

PROGRAMME NATIONAL d'ETUDE DU CLIMAT

DEMANDE DE FINANCEMENT 2003
formulaire détaillé

Rappel : *une demande de financement comprend la fiche abrégée et le formulaire détaillé*

La demande de financement doit parvenir par courrier électronique. L'envoyer en format RTF ou PDF, en document attaché, à : martine.revillon@cnrs-dir.fr. Le document attaché doit être nommé avec les informations minimum suivantes : PNEDC-nom du responsable scientifique. **N.B. Un exemplaire signé par le directeur de laboratoire doit parvenir par courrier postal à Martine Révillon INSU -BP 287-16-75766 Paris cedex 16**

THEME (S) CONCERNÉ(S) : Thème 1 "Le climat de l'Europe et du bassin Méditerranéen et leurs liens avec le bassin Atlantique Nord et le bassin arctique"

RESPONSABLES SCIENTIFIQUES DU PROJET : Herlé Mercier (DR2) et Thierry Huck (CR2), CNRS

LABORATOIRE DU PROPOSANT (intitulé, appartenance, adresse et téléphone, e-mail) :

Laboratoire de Physique des Océans, REMER Centre de Brest, BP 70, 29280 Plouzané

Tel. : 02 98 22 42 86 – Fax : 02 98 22 44 96 – email : herle.mercier@ifremer.fr

Indiquer explicitement les nom et prénom du Directeur du Laboratoire, les références de la formation CNRS de rattachement : **UMR 6523 CNRS – IFREMER – UBO, directeur Xavier Carton**

Titre du projet : OVIDE

Observatoire de la Variabilité Interannuelle à Décennale du gyre subpolaire de l'Atlantique Nord

Résumé du projet :

Le projet OVIDE contribue à l'observation des éléments de la circulation du gyre subpolaire de l'océan Atlantique Nord, dans le but de mieux comprendre la variabilité du climat de cet océan et ses interactions avec l'atmosphère. Nous proposons de surveiller plus particulièrement certaines caractéristiques océaniques qui ont un impact potentiellement important sur le climat de l'Europe :

- 1- les eaux modales subpolaires, afin de comprendre la variabilité de leur formation et leur association aux transferts de chaleur océan-atmosphère ;
- 2- l'amplitude de la cellule méridienne de circulation, et les variations associées des caractéristiques des masses d'eau sur la verticale (en particulier, les eaux de surface et celles profondes, qui trouvent leur origine soit en mer du Labrador, soit dans les mers nordiques après avoir cascadié au passage des différents seuils les séparant du gyre subpolaire) ;
- 3- l'origine et la variabilité des sources des Overflows d'Islande et des Faeroes, composantes principales de l'Eau Profonde Nord Atlantique (NADW) et moteur de la circulation thermohaline de l'océan Atlantique nord.

Ce programme s'appuie sur l'ensemble des données in situ recueillies dans le gyre subpolaire de l'Atlantique nord, dont une radiale hydrographique (WOCE/CLIVAR A25) réalisée tous les deux ans entre le Groenland et le Portugal, les observations de navires de commerce (ex-projet SURATLANT), les données altimétriques satellitaires, le réseau de profileurs dérivants ARGO, mais aussi les bases de données de forçages issues des modèles des centres météorologiques. La première campagne à la mer a eu lieu en juin-juillet 2002. Le programme d'analyse des données inclue la mise en oeuvre de modèles inverses et l'assimilation de données dans un modèle aux équations primitives (OPA 1/3°).

Liste des personnes collaborant au projet (avec indication de leur unité CNRS de rattachement) :

LPO : B. Ferron, T. Huck, P. Lherminier, P. LeGrand, H. Mercier, R. Schopp, V. Thierry, F. Roullier

LODYC : J.-C. Gascard, G. Reverdin, S. Sequeira

LOC/UBO/Roscoff : P. Morin

IIM Vigo : M. Alvarez, F. Perez, A. Rios

CSNSM/IN2P3 : G. Raisbeck, F. Yiou

Durée du contrat demandé : 1 an renouvelable

Montant demandé cette année : 33,6 keuro

Projet nouveau : NON

Projet déjà engagé : OUI

Visa *obligatoire* du Directeur de formation :
Xavier Carton

Signature du demandeur :
Herlé Mercier Thierry Huck

DOSSIER SCIENTIFIQUE

1. INTÉRÊT SCIENTIFIQUE

Le nord de l'Atlantique Nord est le lieu de formation de l'eau profonde Nord Atlantique, composante principale de la branche froide de la cellule méridienne de circulation. La branche supérieure de cette cellule transporte vers le nord l'eau chaude et salée subtropicale qui est progressivement refroidie et convertie en eau modale subpolaire, ainsi qu'en eau intermédiaire ou profonde par convection dans les mers nordiques et la mer du Labrador (ainsi que par transformation au voisinage des talus continentaux). Cette branche froide de retour profonde s'écoule ensuite vers le sud, en entraînant au passage des eaux plus chaudes au passage de seuils séparant les différents bassins. Il y a aussi une petite branche de retour d'eau de surface douce et froide qui résulte des flux d'eau douce prenant place dans l'Arctique ou à son contour. La cellule méridienne de circulation est associée au transport de chaleur vers le nord de l'Atlantique et sa variabilité pourrait être d'une part le signe de changement du forçage atmosphérique, mais aussi le déclencheur de changements climatiques. Mais comprendre la circulation thermohaline dans l'océan Atlantique nord et sa variabilité, requiert également de connaître l'origine des eaux qui franchissent les seuils par "Overflow" et alimentent l'Eau Profonde Nord Atlantique (NADW), et la circulation de ces eaux depuis les régions "sources" jusqu'aux régions "puits".

Le projet OVIDE contribue à l'observation des éléments de circulation du gyre subpolaire de l'Atlantique Nord, dans le but de mieux comprendre la variabilité du climat de l'océan Atlantique Nord et les interactions de cet océan avec l'atmosphère. Nous proposons de surveiller certaines caractéristiques océaniques qui ont un impact potentiellement important sur le climat de l'Europe :

- les eaux modales subpolaires, afin de comprendre la variabilité de leur formation et leur association aux transferts de chaleur océan-atmosphère ;
- l'amplitude de la cellule méridienne de circulation, et les variations associées des caractéristiques des masses d'eau sur la verticale (en particulier, les eaux de surface et celles profondes, qui trouvent leur origine soit en mer du Labrador, soit dans les mers nordiques après avoir cascadié au passage des différents seuils les séparant du gyre subpolaire) ;
- l'origine et la variabilité des sources des Overflows d'Islande et des Faeroes, composantes principales de l'Eau Profonde Nord Atlantique (NADW) et moteur de la circulation thermohaline de l'océan Atlantique nord.

