23 jours. La ligne bleue est le transit retour Groenland–Brest : 6 jours.

MOYENS A METTRE EN OEUVRE

- Navire support, submersibles* et positionnement ;
- Équipements de base : *matériel mis en oeuvre par GENAVIR, par l'IPEV ou par l'IRD et matériel propre de l'équipe demanderesse*
- Installations du navire qui doivent être utilisées
- Personnel spécialisé
- Besoins en équipements ou matériels complémentaires : quels types ? Quelles spécifications ?
- Est-il prévu d'embarquer des produits chimiques ou radioactifs (lesquels) ?
- Matériel fournis par des organismes extérieurs
- Évaluation du coût de fonctionnement à la charge de l'équipe scientifique

Navire à mettre en oeuvre : La Thalassa

L'équipe scientifique sera composée de 24 personnes. Les travaux effectués nécessitent un treuil hydro grand fond (profondeur maximale atteinte 5500 m) de 10,8 mm pour mise en oeuvre d'une rosette 30 bouteilles. Cinq conteneurs de 20 pieds seront embarqués. La Thalassa est donc le navire adapté.

Matériel du Laboratoire de Physique des Océans

- 1 rosette CTDO2 équipée de 30 bouteilles de prélèvement et d'un courantomètre acoustique Doppler (LADCP) et leur rechange (voyagent dans 1 conteneur transport)
- 1 conteneur informatique de 20 pieds équipé pour l'acquisition des données CTDO₂
- 1 conteneur laboratoire de 20 pieds équipé pour l'analyse de la salinité et de la teneur en oxygène dissous des échantillons

Flotteurs Coriolis

- Déploiement de flotteurs profileurs lagrangiens PROVOR financés par CORIOLIS/IFREMER, probablement de l'ordre de 5 pour compléter et maintenir le réseau (combler les trous s'il en apparaît). Contact : Y. Desaubies.
- 1 conteneur laboratoire de 20 pieds pour préparation des flotteurs.

Matériel du IIM Vigo

- Matériel nécessaire à la mesure du pH (méthode spectrophotométrique) et de l'alcalinité (titration)
- Matériel pour mesurer le pCO₂ en continu (contribution au projet CAVASSOO). Les mesures du thermosalinographe et de la station météo du navire sont nécessaires.

Matériel du Laboratoire de Chimie Marine (IUEM-UBO et Observatoire Océanologique de Roscoff)

- 1 conteneur laboratoire de 20 pieds équipé pour la mesure des nitrates, phosphates, silicates, nitrites (4 chaînes d'analyse de type Technicon AAII Bran et Luebbe) et pour le dosage des traceurs transitoires (1 chaîne d'analyse Chromatographie Phase Gazeuse équipé d'un détecteur à capture d'électrons GC-ECD et système de « purge and trap »).

EQUIPE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

- **Equipe demanderesse – rattachement – chef de projet – chefs de missions – équipe embarquée – quels (quelles) spécialistes ? – équipe d'exploitation, à terre, des résultats**
- **Collaborations prévues (à ne mentionner que si l'accord est acquis) – parts respectives des participations nationales ou internationales à terre et en mer. Y a-t-il un protocole ?**
- **Présentation des références scientifiques récentes (5 ans) de l'équipe demanderesse et, en particulier, état du traitement des données, de l'interprétation et des publications correspondantes de la dernière campagne menée par les équipes participantes.**

Rappel important pour les chefs de mission

Le chef de mission devra veiller à faire respecter la réglementation :

- **sur les horaires journaliers**
- **sur le port des équipements de sécurité dans les zones de travaux.**

De plus,

- **il ne doit accepter dans la mission scientifique que du personnel ayant un ordre de mission signé par l'organisme d'origine,**
- **il doit veiller à ce que tous les scientifiques de la mission soient aptes physiquement à un embarquement.**

(toute information complémentaire pourra être demandée à la DMON).

Chef de projet

Herlé Mercier
Laboratoire de Physique des Océans
UMR 6523 CNRS / IFREMER / UBO
BP 70, 29280 Plouzané

Chef de mission

Thierry Huck
Laboratoire de Physique des Océans
UMR 6523 CNRS / IFREMER / UBO
Université de Bretagne Occidentale, UFR Sciences
6 avenue Le Gorgeu, BP 809, 29285 Brest cedex

Equipe du Laboratoire de Physique des Océans

L'équipe du LPO sera en charge des mesures CTDO₂, des mesures LADCP, des mesures VM-ADCP, des mesures de la salinité et d'oxygène dissous des prélèvements pour la calibration de la sonde. 9 personnes embarqueront pour effectuer les quarts CTDO₂, traiter en temps réel les données ADCP. 3 personnes embarqueront pour effectuer les mesures de salinité et d'oxygène dissous. L'équipe du LPO a une grande expérience des mesures hydrographiques (participation à 5 campagnes WOCE ; participation aux campagnes ARCANE par exemple).

Equipe du Laboratoire de Chimie Marine (IUEM/UBO, Observatoire Océanologique de Roscoff/CNRS)

L'équipe du Laboratoire de Chimie Marine (responsable P. Morin) sera en charge de la mesure des sels nutritifs, et des traceurs anthropiques (CFC-11, CFC-12, CFC-113, CCL4). 3 personnes embarqueront pour l'analyse des sels nutritifs, 3 personnes pour l'analyse des traceurs anthropiques. Toutes les stations seront échantillonnées. Cette équipe a une grande expérience de la mesure des sels nutritifs (campagnes WOCE, ARCANE) et traceurs anthropiques (campagne ARCANE).

Equipe du IIM Vigo

L'équipe du IIM Vigo (responsable F. Pérez) sera en charge de la mesure du pH (toutes les stations) et de l'alcalinité (1 station sur 2). Cette équipe a une grande expérience de la mesure de ces paramètres (campagnes WOCE). Le pCO₂ de surface sera mesuré en continu. 3 personnes embarqueront pour effectuer ces analyses.