Le projet OVIDE a réalisé en juin–juillet 2002 une radiale d'hydrographie/géochimie entre le Groenland et le Portugal. Cette radiale permettra de caractériser les indices climatiques définis ci-dessus. La répétition de la radiale pendant 10 ans avec une périodicité de 2 ans permettra de caractériser leur variabilité interannuelle à décennale. Le projet s'appuie aussi sur les observations de dénivellation de la surface de la mer par altimétrie, sur le réseau de profileurs dérivants ARGO et sur les bases de données de forçages issues des modèles des centres météorologiques. Par ailleurs, des observations faites à partir de deux lignes de navigation par navires de commerce (SURATLANTE) offrent une vision partielle de la variabilité des couches superficielles du gyre subpolaire (entre l'Islande et Terre-Neuve depuis 1993 ; entre le Danemark et le Groenland depuis 1997/2000)

Un programme d'analyse des données incluant la mise en oeuvre de modèles inverses et l'assimilation de données dans un modèle aux équations primitives (OPA 1/3°) est en cours. Nos objectifs principaux sont de documenter et comprendre la variabilité des propriétés des masses d'eau, de la circulation et des bilans de chaleur et d'eau douce : les relations entre la variabilité observée et la variabilité des forçages sont recherchées.

Une partie du projet s'intéresse plus particulièrement aux mers nordiques et à la circulation profonde, avec pour objectifs principaux de mieux définir :

- a. le devenir des eaux chaudes et salées entrant dans les mers nordiques le long de la côte Norvégienne et recirculant dans l'océan Arctique, la mer du Groenland et celle d'Islande (programme MAIA, *Monitoring the Atlantic Inflow towards the Arctic*) ;
- b. le devenir des eaux intermédiaires peu salées et froides se formant dans les régions arctique et subarctique du secteur atlantique (programme ESOP, *European Subpolar Ocean Project*) ;
- c. l'origine des eaux denses constituant l'overflow DSOW et donnant source à la NADW (programme GINS, *Greenland Iceland Norwegian Seas*) ;
- d. l'influence des eaux de surface, incluant les eaux polaires, sur la transformation des eaux atlantiques et la formation des AIW et leur contribution à la NADW via les overflows (programme ASOF, *Arctic-Subarctic Ocean Fluxes*).

La stratégie mise en oeuvre pour atteindre ces objectifs est de caractériser les différentes masses d'eaux rencontrées et leur évolution, en s'appuyant principalement sur un traceur d'origine anthropique, l'iode ^{129}I , ainsi que sur les caractéristiques hydrologiques (T-S) des masses d'eau. D'autres traceurs sont aussi considérés et notamment les CFCs et le SF_6 dans le cadre d'une collaboration internationale (UK, USA, Norvège et Suède). Une partie importante d'échantillons ont été collectées dans ce but, dans le cadre des programmes ESOP1 et ESOP2 des 3e et 4e PCRD des Communautés Européennes (1993-1998) ainsi que lors de la campagne Interpole (1999) du Marion Dufresne 2 (IFRTP), des campagnes 2000 et 2001 du programme MAIA (5e PCRD) et plus récemment en 2002 lors de 3 campagnes (1) en mer du Groenland dans le cadre du projet CONVECTION (5e PCRD), (2) en mer de Norvège dans le cadre de la campagne du navire Knorr de la WHOI (USA), et (3) en mer d'Irminger dans le cadre de la campagne OVIDE.

Rôle des traceurs anthropiques transitoires

Les traceurs CFCs (CFC-12, CFC-11, CFC-113, CH_3Cl_3 , CCl_4), SF_6 et ^{129}I sont tous d'origine anthropique. Les CFCs sont relâchés dans l'atmosphère sous forme de gaz et sont transférés à l'océan lors des échanges gazeux à l'interface air-mer : une forte concentration de l'un de ces composés peut indiquer un contact récent d'une masse d'eau avec l'atmosphère. En complément de ce signal transitoire lié à ce type de traceurs, un autre composé gazeux, l'hexafluorure de soufre SF_6 a été injecté massivement (environ 340 kg) au sein du gyre de la mer du Groenland en août 1996 et sa propagation dans le circuit subpolaire nord atlantique est suivi actuellement avec grand intérêt (Watson et al. 1999). Ce suivi permet d'accroître et d'affiner notre connaissance sur les temps de résidence des différentes masses d'eau qui transitent à partir de ce gyre dans les différents bassins et aussi des mécanismes tels que la convection profonde qui caractérisent certains d'entre eux. Enfin un traceur anthropique provenant des usines de retraitement des déchets nucléaires de La Hague en France et de Sellafield en Angleterre, l'isotope ^{129}I et transitant vers les mers nordiques et l'océan glacial Arctique via la Manche et la mer du Nord, est désormais utilisé comme traceur transitoire de la circulation océanique dans ces régions (Raisbeck et al. 1995, Edmonds et al. 2000, Smith et al. 1998). Ce traceur ayant une origine et donc une fonction de transfert très différentes des autres traceurs cités précédemment, les renseignements apportés par ^{129}I seront complémentaires de ceux apportés par les traceurs plus traditionnels. Les échantillons d'eau de mer de faible volume (250ml) sont analysés par technique AMS (accelerator mass spectrometry) au tandétron de Gif-sur-Yvette, par le CSNSM à Orsay (Centre de Spectrométrie Nucléaire et Spectrométrie de Masse de l'IN2P3). Les CFCs et le SF_6 ont été analysés en temps réel lors des opérations ESOP 1 et 2 et plus récemment lors de la campagne Interpole du Marion Dufresne 2, de la campagne Arcice du James Clark Ross (UK) et de la campagne MAIA 2001 dans le bassin des Lofoten.

Le projet OVIDE est naturellement complémentaire d'autres projets déposés au PNEDC. Le projet

DRAKKAR, qui fait l'objet d'une annonce séparée, propose une modélisation pronostique de l'océan global forcé par les ré-analyses NCEP avec l'étude spécifique du gyre subpolaire de l'océan Atlantique nord pour étudier les mécanismes de sa variabilité. Ce modèle, une fois validé par les observations, permettra de situer les observations OVIDE dans un contexte dynamique cohérent. Les projets coordonnés par L. Terray et A. Colin de Verdière sont naturellement complémentaires du projet OVIDE qui est une action transverse (alors que les autres projets sont thématiques, regroupés par processus-échelle de temps), et nous collaborerons avec ces groupes pour l'analyse des données recueillies. Pour les mers nordiques, des interactions fortes sont également à établir avec les programmes européens du 5e PCRD (MAIA et ASOF). Dans le cadre de MAIA nous avons pu établir précisément la fonction d'entrée dans le GSNA d'un traceur d'origine anthropogénique, ¹²⁹I.

Le dossier déposé au PNEDC en réponse à l'appel d'offres 2001 est annexé à la présente demande. Il propose un argumentaire complet du projet. Nous n'avons pas jugé bon de rattacher le projet SURATLANTE, dont nombre d'objectifs complémentaires et redondants s'appuie sur l'ORE SSS, récemment acceptée, regroupant toutes les observations par navires de commerce. Nous nous contentons de faire ici un bilan des actions menées en 2002 et de présenter le plan de travail pour 2003.

2. BILAN DES ACTIONS MENÉES EN 2002

2.1 Campagne OVIDE 2002

La première des campagnes OVIDE s'est déroulée du 11 juin au 12 juillet 2002 sur le N/O Thalassa (voir figure ci-dessous). Sa préparation et sa réalisation a constitué l'essentiel du travail du groupe pendant le premier semestre 2002. Comme prévu, nous avons réalisé une radiale d'hydrologie / géochimie / courantométrie entre le Groenland et la péninsule ibérique occupant 104 stations. En parallèle, nous avons lancé 22 XBT, déployé 17 flotteurs profileurs (PROVOR et APEX) dans le cadre de Gyroscope et 6 bouées météo pour Météo-France, et récupéré 3 mouillages "pièges à particules" pour le programme POMME.

Cet effort résulte d'une collaboration active entre :

- le LPO (mesures CTDO₂, ADCP de coque, ADCP rosette) : B. Ferron, T. Huck, P. LeGrand, P. Lherminier, H. Mercier ;
- le Laboratoire de Chimie Marine (UBO/observatoire Roscoff) en charge des mesures de sels nutritifs et de CFCs : P. Morin, S. Forner ;
- l'IIM Vigo en charge des paramètres du cycle du carbone, dont le carbone anthropique : A. Rios, F. Perez, M. Alvarez ;
- le LODYC et le CSNSM/IN2P3 pour les mesures de O₁₈, C₁₃, I₁₂₉ : J.-C. Gascard, C. Pierre, F. Yiou, G. Raisbeck ;
- le LEGOS (mesures des terres rares) : C. Jeandel.

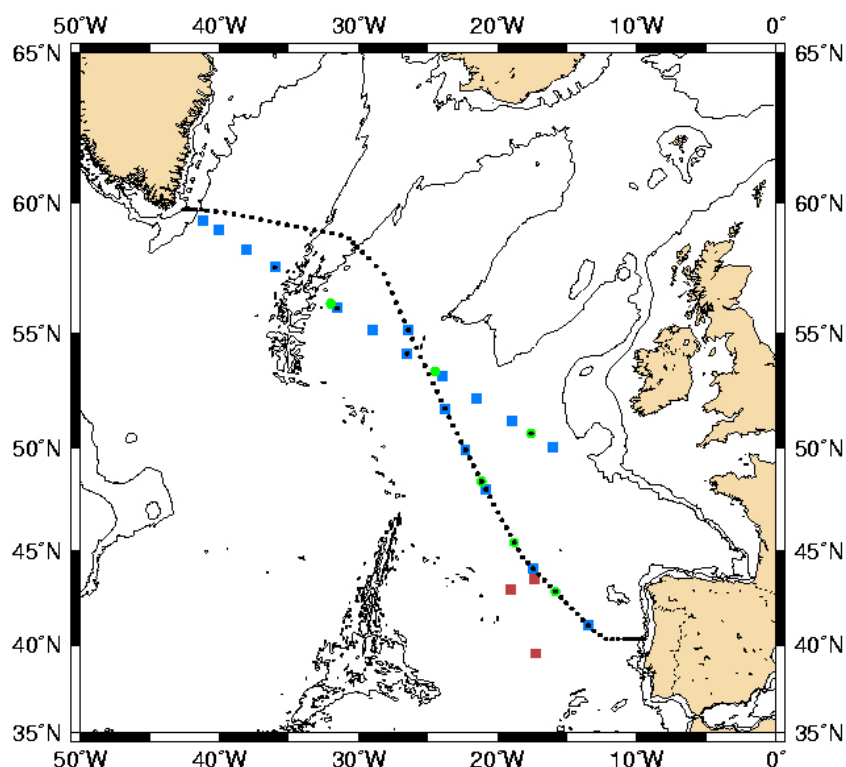


Figure : Travaux à la mer lors de la campagne OVIDE 2002. Cercles noirs : stations d'hydrographie, géochimie, courantométrie. Rectangles bleus : déploiements de profileurs dérivants (PROVOR ou APEX). Cercles verts : déploiements de bouées Météo-France (bouées SVP – Surface Velocity Program). Rectangles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

Même si un travail lourd d'analyse, de calibration et de validation reste encore à mener pour permettre des analyses quantitatives (les données finales sont prévues pour la fin d'année 2002), nous illustrons ci-dessous la variabilité observée sur le champ de salinité en mer d'Irminger entre 1991 et 2002, à titre d'exemple des résultats obtenus. À mi-profondeur (500–1600 m) dans la masse d'eau formée en mer du Labrador, on observe une plus forte teneur en sel en 2002 qu'en 1991. L'eau de la mer du Labrador était plus chaude en 2002 qu'en 1991. C'est le résultat de l'alternance en mer du Labrador de périodes de convection profonde résultant en la formation d'une masse d'eau relativement froide et peu salée (comme en 1990–91) avec des périodes où la convection est peu active (actuellement, masse d'eau relativement chaude et salée). Cette alternance semble pilotée par les variations longue période de l'oscillation nord Atlantique (Dickson et al. 1996, McCartney et al. 1997) : forte au début des années 90, plus faible maintenant.

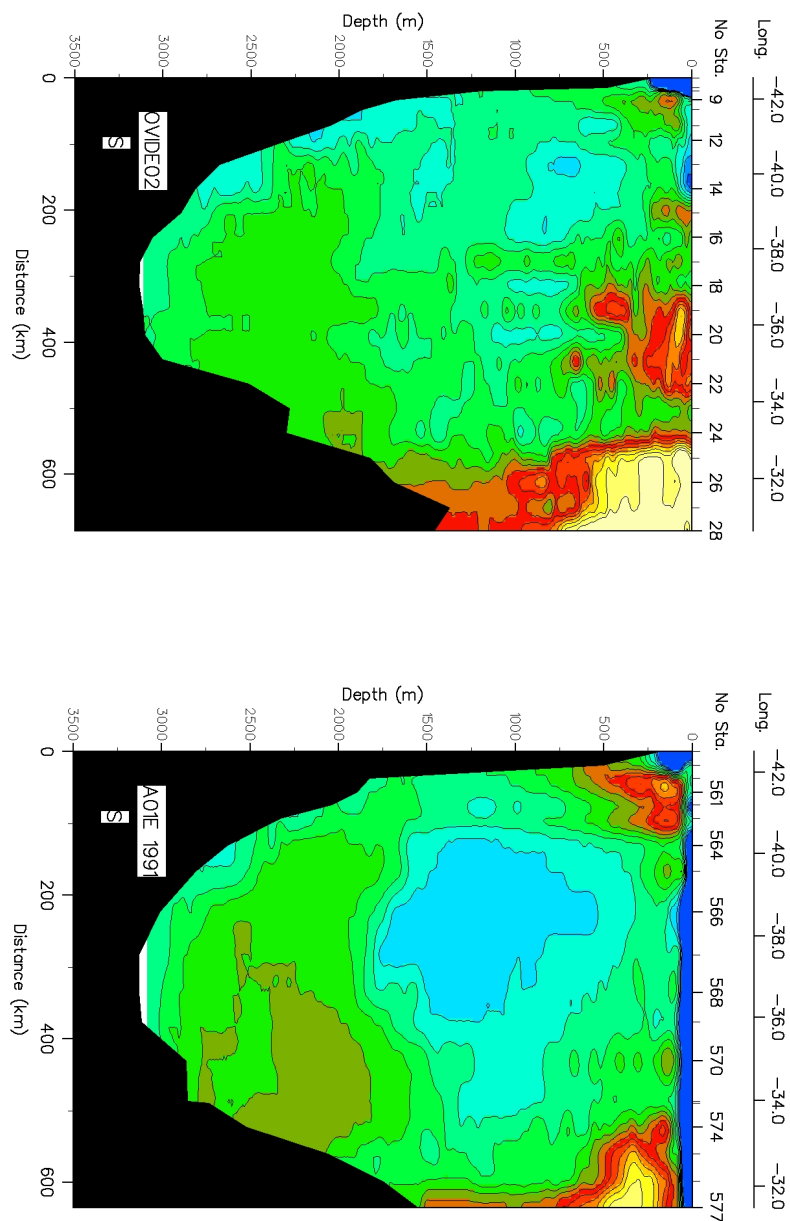


Figure : Comparaison de la salinité observée dans le bassin d'Irminger le long de la section OVIDE en juin 2002 avec celle mesurée lors de la campagne de septembre 1991 (J. Meincke, chef de mission). Les eaux les moins salées sont représentées en bleu, les plus salées en jaune.