Références bibliographiques des équipes depuis 1998

Laboratoire de Physique des Océans

- Arhan, M., H. **Mercier**, B. Boulès, Y. Gouriou, 1998: Hydrographic sections across the Atlantic at 7°30N and 4°30S. *Deep-Sea Res.*, I, 45, 829–872.
- Arhan, M., H. **Mercier**, J.R.E. Lutjeharms, 1999: The disparate evolution of three Agulhas rings in the South Atlantic Ocean. *J. Geophys. Res.*, 104, 20987–21006.
- Arhan, M., N. Wienders, H. **Mercier**, 2000: Circulation at the western boundary of the South and Equatorial Atlantic : II– Vertical structure of western boundary currents. Soumis à *Journal of Marine Research*.
- Arhan, M. H. **Mercier**, Y. H. Park, 2003: On the deep water circulation of the eastern South Atlantic Ocean. *Deep Sea Research*, en revision.
- Colin de Verdière, A., T. **Huck**, 1999: Baroclinic instability: an oceanic wavemaker for interdecadal variability. *J. Phys. Oceanogr.*, 29, 893–910.
- Colin de Verdière, A., T. **Huck**, 2000: A 2 degree of freedom dynamical system for interdecadal oscillations of the ocean–atmosphere. *J. Climate*, 13, 2801–2817.
- Czaja, A., A. W. Robertson, T. **Huck**, 2002: The role of Atlantic ocean–atmosphere coupling in affecting North Atlantic Oscillation variability. In: *The North Atlantic Oscillation: climatic significance and environmental impact*, J. W. Hurrell, Y. Kushnir, G. Ottersen, M. Visbeck Eds., AGU Geophysical Monograph Series, Vol. 134, 147–172.
- Ferron**, B., H. **Mercier**, K. Speer, A. Gargett, K. Polzin, 1998: Mixing in the Romanche Fracture Zone. *J. Phys. Oceanogr.*, 28 : 1929–1945.
- Ferron**, B., H. **Mercier**, A. M. Treguier, 2000: Hydraulic control in the Romanche Fracture Zone. *J. Mar. Res. in press*.
- Ferron**, B., H. **Mercier**, A. M. Treguier, 2000: Modelisation of the AABW flow through the Romanche Fracture Zone with a primitive equation model. Part 1 : Dynamics. *Journal of Marine Research*, 58, 837–862.
- Ferron**, B., A.–M. Treguier, H. **Mercier**, 2002: Modelisation of the bottom water flow through the Romanche Fracture Zone with a primitive equation model. Part 2: Comparison of vertical mixing parametrizations with observations. *Numerical Modelling*, en revision.
- Ganachaud, A., H. **Mercier**, 2002: Ocean response to transoceanic Ekman transport, implication for gravity mission. *Geophysical Research Letters*, in press.
- Garnier, V., **Schopp**, R. 1999: Wind influence on the mesoscale activity along the Gulf Stream and the North Atlantic currents. *Journal of Geophysical Research*, 104, C8, 18,087–18,110.
- Gouriou, Y., B. Boulès, H. **Mercier**, R. Chuchla, 1999: Deep jets in the equatorial Atlantic Ocean. *J. Geophys. Res.*, 104, 21217–21226.
- Gouriou, Y., G. Forget, B. Boulès, H. **Mercier**, 2002: Analysis of the circulation in the western tropical Atlantic through LADCP measurements and inverse model results. Submitted to *Deep Sea Research*.
- Huck**, T., A. J. Weaver, A. Colin de Verdière, 1999: On the influence of the parameterization of lateral boundary layers on the thermohaline circulation in coarse–resolution ocean models. *J. Mar. Res.*, 57, 387–426.
- Huck**, T., A. Colin de Verdière, A. J. Weaver, 1999: Interdecadal variability of the thermohaline circulation in box–ocean models forced by fixed surface fluxes. *J. Phys. Oceanogr.*, 29, 865–892.
- Huck**, T., G. K. Vallis, A. Colin de Verdière, 2001: On the robustness of the interdecadal modes of the thermohaline circulation. *J. Climate*, 14, 940–963.
- Huck**, T., G. K. Vallis, 2001: Linear stability analysis of the three–dimensional thermally–driven ocean circulation: application to interdecadal oscillations. *Tellus*, 53A, 526–545.
- Le Grand**, P., H. **Mercier**, T. Reynaud, 1998: Combining T/P altimetric data with hydrographic data to estimate the mean dynamic topography of the North Atlantic and improve the geoid. *Annales Geophysicae*, 16, 638–650.
- Le Grand**, P., J.M. Minster, 1999: Impact of the GOCE gravity mission on ocean circulation estimates. *Geophys. Res.*

Let. sous presse.

- Lherminier, P., J.-C. Gascard, D. Quadfasel, 1999:** The Greenland Sea in winter 1993 and 1994: preconditioning for deep convection. *Deep Sea research, II*, 46, 1199–1235.
- Lherminier, P., R. R. Harcourt, R. W. Garwood, J.-C. Gascard, 2001:** Interpretation of mean vertical velocities measured by isobaric floats during deep convection. *J. Mar. Sys.*, 29, 221–237.
- Lux, M., H. **Mercier**, M. Arhan, 2001: Interhemispheric exchanges of mass and heat in the Atlantic Ocean in January–March 1993. *Deep–Sea Res.*, 48, 605–638.
- Maamaatuaiahutapu, K., V. Garçon, C. Provost, H. **Mercier**, 1998: Transports of the Brazil and of the Malvinas currents at their Confluence. *J. Mar. Res.*, 56, 1–22.
- Mémery, L., M. Arhan, X. A. Alvarez–Saldago, M.–J. Messias, H. **Mercier**, C. G. Castro, A. F. Rios, 2000: The water masses along the western boundary of the south and equatorial Atlantic. *Progress in Oceanography*, 47, 69–98.
- Mercier, H., K.G. Speer, 1998:** The transport of Bottom Water through the Romanche Fracture Zone and the Chain Fracture Zone. *J. Phys. Oceanogr.*, 28, 779–790.
- Mercier, H., G. Weatherly, M. Arhan, 2000:** Bottom water throughflows at the Rio de Janeiro and Rio Grande Fracture Zones. *Geophysical Research Letters*, 27, 1503–1506.
- Mercier, H., M. Arhan, J. Lutjeharms, 2002 :** Upper–layer circulation in the eastern Equatorial and South Atlantic Oceans in January–March 1995. *Deep Sea Research*, en révision.
- Messias, M.J., C. Andrié, L. Mémery, H. **Mercier**, 1999: Tracing the North Atlantic deep water through the Romanche and Chain fracture zones using the chlorofluoromethanes. *Deep Sea Res.*, 46, 1247–1278.
- Molinari, R. L., S. Bauer, D. Snowden, G. C. Johnson, B. Bourlès, Y. Gouriou, H. **Mercier**, F. Schott, 2002 : Kinematic evidence for tropical cells in the Atlantic Ocean and comparisons with Pacific cells. Inter–hemispheric water exchange in the Atlantic Ocean. Elsevier Oceanographic Series, en révision.
- Paillet, J., B. **Le Cann**, A. Serpette, Y. Morel and X. Carton, 1999: Real–Time tracking of a Galician meddy. *Geophys. Res. Letters.*, 26 , 13, 1877, 1880.
- Thierry, V., Y. Morel, 1999.** Influence of a strong bottom slope on the evolution of a surface–intensified vortex. *J. Phys. Oceanogr.*, 29, 911–924.
- Thierry, V., Mercier, H., Treguier, A.M. , 2003.** Numerical study of the annual and semi–annual fluctuations in the deep equatorial Atlantic ocean. *Ocean Modelling*. Sous presse.
- Thierry, V., H. Mercier, A.–M. Treguier, 2000:** Deep response of the equatorial ocean to a seasonally varying zonal wind. A process study. Submitted to *J. Geophysical Research*.
- Treguier, A.M., H.G. Hogg, M. Maltrud, K. Speer, V. **Thierry**, 2002: On the origin of deep zonal flows in the Brazil Basin. *J. Phys. Oceanogr.*, in press.
- Wienders, N., M. Arhan, H. **Mercier**, 2000: Circulation of the western boundary of the South and Equatorial Atlantic : I. Exchanges with the ocean interior. *Journal of Marine Research*, 58, 1007–1039.
- Weatherly, G., M. Arhan, H. **Mercier**, W. Smethie Jr., 2002: Observations of abyssal eddies in the Brazil Basin. *Journal of Geophysical Research*, 107, C4, 10.1029/2000JC/000648.