Des cartes de salinité et température à 400m tracées à partir de la climatologie saisonnière confirment les observations faites plus haut en mer d'Irminger, et montrent également une Eau Centrale de l'Atlantique Nord plus froide et moins salée, avec une forte variabilité à moyenne échelle au niveau du front à 47°N.

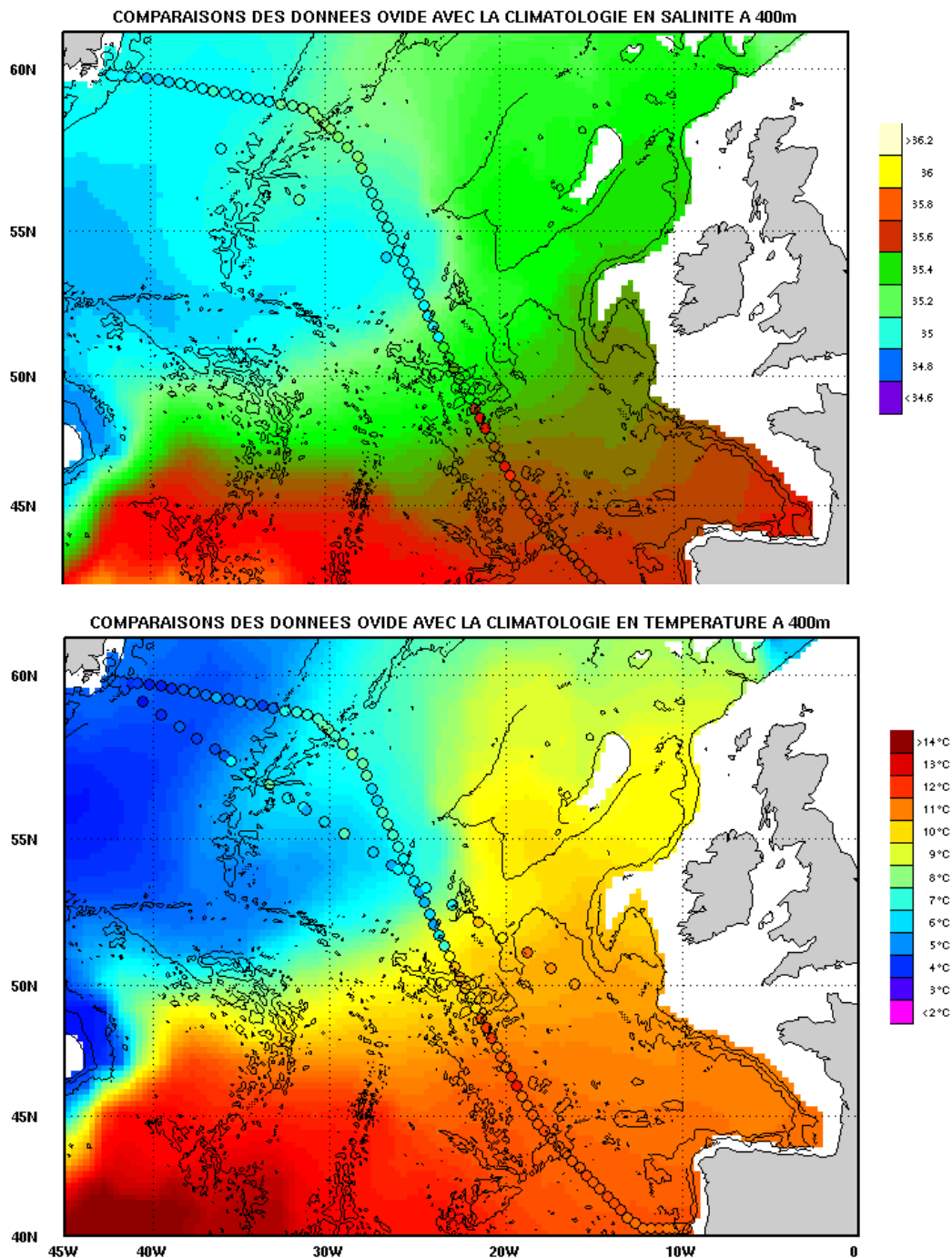


Figure : Comparaison de la température et de la salinité observée à 400m le long de la section OVIDE en juin 2002 avec la climatologie saisonnière de T. Reynaud, qui synthétise les données historiques de Avril à Septembre de 1900 à 1995.

2.2 Observations par navires de commerce (GR)

Ce projet s'est poursuivi avec un succès relatif au cours de l'année 2002. Il s'appuie sur deux navires :

- le Skogafoss, entre Islande et Terre-Neuve, sur lequel embarquent quatre fois par an des observateurs pour prendre des échantillons et tirer des sondes XBTs (depuis juin 1993) ; le navire est équipé d'un TSG en service depuis début 1994. Les «échantillons permettent parfois la mesure de TCO₂ et Talk et des nutritifs, ainsi que de calibrer le thermosalinomètre
- le Nuka Arctica entre Danemark et Groenland équipé d'un TSG depuis mi-1997, d'un ADCP depuis mi-1999 (sous la responsabilité de l'IG de Bergen) et faisant des tirs XBT, quatre fois par an depuis décembre 2000.

En 2002, les problèmes principaux ont été pour le Nuka des difficultés de transmission en temps réel des données du TSG (le problème n'est que partiellement résolu) ; pour le Skogafoss, un mauvais fonctionnement du TSG pendant plus de 4 mois, ainsi qu'une panne du navire pour près de 2 mois (mi juin-mi août). Au début septembre, en plus des prélèvements habituels, l'observateur, Alexis Chaigneau, a aussi fait des prélèvements pour l'analyse du phytoplancton et des cyanobactéries, en même temps que des mesures optiques (en complément du programme d'Yves Dandonneau (LODYC) pour la validation d'observations satellitales de couleur de la mer.

Les données de salinité de surface ont donné lieu à une analyse de la variabilité (Reverdin et al., 2002). Les données de courant ADCP du Nuka Arctica sont traitées à Bergen, mais n'ont pas encore donné lieu à analyses.

2.3 Reconstruction de la circulation 2001–2002 par inversion de données (HM, C. Grit)

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. 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.

2.4 Mise en place de l'assimilation variationnelle de données en configuration Atlantique Nord (BF)

Le thème OVIDE comporte un volet d'assimilation variationnelle à haute résolution. Il servira à fournir des réanalyses de la circulation sur l'Atlantique nord en utilisant des observations de hauteur de surface de la mer, des données hydrologiques de flotteurs dérivants ou de section, des cartes de températures de la surface de la mer.