Instituto de Investigaciones Marinas (CSIC), Vigo, Espagne

- Álvarez M, E. Fernández, F.F. Pérez. 1999:** Air–sea CO₂ fluxes in a coastal embayment affected by upwelling: Physical vs. Biological control. *Oceanologica Acta*, 22: 499–515.
- Álvarez, M., H.L. Bryden, F.F. Pérez, A.F. Ríos, G. Rosón 2002:** Physical and biogeochemical fluxes and budgets in the subpolar and temperate North Atlantic. *Journal Marine Research*, 60, 191–226.
- Álvarez, M., 2002:** Water masses and transports of physical and chemical properties in the subtropical North Atlantic gyre. PhD thesis manuscript, University of Vigo, Spain, 206pp.
- Álvarez, M, A.F. Ríos, F.F. Pérez, H.L. Bryden, G. Rosón 2003.** Transports and budgets of total inorganic carbon in the

subpolar and temperate North Atlantic. *Global Biogeochemical Cycles* (in press).

Castro, C. G., F. F. **Pérez**, S. Holley, A. F. **Ríos**. 1998: Characterization and modelling of water masses in the Northeast Atlantic. *Progress in Oceanography*, 41, 249–279.

Castro C. G., X. A. Álvarez–Salgado, F. F. **Pérez**, F. Fraga, 2000: Coupling between the thermohaline, chemical and biological fields during two contrasting upwelling events off the NW Iberian Peninsula (Galician Coast). *Continental Shelf Research*, 20, 189–210.

Fraga F., A. F. **Ríos**, F. F. **Pérez**, F. G. Figueiras, 1998: Theoretical limits of oxygen:carbon and oxygen:nitrogen ratios during the photosynthesis and the mineralization of the organic matter in the sea. *Scientia Marina*, 62, 161–168.

Fraga F., A. F. **Ríos**, F. F. **Pérez**, M. Estrada and C. Marrasé, 1999: Effect of upwelling pulses on excess carbohydrate synthesis as deduced from nutrient, carbon dioxide and oxygen profiles. *Marine Ecology Progress Series*, 189, 65–75.

Mémery L., M. Arhan, X.A. Alvarez–Salgado, M.–J. Messias, H. **Mercier**, G.C. Castro, A.F. **Ríos**. 2000. The water masses along the western boundary of the south and equatorial Atlantic. *Progress in Oceanography*, 47, 69–98.

Mintrop L., F. F. **Pérez**, M. González–Davila, J. M. Santana–Casiano, A. Körtzinger. 2000: Alkalinity determination by potentiometry – intercalibration using three different methods. *Ciencia Marina*, 26, 23–37.

Pérez, F. F., A. F. **Ríos**, C. Castro, F. Fraga. 1998: Mixing analysis of nutrients, oxygen and dissolved inorganic carbon in the upper and middle North Atlantic Ocean East of the Azores. *J. Mar. Sys.*, 16, 219–233.

Pérez F. F., A. F. **Ríos**, G. Rosón. 1999: Sea surface carbon dioxide off the Iberian Peninsula (North Eastern Atlantic Ocean). *Journal Marine Systems*, 19, 27–46.

Pérez F. F., A.F. **Ríos**, T. Rellán, M. **Alvarez**. 2000: Improvements in potentiometric seawater alkalinity determination. *Ciencia Marina*, 26, 463–478.

Pérez, F. F., R. T. Pollard, J. R. Read, V. Valencia, J.,M. Cabanas, A.F. **Ríos**. 2000: Climatological coupling of the termohaline decadal change in Central Water of the Eastern North Atlantic. *Scientia Marina*, 64, 347–353.

Pérez F.F., C.G. Castro, X.A. Álvarez–Salgado, A.F. **Ríos**. 2001. Coupling between the Iberian basin–scale circulation and the Portugal boundary current system. A chemical study. *Deep–Sea Research I* 48, 1519–1533.

Pérez F.F., M. **Álvarez**, A.F. **Ríos** 2002. Improvements on the back–calculation technique for estimating anthropogenic CO₂. *Deep–Sea Research I*, 49/5, 859–875.

Pérez F.F., C.G. Castro, A.F. **Ríos**, F. Fraga, 2003. Chemical Properties of the deep winter mixed layer in the Northeast Atlantic (40–47°N). *Journal Marine Systems* (accepted).

Ríos, A. F., F. Fraga, F. G. Figueiras, F. F. **Pérez**. 1998: A modelling approach to the Redfield ratio deviations in the ocean. *Scientia Marina*, 62, 169–176.

Ríos, A. F., F. F. **Pérez**. 1999: Improvements in potentiometric determinations of CO₂ system using seawater sub–standard and CO₂ reference material. *Ciencia Marina*, 25, 31–49.

Ríos, A.F., F.F. **Pérez**, F. Fraga. 2001. Long–term (1977–1997) measurements of carbon dioxide in the Eastern North Atlantic: evaluation of anthropogenic input. *Deep–Sea Research II* 48, 2227–2239.

Rosón G., X. A. Álvarez–Salgado, F. F. **Pérez**. 1999: Carbon cycling in a large coastal embayment affected by wind–driven upwelling. Short–time–scale variability and spatial differences. *Marine Ecology Progress Series*, 176 215–230.

Rosón, G., A. F. **Ríos**, A. Lavín, F. F. **Pérez**, H. K. Bryden. 2001: Carbon distribution and fluxes in the subtropical North Atlantic Ocean (24.5°N). *Journal Geophysical Research* (accepted).

Laboratoire de Chimie Marine (IUEM/UBO et Observatoire Océanologique de Roscoff, CNRS)

Pruvost J., **Morin** P., Le Corre P., 2001: Variations of volatile halogenated organic compounds (VHOC) in coastal seawater and air during a spring phytoplankton bloom. *J. Geophys. Res., soumis*.

Andrié, C., Gouriou, Y. Bourlès, B., Ternon, J.F., Braga, E.S., **Morin**, P., Oudot, C., 2003: Variability of AABW properties in the equatorial channel at 35°W. *Geophys. Res. Lett.*, in press.

Bethoux, J.P. **Morin**, P., Ruiz–Pino, D., 2002: Temporal trends in nutrient ratios: chemical evidence of Mediterranean ecosystem change driven by human activity. *Deep–Sea Res. II*, 48, 2007–2016.

- L'Helguen, S., Le Corre, P., Madec, C., **Morin**, P., 2002: New and regenerated production in the Almeria–Oran front area (eastern part of Alboran Sea). *Deep–Sea Res.*, 48, 83–99.
- Oudot, C., Jean–Baptiste, P., Fourré, E., Guével, M., Ternon, J.F., Le Corre, P., 2002: Simultaneous measurements of nitrous oxide and methane in the equatorial Atlantic Ocean: apparent production and release into the atmosphere. *Deep–Sea Res.I*, 48, 1175–1193.
- Morin**, P., Lasserre, P., Madec, C., Le Corre, P., Macé, É., Cavalloni, B., 2001: Pelagic nitrogen fluxes in the Venice Lagoon. In: *The Venice Lagoon Ecosystem. Inputs and Interactions Between Land and Sea*, P. Lasserre and A. Marzollo Eds, UNESCO Man and Biosphere Series & Parthenon Publishing, Carnforth, UK, 143–186.
- Maguer, J.F., L'Helguen, S., Le Corre, P., 2000: Nitrogen uptake by phytoplankton in a shallow tidal front. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 51, 349–357.
- Riso, R.D., Waelles, M., Monbet, P., Chaumery, C.J., 2000: Measurement of trace concentrations of mercury in sea water by stripping chronopotentiometry with gold disk electrode: influence of copper. *Analyt. Chim. Acta*, 410, 97–105.
- Oudot, C., Ternon, J.F., Andrié, C., Braga, E.S., **Morin**, P., 1999: On the crossing of the equator by intermediate water masses in the western Atlantic ocean: identification and pathways of AAIW and UCPW. *J. Geophys. Res.*, 104, 20911–20926.
- Pruvost, J., Connan, O., Marty, Y., Le Corre, P., 1999: A sampling device for collection and analysis of volatile halocarbons in coastal and oceanic waters. *Analyst*, 124, 1389–1394.
- Sarradin, P. M., Caprais, J. C., Riso, R., Kérouel, R., Aminot, A., 1999: Chemical environment of the hydrothermal mussel communities in the Lucky Strike and Menez Gwen vent fields, Mid Atlantic Ridge. *Cah. Biol. Mar.*, 40, 93–104.
- Maguer, J. F., L'Helguen, S., Madec, C., Le Corre, P., 1999: Seasonal patterns of ammonium regeneration from size–fractionated microheterotrophs. *Contin. Shelf Res.*, 19, 1755–1770.
- Béthoux, J.P., Gentili, B., **Morin**, P., Nicolas, E., Pierre, C., Ruiz–Pino, D., 1999: The Mediterranean Sea: a miniature ocean for climatic and environmental studies and a key for the climatic functioning of the North Atlantic. *Progr. Oceanogr.*, 44, 131–146.
- Oudot, C., **Morin**, P., Baurand, F., Wafar, M., Le Corre, P., 1998: Northern and southern water masses in the Equatorial Atlantic sector: Distribution in the WOCE A6 and A7 lines. *Deep–Sea Res.I*, 45, 873–902.
- Videau, C., Ryckaert, M., L'Helguen, S., 1998: Phytoplankton en Baie de Seine (France). Influence du panache de la Seine sur la production primaire. *Oceanol. Acta*, 21, 6, 907–921.
- Mével, G., Prieur, D., 1998: Thermophilic heterotrophic nitrifiers isolated from Mid–Atlantic Ridge deep–sea hydrothermal vents. *Can. J. Microbiol.*, 44, 723–733.
- Béthoux, J.P., **Morin**, P., Chaumery, C., Connan, O., Gentili, B., Ruiz–Pino, D., 1998. Nutrients in the Mediterranean Sea, mass balance and statistical analysis of concentrations with respect to environmental change. *Mar. Chem.*, 63, 155–169.
- Maguer, J.F., L'Helguen, S., Madec, C., Le Corre, P., 1998: Absorption et régénération de l'azote dans le système brassé de la Manche : Productions nouvelle et régénérée. *Oceanol. Acta*, 21, 6, 861–870.
- Desbruyères, D., Chevaldonné, P., Alayse, A.M., Jolivet, D., Lallier F.H., Jouin–Toulmond, C., Zal, F., Sarradin, P.M., Cosson, R., Caprais, J.C., Arndt, C., O'Brien, J.J., Guézennec, J., Hourdez, S., Riso, R.D., Gaill, F., Lausier, L., Toulmond, A., 1998: Biology and ecology of the « Pompeii worm » (*Alvinella pompejana*, Desbruyères and Laubier), abnormal dweller of an extrem deep–sea environment : A synthesis of current knowledge and recent development. *Deep–Sea Res.II*, 45, 383–422.

PLAN D'EXPLOITATION DES DONNEES

- **Calendrier**
- **Type de traitement des données à bord et à terre : informatique et laboratoire**
- **Coût et financement de l'exploitation des données à terre**
- **Moyens complémentaires demandés (budget, origine du financement , acquis ou envisagé)**
- **Prévision et calendrier de publication des résultats**
- **Problèmes particuliers**

Traitement des données à bord

Une surveillance systématique de la qualité des données acquises est effectuée à bord sur les moyens de calcul des équipes scientifiques embarquées. Le traitement temps réel des données de courantométrie Doppler est particulièrement essentiel pour en garantir la qualité. Les données de la radiale hydrographique (T,S,P) seront transmises en temps quasi-réel au centre Coriolis de sorte qu'elles pourront être assimilées par le modèle MERCATOR.

Planning d'activité (2003–2006)

Nous présentons ici le plan des activités sur les 4 ans à venir en ce qui concerne, principalement, l'analyse de la radiale hydrographique/géochimie :

2003

- 13–14 janvier : première réunion Ovide à Brest : état des lieux des données et analyses.
- Avril : présentation des résultats préliminaires à l'EGS/EGU/AGU (Nice)
- Juin : mise à disposition des données CTDO2 calibrées de la campagne Ovide 1.
- Caractérisation des masses d'eau et de la circulation à partir de la radiale hydrographique OVIDE (objectif 4.1) (H. Mercier, P. Lherminier, M. Alvarez, F. Perez, P. Morin)
- Détermination du bilan de chaleur, de l'amplitude de la cellule méridienne de circulation, des transports de traceur à partir de modèles inverses (objectifs 4.2, 4.3) (H. Mercier, P. Lherminier, M. Alvarez, F. Perez, P. Morin)
- Analyse de la variabilité inter-annuelle par comparaison aux données hydrographiques et géochimiques pertinentes (objectifs 4.1, 4.2) (H. Mercier, T. Huck, F. Perez, P. Morin en collaboration avec S. Bacon, J. C. Gascard, P. Koltermann, J. Meincke, G. Reverdin, X. Carton)
- Reconstructions de la circulation en Atlantique Nord en 2001–2003 par assimilation de données et analyse des simulations (B. Ferron, H. Mercier), inversion de données avec le modèle aux différences finies (H. Mercier, P. LeGrand), validation et analyse scientifique des résultats (objectifs 4.3, 4.4, 4.5).
- Mise en place du modèle réaliste du gyre subpolaire (équipe projet DRAKKAR)

2004

- Réalisation de la radiale hydrographique/vm-adcp/ladcp/géochimie (entre mai et fin août) (T. Huck)
- Estimation de la variabilité inter-annuelle par comparaison de la radiale OVIDE 2004 avec celle de 2002 (objectifs 4.1 à 4.4) (B. Ferron, T. Huck, H. Mercier) et comparaison des radiales OVIDE aux données hydrographiques et géochimiques pertinentes (T. Huck, H. Mercier, F. Perez, P. Morin en collaboration avec S. Bacon, J. C. Gascard, P. Koltermann, J. Meincke, G. Reverdin, X. Carton)
- Simulation "réaliste" à haute résolution de la circulation et de sa variabilité sur la période 1958–2003 avec le modèle DRAKKAR global (équipe projet DRAKKAR), validation des simulations (objectifs 4.2 à 4.5)
- Analyse et interprétation des simulations "réalistes" DRAKKAR en relation avec les données et les résultats des modèles inverses (équipe DRAKKAR).