Le projet a débuté en mai 2002 grâce au recrutement d'un ingénieur d'étude financé par le CNES (TAOB). Lors de l'année 2002, nous avons commencé à mettre en place la configuration qui sera utilisée lors des expériences d'assimilation. Il s'agit d'utiliser le modèle OPA et son adjoint avec une résolution de 1/3° sur un domaine Atlantique s'étendant de 20°S à 70°N. Le domaine modélisé est semblable à celui de CLIPPER NATL3. Le travail suivant a été effectué :

Bathymétrie : la bathymétrie du modèle a cependant été refaite de manière à être plus lisse que celle de CLIPPER NATL3. En particulier nous avons supprimé des structures bathymétriques à l'échelle de la maille du modèle qui contribuent à bruyier les champs du modèle (en vitesse verticale notamment). Nous avons préservé la profondeur et la largeur des détroits clés.

Forçages atmosphériques : les forçages atmosphériques seront ceux construits pour CLIPPER NATL3 ce qui permettra une comparaison des circulations obtenues. Cependant, à la différence de NATL3 notre modèle utilise une surface libre. Les flux d'eau douce ont été corrigés afin de ne pas introduire de biais dans la hauteur de la surface libre du modèle.

Forçages en vitesse aux frontières ouvertes : la configuration étant régionale, elle comporte des frontières ouvertes prescrites au nord et au sud du domaine. Nous avons choisi comme fonction de forçage en vitesse les champs du modèle global ORCA2 issus de l'expérience "robuste diagnostique". Bien qu'ORCA2 utilise une basse résolution de 2°, notre choix s'est orienté vers ces champs car ils restent proches de la climatologie Levitus. Cela constitue un avantage pour l'assimilation qui demande une ébauche n'ayant pas trop dérivée par rapport à la réalité. La fonction de forçage en vitesse sera interpolée sur notre grille à plus haute résolution en prenant soin de ne pas introduire de divergence dans les flux de volume.

2.5 Mers nordiques (JCG, SS, GR, FY)

Lors de la campagne GINS et pour la première fois, des traces de SF₆ ont été détectées dans l'Overflow des eaux profondes en provenance des régions subpolaires et/ou polaires et qui se déversent dans l'océan Atlantique nord en passant par dessus le seuil du détroit du Danemark qui se situe vers 650 m de profondeur. Les résultats de la campagne indiquent que le SF₆ injecté sur l'isopycne 1.02805, située à environ 400m de profondeur au centre du gyre Groenland, conserve un maximum de concentration sur la même isopycne située entre 800m et 1200m de profondeur à la périphérie du bassin de la mer du Groenland et également dans le bassin Boreas et le détroit de Fram au nord ainsi que dans les bassins d'Islande et de Norvège au sud de l'île de Jan Mayen et jusqu'au détroit du Danemark. Ce fait capital semble indiquer, a priori, un lien direct entre la mer du Groenland et la NADW en contradiction avec les conclusions de Mauritzen mais il est important d'étudier très rigoureusement de quelle(s) façon(s) le SF₆ a pu être introduit progressivement dans le courant est Groenlandais pour ensuite être transporté jusqu'au seuil à plus de 1000 km de là et cela au cours des 3 années écoulées depuis l'injection du traceur en août 1996 au centre de la mer du Groenland. Cette étude est d'autant plus nécessaire qu'il ne semble pas que ce traceur ait eu tendance à diffuser de façon diapycnale sous l'influence notamment de la convection profonde hivernale au centre du gyre Groenland mais plutôt de façon isopycnale.

En ce qui concerne l'Iode 129, les premiers résultats obtenus sont très prometteurs :

1) Les analyses effectuées sur des échantillons prélevés au début des années 90s en amont et en aval du détroit du Danemark ont révélé une "contamination" par ¹²⁹I des eaux de l'overflow (Edmonds et al 2000), alors que les eaux atlantiques de la mer d'Irminger en sont totalement dépourvues. Ceci est aussi confirmé par les mesures de ¹²⁹I effectuées en 2002 sur des échantillons d'eau de mer prélevés lors de la campagne GINS du Marion Dufresne 2 en 1999 et maintenant disponibles. De façon très surprenante, les analyses de 1993 (ESOP 1) avaient révélé également que les eaux polaires (la route froide) étaient chargées en ¹²⁹I. Cette contamination des eaux polaires a été aussi confirmée depuis par des prélèvements effectués dans l'océan glacial Arctique lors des campagnes SCICEX (Smith et al. 1998).

2) Les récentes analyses sur des prélèvements effectués dans le courant de Norvège (la route chaude) au large des îles Lofoten (projet MAIA 2000), révèlent une forte concentration dans la partie côtière (Norwegian Coastal Current) mais aussi plus au large. Ces eaux se dirigent ensuite en partie vers le Nord en direction du Spitsberg et en partie vers l'Est en direction des mers de Barents

et de Kara. Des profils effectués en 1993 lors des premières campagnes ESOP avaient également révélés une concentration en ^{129}I dans les eaux atlantiques au large du Spitsberg mais cette concentration était d'un ordre de grandeur inférieure à celle que nous enregistrons maintenant devant les îles Lofoten.

3) Les analyses effectuées sur les échantillons prélevés lors de la campagne ESOP2 en 1997 ont révélé une pénétration de ^{129}I jusqu'à 2000m de profondeur dans la zone de convection profonde de la mer du Groenland. Ce résultat apparemment en contradiction avec celui obtenu à partir du traceur SF_6 , est une information de toute première importance car elle indique non seulement le rôle majeur tenu par des tourbillons cohérents de submésoscale (SCV: submesoscale coherent vortex) dans le préconditionnement à la convection profonde mais aussi tout l'intérêt qu'il y a à utiliser des traceurs ayant des fonctions d'entrée très différentes pour contraindre de façon plus rigoureuse le cadre conceptuel des modèles traitant de la convection profonde et de la circulation thermohaline.

Concrètement ce travail en 2002 a donné lieu à un article publié dans la revue Nature (4 avril 2002) "Long-lived vortices as a mode of deep ventilation in the Greenland Sea." by Gascard, J.-C.; Watson, A.J.; Messias, M.J.; Olsson, K.A.; Johannessen, T.; Simonsen, K. ; et un rapport de données validées concernant principalement l'hydrologie CTD et les mesures ADCP de la campagne GINS du MD2 en 1999. Ces données ont été envoyées pour archivage au centre Sismer de Brest. Ce rapport a été établi par A. Kartavtseff et J.-C. Gascard. Nous allons pouvoir y adjoindre les résultats d'analyse de ^{129}I qui sont maintenant disponibles.

La phase d'exploitation des données d'hydrologie et de courantométrie du programme GINS est maintenant terminée. Les données calibrées et validées ont été archivées au centre de Brest et le rapport final de données publié. La phase de préparation et d'analyse des échantillons au Tandétron pour la mesure des concentrations en ^{129}I , est également terminée. Ce travail considérable a pu être réalisé comme prévu en 2002 avec le soutien du PNEDC. Aux 300 échantillons du programme GINS s'ajoutent 300 échantillons pour le programme MAIA. Si l'on tient compte des analyses effectuées dans le cadre des programmes ESOP 1 et 2 et VEINS, nous disposons actuellement de 1000 mesures environ de concentration en ^{129}I couvrant les mers de Norvège, Groenland, Islande et Kara. Ceci constitue une banque de données remarquable et qui permet désormais un effort soutenu de notre part au niveau des publications. Trois articles sont actuellement soumis (d'ici fin 2002) :

1) Dans le cadre de l'expérience MAIA 2000, un article a été soumis en octobre 2002 à la revue Geophysical Research Letters par Gascard, J.C.; Raisbeck, G.; Sequeira, S.; Yiou, F.; Mork, K.A, sur « The great Divide of the Norwegian Atlantic current in the Lofoten basin inferred from hydrological and tracer data (^{129}I): the Northern (Fram Strait) branch and the Eastern (Barents Sea) branch, suite à l'abstract présenté à l'EGS de Nice en Avril 2002 dans la session « hautes latitudes » sur « An anthropogenic radioisotope, ^{129}I , as a tracer for studying the northern limb of the Meridional Overturning Circulation (MOC) ». Dans cet article nous avons profité de l'estimation précise du transport d'eau chaude et salée d'origine atlantique par le courant norvégien (qui est l'objectif majeur de MAIA : Monitoring the Atlantic Inflow towards the Arctic) pour procéder à des estimations du transport intégré de ^{129}I au travers des 3 sections présentées sur la figure a. Ce transport intégré a pu être comparé en moyenne annuelle aux émissions connues (> 300 kg par an environ) des 2 sources principales (cumulées), La Hague (F) et Sellafield (UK). Nous avons pu ainsi mieux estimer d'une part les transports d'eau atlantique associés aux diverses branches du courant de Norvège soit en direction de la mer de Barents, soit en direction du Spitsberg et, d'autre part les transports associés au courant côtier norvégien qui constitue le 2e vecteur principal de l'entrée de ^{129}I dans l'Océan Glacial Arctique, principalement par les mers de Kara et de Laptev (l'autre vecteur principal étant le courant de Norvège au large du talus continental).

2) Dans le cadre de l'expérience GINS 1999, un premier article (soumission octobre 2002) basé sur les observations hydrologiques et les traceurs SF_6 et CFCs, a été réalisé en coopération avec nos

collègues suédois de l'Université de Goteborg (Dr. K. A. Olsson). Un second article s'appuyant sur les résultats d'hydrologie et ^{129}I de la campagne GINS du MD2 en 1999 est en cours d'achèvement et devrait être soumis prochainement. Ces 2 articles ont pour mérite essentiel d'améliorer notre connaissance sur l'origine des masses d'eaux qui alimentent l'Overflow du détroit du Danemark et qui constitue l'une des composantes majeures de l'Eau Nord Atlantique profonde. Il sera très intéressant de confronter ces résultats avec ceux qui seront obtenus à partir de l'analyse des échantillons prélevés au cours de la campagne OVIDE en mer d'Irmingier. Il s'agit là d'un élément essentiel pour caractériser la composante thermohaline de la circulation subpolaire nord atlantique.

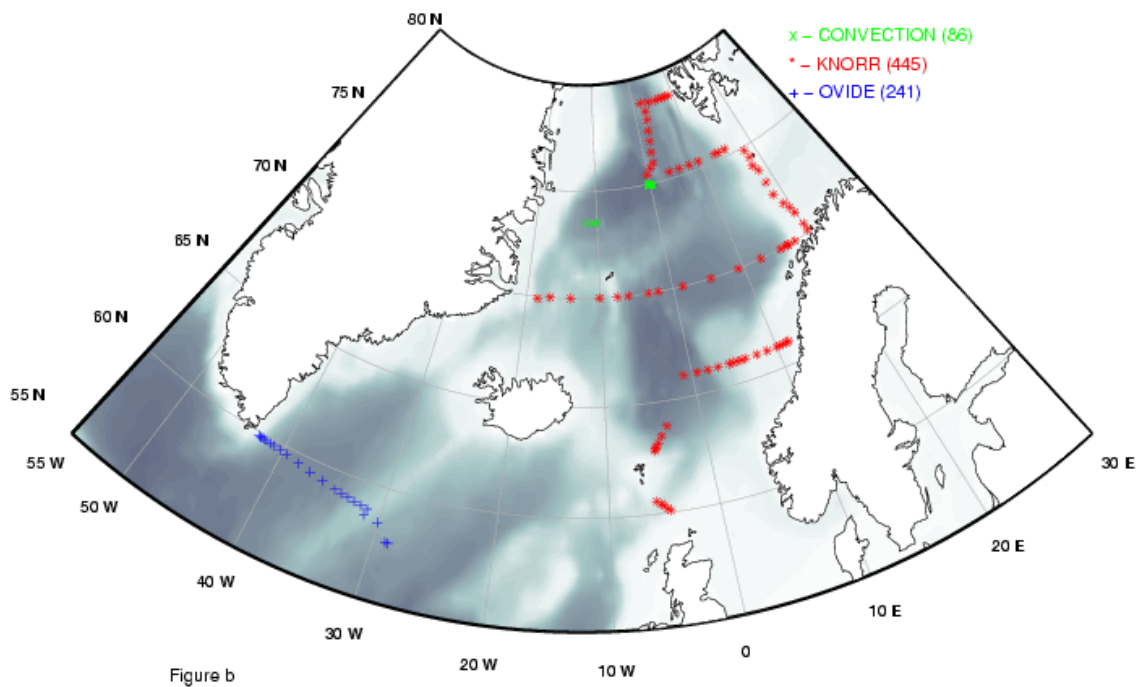
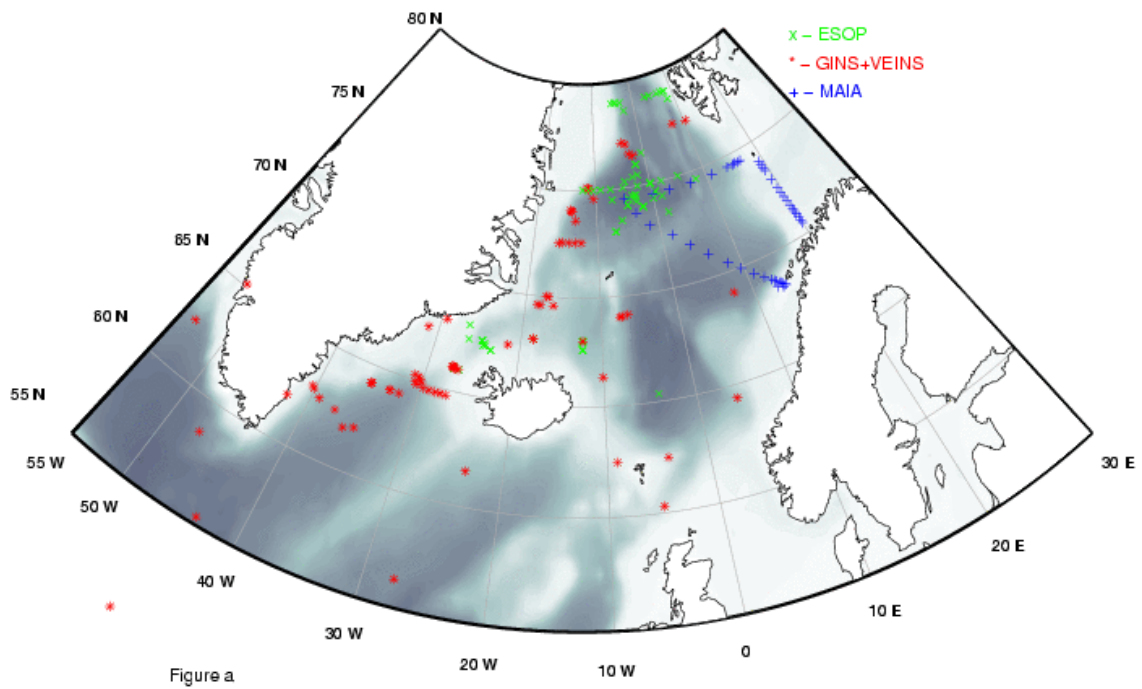