- Synthèse générale des résultats obtenus sur la variabilité du gyre subpolaire et les processus dynamiques qui la régissent (toutes les équipes, tous les objectifs).

2005

- Janvier : première réunion Ovide 2 : état des lieux des données et des analyses
- Reconstruction de la circulation pour 2004 par assimilation de données (B. Ferron, H. Mercier)
- Analyse de la variabilité en relation avec les forçages et la dynamique (objectifs 4.5) (T. Huck et R. Schopp)
- Calibration des données de la campagne 2004, et analyses.
- Présentation des premières comparaisons des 2 sections aux conférences internationales, et publications associées
- Juin : mise à disposition des données CTDO2 calibrées de la campagne Ovide 2004

2006

- Réalisation de la radiale hydrographique/vm–adcp/ladcp/géochimie (entre mai et fin août) (P. Lherminier)

Ces travaux seront publiés dans des revues internationales à comité de lecture et présentés aux conférences internationales (EGS/IUG en 2003 et 2005,...).

Frais de fonctionnement nécessaire à la réalisation de la campagne

(à titre indicatif car le budget est fortement conditionné par les ports d'escale)

- 1–Fonctionnement pour CTDO2 (capteurs oxygène, joints bouteille de prélèvement, réactifs, petit matériel informatique) : 15 keuro
- 2–Transport de conteneurs et autre matériel (dans le cas d'une mission partant de Vigo et finissant à Brest) : 8 keuro
- 3–Transport du personnel (dans le cas d'une mission partant de Vigo et finissant à Brest) : 15 keuro
- 4– Fonctionnement analyses traceurs (demandés à IFREMER : EPRD 2003)
 - pH, alcalinité, pCO₂, DOC (référence et réactifs, indemnité personnel) : 13 keuro
 - nutritifs (produits chimiques, standards, flaconnage) : 15 keuro
 - fréons (gaz vecteur, cryoplongeur, vannes, détecteur, ampoules de prélèvement) : 18 keuro

Nous demanderons à l'IFREMER de financer 50% du poste 1, et le poste 4 via des contrats de recherche, au PNEDC de financer 50% du poste 1 ainsi que les missions pour les analyses scientifiques, à l'IFREMER et à l'INSU de co-financer le poste 2 et de financer le poste 3 pour leurs personnels respectifs.

Un dossier sera déposé en co-financement entre l'INSU (mi-lourd de bio-géochimie) et l'IFREMER ou le SHOM pour la remise à niveau de la chaîne d'analyse des sels nutritifs du Laboratoire de Chimie Marine (IUEM/UBO).

Engagement des chercheurs pour la préparation et l'exploitation des campagnes OVIDE

Les pourcentages de temps des chercheurs sont indiqués pour les quatre prochaines années dans le tableau ci-dessous.

| | Laboratoire | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|---------------|-------------|------|------|------|------|
| Alvarez M. | IIM | 10% | 20% | 10% | 20% |
| Ferron B. | LPO | 50% | 70% | 50% | 50% |
| Huck T. | LPO | 35% | 50% | 50% | 50% |
| Le Grand P. | LPO | | 10% | | |
| Lherminier P. | LPO | 10% | 20% | 20% | 30% |
| Mercier H. | LPO | 50% | 50% | 50% | 50% |
| Morin P. | LCM | 30% | 60% | 30% | 60% |
| Perez F. | IIM | 10% | 20% | 10% | 20% |
| Schopp R. | LPO | 60% | 60% | | |
| Thierry V. | LPO | 35% | 35% | 35% | 35% |

INTEGRATION AU NIVEAU NATIONAL ET INTERNATIONAL

- Distinction entre travaux Eaux internationales – ZEE – Eaux territoriales
- Contacts préliminaires éventuellement pris et interlocuteurs privilégiés des pays riverains
- Personnel étranger invité
- Manifestations éventuelles post-campagnes (colloques, conférences, échanges de personnel)
- Dans l'hypothèse où la campagne est dans les eaux étrangères, nous vous demandons de remplir les formulaires en anglais " application abstract "
- Engagements contractuels dans le cadre de programmes européens, **financements européens**

Coopérations nationales et internationales

PNEDC G. Reverdin, LODYC (projet SURATLANTE), J. C. Gascard, LODYC, et C. Jeandel, LEGOS, (GINS/SIGNATURE) proposent des analyses scientifiques complémentaires des nôtres sur des prélèvements effectués pour eux lors de la campagne OVIDE 2002 (Iode 129, isotopes du neodyme, 231Pa et 230Th). Une collaboration étroite avec leurs équipes est prévue dans la phase d'analyse scientifique. J. C. Gascard et C. Jeandel ont exprimé leur intérêt pour que des prélèvements soient à nouveau effectués en 2004 pour des analyses complémentaires de traceurs (Iode 129, technétium 99, composés isotopiques de Néodyme), en particulier dans le courant profond de bord ouest le long du Groenland et de la ride de Rekjanas .

CLIVAR/GOOS Ce programme permet de coordonner les différentes actions en Atlantique Nord. L'étude de la variabilité de la gyre subpolaire à partir de la section hydrographique se fera en collaboration avec P. Koltermann (BSH Hamburg) et J. Meincke (IFM Hamburg). S. Bacon (SOC) a aussi donné son accord pour collaborer à une étude de la variabilité de la circulation et des transports de chaleur basée sur la comparaison des résultats des radiales FOUREX et OVIDE.

LPO X Carton propose de réaliser sur une base annuelle une radiale hydrographique à 8°W dans le Golfe de Cadix. Une analyse conjointe de la radiale Ovide et de la radiale à 8°W est prévue.

ARGO/CORIOLIS Dans le cadre du projet européen Gyroscope nous coopérons en particulier avec l'IFM Kiel (U. Send, W. Zenk) et le SOC (B. King) dont les intérêts scientifiques sont communs avec ceux présentés ici.