Figure : (a) positions des stations où des échantillons ont été prélevés jusqu'en 2000 pour dosage de l'Iode 129, et qui font l'objet de 3 publications en cours ; (b) positions des stations où 800 échantillons ont été prélevés en 2002. Ces 800 échantillons sont à analyser au tandetron de Gif-sur-Yvette et serviront de base aux publications prévues en 2003.

3. PLAN DE RECHERCHE ET CALENDRIER POUR 2003–2004

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

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 (cf section 3.5), 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 600m 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 (voir 2.2), et à partir des sorties de modèles réalistes (CLIPPER, DRAKKAR, en collaboration avec les équipes concernées).

Comme nous l'avons fait dans le programme MAIA (résultats à paraître) nous ferons des bilans sur le traceur Iode 129 ce qui impliquera d'intégrer les concentrations mesurées (1) au transport barocline déduit de l'hydrologie et (2) au transport total déduit des mesures directes de courant au dessus du fond réalisées pendant Ovide 2002 avec le LADCP et aussi avec les mesures de Dickson et al. réalisées lors de l'expérience VEINS.

En parallèle, une coopération avec l'université de Bergen, qui devrait se concrétiser par le séjour d'un étudiant norvégien au LODYC en fin 2003–2004, devrait permettre une analyse de la variabilité du transport méridien au travers de 59°N–60°N entre le Groenland et les Shetland. L'analyse se concentrera dans un premier temps sur la variabilité de la circulation au voisinage de la ride de Reykjanes, ainsi que sur le 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. Une difficulté risque d'être la portée limitée de l'ADCP qui a varié de 200 à 400m, selon la saison et les conditions météorologiques.

Notons aussi un besoin qui se fait sentir pour les XBTs, dont l'approvisionnement qui était assuré jusqu'ici par l'UK Hydrographic Office, ne le sera plus à partir d'avril 2003. Des discussions sont en cours avec les collègues norvégiens, danois et américains pour identifier qui pourrait prendre en charge les 180–200 XBTs par an. Nous demandons donc une contribution exceptionnelle de 48 XBTs en 2003, mais ne pouvons indiquer si un besoin identique se fera sentir en 2004.

3.2 Assimilation de l'altimétrie au 1/3° avec le code OPA (BF)

Les premières expériences d'assimilation débiteront en 2003. Le choix d'une "haute résolution" (1/3°) 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. La période de validité du tangent–linéaire sera déterminée pour définir la fenêtre d’assimilation. L’impact des données altimétriques sera quantifié par des expériences jumelles. Les premières utiliseront des conditions d’observations de la surface libre idéale (haute fréquence et en tout point du domaine), puis nous limiterons le nombre d’observations pour converger vers la fréquence et la disparité des observations satellites. Ces expériences nous permettront de déterminer dans quelles limites nous pourrions restituer le signal. 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 Formation des eaux modales en Atlantique Nord, rôle des structures topographiques (VT)

Le gyre subpolaire 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).

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 600m vers 58°N. 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.

L’existence de régions spécifiques de formation des SPMW, possiblement associées à des structures topographiques, a été suggérée par Talley (1999). Les premiers résultats de la campagne montrent clairement que l’eau modale à 7–8°C mentionnée précédemment est située sur le bord est de la dorsale de Rekjanes. En 2003, nous débuterons 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.

3.4 Évolution de la structure méridienne de la pycnocline en fonction du vent (RS)

Une des études se concentrera sur le rôle du vent dans la dynamique d’évolution des structures océaniques observées en liaison avec les mélanges résultant de l’instabilité barocline. Une analyse de la structure de la pycnocline et son évolution temporelle sur la base des données OVIDE et GYROSCOPE sera réalisée. On cherchera à localiser les zones frontales et les régimes de transferts intergyres des différentes masses d’eau. Ce travail utilisera des modèles de processus et les modèles à haute résolution CLIPPER et DRAKKAR conjointement à l’analyse des observations.

3.5 Mers nordiques (JCG, SS, GR, FY)

Nous poursuivrons en 2003 les analyses portant sur l’identification des masses d’eau et des transports associés au gyre subpolaire nord atlantique en confrontant les résultats d’analyse des 800 nouveaux échantillons prélevés en 2002 au cours de 3 campagnes (dont OVIDE), aux analyses antérieures effectués sur des échantillons prélevés au cours des années 90 (principalement de 1996 à 2000). Nous commencerons également à nous intéresser à la variabilité interannuelle et décennale liée à cette circulation subpolaire et surtout bien évidemment à sa composante thermohaline.

Les perspectives de ce travail se situent dans une dynamique très active. Nous avons en effet participé en 2002 à 3 campagnes (voir figure b). La première en avril 2002, en mer du Groenland, dans le cadre du programme européen « Convection » du 5e PCRD (coordinateur P. Wadhams en

année sabbatique à Villefranche-sur-mer). La seconde en juin 2002, en mer de Norvège, en coopération avec la Suède et les USA lors de la campagne conjointe de l'Oden (brise-glace suédois) et du Knorr (navire de la Woods Hole Oceanographic Institution, USA). La troisième campagne en juillet 2002, en mer d'Irminger, dans le cadre du projet Ovide (N/O Thalassa). 800 échantillons ont été prélevés qui vont nous permettre d'une part de compléter notre base de données traceurs (en particulier ^{129}I) et d'autre part de nous engager dans un travail sur la variabilité interannuelle et décennale de la circulation dans le GSNA, objet du présent projet. Nous pourrions parachever ce travail de recherche et de constitution d'une banque de données exceptionnelle dans le cadre du programme ASOF (Arctic-Subarctic Ocean fluxes) auquel nous participons et qui vient d'être accepté pour financement par l'Europe dans le cadre du 5e PCRD pour la période 2003-2005.

En 2003 nous proposons donc (1) l'analyse sur la ligne ^{129}I du tandétron de Gif-sur-Yvette d'une partie des 800 échantillons collectés en 2002, et (2) la mise au point de 3 publications :

– La première publication portera sur une intercomparaison des observations MAIA 2000 et KNORR 2002 pour une étude de variabilité associée au courant atlantique norvégien et sa division en 2 branches Nord et Est alimentant l'Océan Glacial Arctique.

– La seconde publication portera sur la convection profonde en mer du Groenland suite à l'article que nous avons publié dans la revue Nature en 2002 et aux projets européens ESOP 1 et 2 (1993-1998) et Convection (2002) en tenant compte de la distribution du traceur ^{129}I dans et autour des cheminées de convection de la mer du Groenland. L'objectif principal de cette étude sera de déterminer l'origine et l'âge de ces structures dont la cohérence (robustesse) est étonnante.