CAVASSOO Projet Européen (2001–2003) pour étudier et évaluer les fluxes de CO₂ entre l'atmosphère et l'océan dans le Nord Atlantique. On fera pendant la section mesures en continue de pCO₂ dans l'eau de surface et dans l'atmosphère. Les participants sont : A. Watson (UEA, UK), D. Wallace (IFM Kiel, Allemagne), A. Rios (Vigo), T. Johannessen (Bergen, Norvège), P.Cias (LSCE). Ce projet fournira les conditions limites de surface qui permettront de placer nos mesures dans un contexte grande échelle.

IFREMER/DRO/DOPS/OS Rôle d'expertise sur les vents et flux satellitaires.

**CURRICULUM VITAE
DU CHEF DE PROJET**
(limité à deux pages)

Herlé Mercier
Directeur de Recherche au CNRS
Laboratoire de Physique des Océans
Unité Mixte de Recherche CNRS IFREMER UBO n° 6523
IFREMER, B.P.70, 29280 Plouzané, FRANCE
Tel. : +33 (0)2 98 22 42 86 – Fax : +33 (0)2 98 22 44 96
e-mail : herle.mercier@ifremer.fr
Année de naissance : 1957

Cursus et affectation

- 1983 : Thèse en océanographie physique.
- depuis 1991 : Laboratoire de Physique des Océans (UMR CNRS IFREMER UBO), Ifremer/Centre de Brest.
- 1996–1999 : Directeur Adjoint du Laboratoire de Physique des Océans.

Publications

34 publications dans des revues à comité de lecture. Les plus récentes sont citées dans le document 4.

Responsabilités scientifiques et administration de la recherche (actuel)

- Responsable du thème « Synthèse des observations océaniques » du Laboratoire de Physique des Océans.
- Co-responsable de l'Unité de Recherche Marine "inversion assimilation de données" IFREMER/INSU.
- Président du conseil scientifique du GIP Mercator Ocean.
- Membre de la section 13 du Comité National de la Recherche Scientifique.

Expériences des campagnes en mer

1. Chef de mission de la campagne ROMANCHE 1 (Atalante, 30 jours, 1991)
2. Chef de mission de la campagne ROMANCHE 2 (Atalante, 20 jours, 1992)
3. Chef de mission de la campagne ROMANCHE 3 (Noroît, 15 jours, 1994)
4. Chef de mission de la campagne CITHER 3-leg 1 (Atalante, 40 jours, 1995)
5. Chef de mission de la campagne OVIDE 1 (Thalassa, 34 jours, 2002)

Diffusion de l'information scientifique

Editeur de Journal of Geophysical Research – Oceans publié par l'Américan Geophysical Union.

**CURRICULUM VITAE
DU CHEF DE MISSION**
(limité à deux pages)

Thierry Huck
Chargé de Recherche au CNRS
Laboratoire de Physique des Océans (UMR 6523 CNRS / IFREMER / UBO)
Université de Bretagne Occidentale, UFR Sciences F.308
6 avenue Le Gorgeu, BP 809, 29285 Brest cedex
Tel.: +33 (0) 298-016510 – Fax : +33 (0) 298-016468
email : thuck@univ-brest.fr
né le 15 / 09 / 1969

Cursus et affectations

- depuis janvier 2000 : Chargé de Recherche au CNRS. *Laboratoire de Physique des Océans (UMR 6523), Brest.*
- 1998–1999 : postdoc avec Pr. G. Vallis, *Institute of Marine Science, University of California in Santa Cruz* (12 mois), et *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Princeton University, USA* (15 mois).
- 1993–1997 : Thèse de doctorat en océanographie physique sous la direction du Pr. A. Colin de Verdière "Modélisation de la circulation thermohaline : analyse de sa variabilité interdécennale". *Université de Bretagne Occidentale, Brest.*
- 1997 : Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche (6 mois). *Université de Bretagne Occidentale, Brest.*
- 1995–1996 : Service National en Coopération sous la direction du Pr. A. Weaver. *School of Earth and Ocean Sciences, University of Victoria, Victoria, Canada.*
- 1991 : Diplôme d'Ingénieur option architecture navale et génie maritime. *Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées, Paris.*

Publications

- **Huck, T.**, A. J. Weaver, A. Colin de Verdière, 1999 : On the influence of the parameterization of lateral boundary layers on the thermohaline circulation in coarse-resolution ocean models. *Journal of Marine Research*, 57, 387–426.
- **Huck, T.**, A. Colin de Verdière, A. J. Weaver, 1999 : Interdecadal variability of the thermohaline circulation in box-ocean models forced by fixed surface fluxes. *Journal of Physical Oceanography*, 29, 865–892.
- Colin de Verdière, A., **T. Huck**, 1999 : Baroclinic instability: an oceanic wavemaker for interdecadal variability. *Journal of Physical Oceanography*, 29, 893–910.
- Colin de Verdière, A., **T. Huck**, 2000 : A 2 degree of freedom dynamical system for interdecadal oscillations of the ocean-atmosphere. *Journal of Climate*, 13, 2801–2817.
- **Huck, T.**, G. K. Vallis, and A. Colin de Verdière, 2001 : On the robustness of the interdecadal modes of the thermohaline circulation. *Journal of Climate*, 14, 940–963.
- **Huck, T.**, G. K. Vallis, 2001 : Linear stability analysis of the three-dimensional thermally-driven ocean circulation: application to interdecadal oscillations. *Tellus*, 53A, 526–545.
- Czaja, A., A. W. Robertson, **T. Huck**, 2002 : The role of Atlantic ocean-atmosphere coupling in affecting North Atlantic Oscillation variability. In: *The North Atlantic Oscillation: climatic significance and environmental impact*, J. W. Hurrell, Y. Kushnir, G. Ottersen, and M. Visbeck Eds., AGU Geophysical Monograph Series, Vol. 134, 147–172.
- ↓ Bresch, D., **T. Huck**, M. Sy, 2002 : Circulation thermohaline et équations planétaires géostrophiques : propriétés physiques, numériques et mathématiques. *Annales Mathématiques Blaise Pascal, Proceedings du Colloque "Mathématiques et Calcul Scientifique pour l'Océanographie"*, Univ. Joseph Fourier, Grenoble, 7–8 March 2002.
- ↓ Ben Jelloul, M., **T. Huck**, 2002 : Basin modes interactions and selection by the mean flow in a reduced-gravity quasigeostrophic model. *Journal of Physical Oceanography*, en révision.
- ↓ Arzel, O., **T. Huck**, 2003 : Decadal oscillations in a simplified coupled model due to unstable interactions between zonal winds and ocean gyres. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, soumis.

Expériences des campagnes en mer

- quart bathysonde, campagne OVIDE 1 (Thalassa, 34 jours, 2002)
- chef de quart bathysonde et mesures de salinité, campagne CIVA 1 WOCE 30°E (Marion-Dufresne, 90 jours, 1993)

ACCORD DES CHERCHEURS**(Chaque chercheur devra indiquer les campagnes pour lesquelles il a donné son accord)**

Les chercheurs reconnaissent être physiquement aptes à un embarquement et auront un ordre de mission signé.

Bruno Ferron, chercheur CNRS, LPO

Thierry Huck, chercheur CNRS, LPO (chef de mission)

Pascal Le Grand, chercheur IFREMER, LPO

Herlé Mercier, directeur de recherche CNRS, LPO (chef de projet)

Virginie Thierry, chercheur IFREMER, LPO

Pascal Morin, chercheur CNRS, Laboratoire de Chimie Marine (IUEM/UBO) et Observatoire Océanologique de Roscoff

Je, soussigné, Pascal Morin, Chargé de Recherches CNRS à l'Observatoire Océanologique de Roscoff, m'engage à assurer avec mon équipe technique l'acquisition des données en traceurs chimiques naturels (silicates, nitrates et phosphates) et transitoires (fréons CFC-11, CFC-12, CFC-113 et CCl₄) lors de la campagne OVIDE 2004.



Fiz F. Pérez, chercheur, IIM Vigo

Cher Thierry,

Par la présente lettre j'ai le plaisir de te confirmer mon intention de participer à la campagne OVIDE. Trois personnes de mon équipe embarqueront pour mesurer les variables pH et alcalinité du système du carbone.

Je te prie d'agréer, cher Thierry, l'assurance de mes salutations distinguées,

Fiz F. Pérez



APPLICATION ABSTRACT

PART-1-

DOSSIER DE DEMANDE : OVIDE 2

DATE : 13 JANVIER 2003

GENERAL ORGANIZATION

CADRE IFREMER

NAME OF RESEARCH SHIP : THALASSA

DATES : SUMMER 2004

GEOGRAPHICAL AREA IN WHICH SHIP WILL OPERATE : NORTH ATLANTIC BETWEEN PORTUGAL AND GREENLAND

name, reference in latitude and longitude

Hydrographic section from Lisbon to the southern tip of Greenland :

- Portugal coastal waters close to 40°N, from 9°W to 13°W ;
- Greenland coastal waters close to 60°N, from 32°W to 42°W ;
- close to a direct line from 59°N-32°W to 41°N-12°W.

BRIEF DESCRIPTION OF PURPOSE OF CRUISE :

A HYDROGRAPHIC SECTION COMPOSED OF 95 STATIONS WILL BE REPEATED BETWEEN PORTUGAL AND THE SOUTHERN TIP OF GREENLAND EVERY SECOND YEAR FOR 10 YEARS STARTING IN 2002. THE GOAL IS TO MONITOR THE LOW FREQUENCY FLUCTUATIONS OF THE OCEANIC MERIDIONAL OVERTURNING CELL, HEAT AND TRACER TRANSPORTS, AND WATER MASS CHARACTERISTICS IN THE NORTHERN NORTH ATLANTIC OCEAN. THE CTDO2 MEASUREMENTS WILL BE COMPLEMENTED BY MEASUREMENTS OF NUTRIENTS, CFCs, AND CCL4 CONTENTS, PH, pCO2 AND ALKALINITY FROM WATER SAMPLES. ACOUSTIC DOPPLER CURRENT PROFILERS MEASUREMENTS WILL BE AVAILABLE FROM THE SHIP (VM-ADCP) AND THE ROSETTE (L-ADCP). THE SCIENTIFIC PROJECT ALSO RELIES ON ARGO PROFILING FLOAT DATA, A HIGH RESOLUTION NUMERICAL MODEL AND DATA ASSIMILATION IN A COARSER RESOLUTION MODEL. THE OVIDE HYDROGRAPHIC LINE IS PROPOSED WITHIN THE FRAMEWORK OF CLIVAR AND COMPLEMENTS FIELD WORKS CARRIED OUT BY GERMAN, CANADIAN AND UK SCIENTISTS. THIS PROPOSAL IS PART OF THE PNEDC (A FRENCH PROGRAM WHICH SUPPORTS CLIMATE RESEARCH), IN COLLABORATION WITH THE SURATLANTE (G. REVERDIN) AND GINS/SIGNATURE (J. C. GASCARD AND C. JEANDEL) PNEDC PROJECTS. TWENTY-THREE (23) SHIP DAYS ARE NEEDED TO REALIZED THE HYDROGRAPHIC SECTION..

CHIEF SCIENTIST IN CHARGE : DR. THIERRY HUCK (RESEARCH SCIENTIST, CNRS)

name and address

Dr. Thierry HUCK
Laboratoire de Physique des Océans (UMR 6523 CNRS / IFREMER / UBO)
Université de Bretagne Occidentale
UFR Sciences F.308, 6 avenue Le Gorgeu
B. P. 809, 29285 Brest cedex, FRANCE
Tel.: +33 (0) 2 98 01 65 10 – Fax: +33 (0) 2 98 01 64 68
Email: thuck@univ-brest.fr

Nb OF SCIENTISTS : 24

INSTITUTE SUPPORTING OPERATION

IFREMER
INSU/PNEDC

OPERATION AUTHORITY : IFREMER * Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer* Siège social :

155 rue Jean-Jacques Rousseau – 92138 Issy-Les-Moulineaux cedex – Tél.: (33) 1 46 48 21 00 – fax: (33) 1 46 48 22 24

APPLICATION ABSTRACT

| | |
|---------------|--|
| PART 3 | DOSSIER DE DEMANDE : OVIDE 2 DATE : 13 JANVIER 2003 |
|---------------|--|

INTERNATIONAL COOPERATION

CLIVAR/GOOS

The CLImate VARIability and Predictability international program coordinates several actions in the North Atlantic (Atlantic Panel). The monitoring of the subtropical gyre through hydrographic sections will be achieved in collaboration with P. Koltermann (BSH Hamburg, Germany) and J. Meincke (IFM Hamburg, Germany). S. Bacon (SOC, UK) is also willing to collaborate on the analysis of the variability in the ocean circulation and heat transport based on the comparison of the hydrographic section FOUREX (1997) and OVIDE (2002,2004,...).

ARGO

Within the european project GYROSCOPE (ending 2003), we collaborate specifically with IFM Kiel, Germany (U. Send, W. Zenk) and SOC, UK (B. King) about the various common scientific interests presented herein. Within the french contribution to ARGO, CORIOLIS, we will deploy several profiling floats to maintain and complement the observational array upon request.

CAVASSOO

This european project (2001–2003) is aimed at the analysis and estimation of CO₂ ocean–atmosphere fluxes in the North Atlantic. During the OVIDE cruises, pCO₂ is continuously measured in the surface waters and in the atmosphere (F. Pérez and A. Rios, IIM Vigo, Spain).

Participants to this project are: A. Watson (UEA, UK), D. Wallace (IFM Kiel, Germany), A. Rios (Vigo, Spain), T. Johannessen (Bergen, Norway), P. Cias (LSCE, Paris, France).

This project should provide the surface boundary conditions that allow to validate our measures within the larger–scale framework.

ANNEXE : DRAKKAR

Un projet de modélisation haute résolution pour CLIVAR

DRAKKAR est un projet de modélisation haute résolution de l'Atlantique Nord et des mers Nordiques. Le document présentant le projet en détail n'est pas encore finalisé (il le sera au printemps 2003), mais le projet DRAKKAR est bien avancé dans sa définition, les grandes lignes de la stratégie et les collaborations. Une lettre d'intention a été envoyée au PNEDC et au PATOM début 2002 et une réunion a regroupé une trentaine de chercheurs à Brest en septembre 2002. De plus, T. Penduff et A. M. Treguier ont participé à la réunion OVIDE de janvier 2003 à Brest.

Problématique scientifique et interaction avec le projet OVIDE

Les objectifs de DRAKKAR incluent la plupart des questions scientifiques qui sont au coeur du projet OVIDE. La motivation principale est l'étude de la variabilité climatique des cinquante dernières années en Atlantique aux hautes et moyennes latitudes. Nous souhaitons étudier les échanges entre les grandes circulations régionales de l'Atlantique Nord (mers nordiques, tourbillon subpolaire et tourbillon subtropical). Ces échanges se font par l'intermédiaire de processus turbulents et/ou de petite échelle (un exemple typique est celui de l'écoulement d'eau dense par le détroit du Danemark, qui contribue à former l'eau profonde Nord Atlantique). Pour étudier l'influence de ces phénomènes de petite échelle sur la variabilité à l'échelle du bassin, il est nécessaire de disposer d'un modèle à très haute résolution ($1/12^\circ$ au moins). Les études en cours sur le modèle CLIPPER $1/6^\circ$ montrent des défauts dans les régions subpolaires qui rendent délicate son utilisation pour aider à l'interprétation des données OVIDE. Par contre, on a montré que certains défauts peuvent être corrigés par une meilleure résolution spatiale (thèse de J. Chanut, LEGI). Le modèle haute résolution DRAKKAR, qui comprendra un couplage avec la glace de mer, sera un bien meilleur outil que CLIPPER pour l'étude du tourbillon subpolaire.

Structure du projet

Comme le projet CLIPPER qui l'avait précédé, DRAKKAR est organisé autour d'une équipe projet (B. Barnier, J.-M. Molines, T. Penduff au LEGI à Grenoble ; A. M. Treguier et S. Theetten au LPO à Brest; G. Madec au LODYC Paris) qui réalisera les expériences numériques. Des équipes de chercheurs associées, dont les chercheurs du projet OVIDE, participent à la définition des expériences numériques et contribueront à la validation et l'analyse des résultats. Cette structure a très bien fonctionné pour le projet CLIPPER (11 publications sont parues dans des revues à comité de lecture concernant CLIPPER ; 2 sont soumises et plus de 6 en préparation pour 2003). Le projet DRAKKAR collaborera de manière encore plus étroite que CLIPPER avec l'océanographie opérationnelle (MERCATOR), en utilisant des configurations de modèle communes. Enfin, DRAKKAR se construira en collaboration étroite avec les modélisateurs de l'IFM Kiel (équipe de C. Boeing). Le modèle DRAKKAR à haute résolution sera commun aux deux équipes.

Stratégie de modélisation

Pour étudier la variabilité sur une région océanique limitée il est nécessaire de disposer de conditions aux limites variant dans le temps. Le projet propose donc dans une première phase (2003–2004) de construire ces conditions aux limites en réalisant des expériences avec le modèle global ORCA 0.25 (océan et glace de mer), au $1/4^\circ$, modèle qui a été réalisé par l'équipe MERCATOR (prototype océan global). Il s'agira des premières expériences d'un modèle global couplé avec la glace de mer à cette résolution.

Dans la deuxième phase du projet, nous réaliserons des expériences sur un domaine limité (Atlantique Nord et mers nordiques, incluant peut-être l'Arctique) à la plus haute résolution possible (en fonction des moyens de calcul disponibles à ce moment). Les premières expériences seront disponibles pour 2006, année de la troisième répétition de la radiale OVIDE.

Les expériences DRAKKAR comprendront des traceurs (probablement les fréons et peut-être un traceur "âge"). Elles pourront servir à prescrire les conditions aux limites de modèles plus locaux (et moins coûteux) incluant des processus biologiques.

Publications du projet CLIPPER dans des revues à comité de lecture

- Candela J, S. Tanahara, M. Crepon, B. Barnier, 2003: The Yucatan channel flow: observations vs CLIPPER ATL6 and MERCATOR PAM05 models. *J. Geophys. Res.*, soumis.
- Crosnier, L., B. Barnier, A. M. Tréguier, 2001: Aliasing of inertial oscillations in the $1/6^\circ$ Atlantic circulation Clipper model: Impact on the mean meridional heat transport. *Ocean Modelling*, 3, 21–31.
- Garnier E., B. Barnier, L. Siefridt, K. Béranger, 2001: Investigating the 15-year air–sea flux climatology from the ECMWF re-analysis project as a surface boundary condition for ocean models. *Int. J. Climatol.*.
- Treguier A.–M., B. Barnier, A. de Miranda, J.–M. Molines, N. Grima, M. Imbard, G. Madec, C. Messenger, S. Michel, 2001: An eddy permitting model of the Atlantic circulation: evaluating open boundary conditions. *J. Geophys. Res.*, 106, 22115–22129.
- Penduff T., B. Barnier, K. Beranger, J. Verron, 2001: Comparison of near–surface mean and eddy flows from two numerical models of the South Atlantic Ocean. *J. Geophys. Res.*, 106, C8, 16857–16867.
- Penduff T., B. Barnier, J. Verron, M. A. Kerbiriou, 2002: How topographic smoothing contributes to differentiating the eddy flows simulated by sigma– and z–level models, *J. Phys. Oceanogr.*, 32, 122–137.
- Penduff, T., P. Brasseur, C.–E. Testut, B. Barnier, J. Verron , 2002: A four–year eddy–permitting assimilation of sea–surface temperature and altimetric data in the South Atlantic Ocean. *J. Mar. Res.*, in press.
- Lumpkin R., K. Speer, and A.–M. Tréguier, 2002: Eddy Scales in the Atlantic Ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, 32, 2425–2440.
- Ganachaud, A., H. Mercier, 2002: Ocean response to meridional Ekman transport in the Atlantic and implication for gravity missions. *Geophys. Res. Lets.*, December 14th 2002, DOI 10.1029/2002GL 015291.
- Treguier, A. M., O Boebel, B. Barnier, G. Madec, 2003: Agulhas eddy fluxes in a $1/6^\circ$ Atlantic model. *Deep Sea Res.*, II, 50, 251–280. .
- Treguier, A. M., N. G. Hogg, M. Maltrud, K. Speer, V. Thierry , 2003: On the origin of deep zonal flows in the Brazil Basin. *J.Phys. Oceanogr.*, in press.
- Thierry, V., H. Mercier, A. M. Treguier, 2003: Numerical study of the annual and semi–annual fluctuations in the deep equatorial Atlantic ocean. *Ocean Modelling*, in press.
- Thurnherr, A. M., K. G. Speer, A. M. Treguier, 2002: Determining decadal mean deep zonal flow from synoptic observations in the South Atlantic. soumis.