– La 3e publication portera sur une intercomparaison des observations faites depuis le début des années 90s autour de l'Islande pour comprendre la variabilité de l'Overflow dans le détroit du Danemark. Les prélèvements effectués en 2002 (Knorr) autour des Faeroes permettront aussi d'aborder l'Overflow Faeroes-Shetland et la circulation profonde observée sur la radiale OVIDE.

3.6 Organisation de la campagne OVIDE 2004 (TH)

La section hydrographique OVIDE sera répétée en 2004 (chef de mission Thierry Huck), si possible exactement à la même période que la section 2002 (11 juin-12 juillet) afin de documenter uniquement la variabilité interannuelle sans avoir à se soucier de la variabilité saisonnière. Les mêmes mesures seront effectuées par les mêmes laboratoires : CTDO2, ADCP par le LPO ; pH, alcalinité, pCO2 par l'IIM Vigo ; nutritifs, CFCs, CCl4 par le Laboratoire de Chimie Marine (UBO). Une demande de campagne pour 2004 reprenant cette proposition scientifique sera déposée à l'IFREMER en janvier 2003. Les informations ci-dessous synthétisent les détails techniques et financiers de cette demande.

Navire : Thalassa

Durée de la campagne : 24 jours pour effectuer la radiale de la péninsule ibérique au Groenland auxquels il faut ajouter le transit depuis et vers les ports d'escale.

Activité : 95 stations hydrographie / géochimie / VM-ADCP / L-ADCP et déploiement de flotteurs profileurs.

Matériel dont disposent les participants : matériel d'hydrographie du LPO, de géochimie du LOC/UBO et IEM Vigo, flotteurs profileurs Gyroscope.

Financements nécessaires 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 (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

Nous demanderons à l’IFREMER de financer 50 % des postes 1 et 2, au PNEDC de financer 50 % du poste 1, à l’IFREMER et à l’INSU de financer le poste 3 pour leurs personnels respectifs.

Mouillages sur le plateau du Groenland (Karen Heywood, UEA Norwich, UK)

Karen Heywood (University of East Anglia) nous a proposé de collaborer à son projet de mesure, par courantométrie eulérienne, du transport du courant de bord à l’est du Groenland, là où se termine la section OVIDE. Si le projet est financé par le NERC, les analyses que nous proposons bénéficierons de ces mesures directes de courant, permettant de placer les mesures ponctuelles d’OVIDE dans un contexte temporel. Cette participation est à définir en fonction de la période attribuée pour la campagne (glaces de mer dérivant le long de la côte du Groenland en juin).

Ce projet MINKE (*Monitoring the Irminger and Nordic seas Key Exchanges*) compte mettre en place un réseau d’observations capable de fournir un avertissement fiable et précoce des changements de la cellule méridienne de circulation dans l’Atlantique. Un réseau complet de courantomètres et de profileurs CTD sera mouillé au sud-est du cap Farewell à l’extrême sud du Groenland afin de mesurer le transport, la variabilité et les propriétés des courants profonds de bord ouest, du courant est-groenlandais, du courant d’Irminger, et des courants le long du plateau groenlandais. Ce réseau fournira deux produits uniques : (i) une surveillance complète des courants profonds de bord ouest, branche inférieure de la cellule méridienne de circulation, et (ii) en conjonction avec les sections hydrographiques, une surveillance complète de la cellule méridienne et des flux de chaleur et d’eau douce vers l’Atlantique nord-est et les mers nordiques, au point où leur influence sur le climat de l’Europe est extrême. 5 jours de temps bateau ont été demandés dans le cadre des échanges européens.

Mesures de pH, pCO₂ et d’alcalinité lors de la campagne OVIDE 2004 (contribution IIM Vigo)

L’objet de la proposition de l’équipe du IIM Vigo (responsable F. F. Pérez) est de :

- 1) quantifier les transports méridiens de carbone inorganique ;
- 2) estimer les échanges de CO₂ entre l’atmosphère et l’océan ;
- 3) déterminer le carbone anthropique dans le gyre subpolaire de l’Atlantique Nord.

Pendant la campagne OVIDE 2004 seront réalisées les mesures du pH (toutes les stations) et d’alcalinité (1 station sur 2). Afin d’estimer les flux de CO₂ entre l’atmosphère et l’océan, le pCO₂ de surface sera mesuré en continu. Les variables du système du carbone (pH et alcalinité) permettront de calculer d’une façon précise le carbone inorganique total C_T en utilisant les équations thermodynamiques du système du carbone (Dickson, Deep-Sea Research 1981) et les constantes de dissociation de Mehrbach et al. (Limnology and Oceanography, 1973). En outre, les mesures des 3 paramètres du système du carbone en surface va permettre d’évaluer la consistance interne des variables mesurées, en améliorant la qualité des données.

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 pré-industrielle (i.e. 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. Le carbone anthropique est accumulé dans le gyre subpolaire de l’Atlantique Nord comme conséquence de la cellule méridienne de

circulation. Pour cette raison, une étude continue du système du carbone permettant d'évaluer le taux d'incorporation de CO₂ et d'analyser le rôle de l'Atlantique Nord dans le stockage des émissions anthropiques de CO₂ est nécessaire.

Trois personnes seront nécessaires à bord pour effectuer l'échantillonnage, les analyses, la calibration et la validation des données et surveiller l'équipement de pCO₂ en continu : probablement Fiz F. Pérez, Aida F. Ríos, Marta Álvarez.

3.7 Intégration dans le programme international CLIVAR

Une compilation succincte des différentes sections hydrographiques réalisées et prévues dans l'Atlantique Nord (WOCE/CLIVAR) est présentée afin de prévoir des échanges de données et collaborations, suivant la nomenclature des sections hydrographiques WOCE/CLIVAR (voir figure pour tracé exact) :

A1E ~53°N Greenland–Scotland (through Irminger Sea) ;

A02 ~48°N Newfoundland–UK ;

A25 60–45°N Greenland–Spain/Portugal (through Irminger Sea).

année/mois section dates (chef de mission/BATEAU) références éventuellement

199007 A1E 1–23jul1990 (van Aken/NIOZ)

199104 A1E 8apr–1may1991 (van Aken/NIOZ)

199104 ~A1E R/V Endeavour cruise [Pickard et al. 2002sub]

199104 ~A1E R/V Tyro cruise [Pickard et al. 2002sub]

199108 A1E 1aug–4sep1991 (Gould/IPO)

199109 A1E 2–26sep1991 (Meinke/IfMUH)

199209 A1E 12sep–6oct1992 (Sy/BSH)

199405 A1E 21may–8jun1994 (Bersch/IfMUH)

199411 ~A1E ?

199506 A1E 26may–23jun1995 (Bersch/IfMUH)

199607 ~A1E ?

199608 A1E 19aug–5sep1996 (Bersch/IfMUH)

199611 ~A1E ?

199706 ~A1E ?

199708 A25 07aug–17sep Espagne–Groenland (Bacon/RRS Discovery Cruise 230)

199711 A1E 3oct–18dec1997 (Sovov/GOIN) R/V Valdivia jul–aug ???

1998 A1E (Schott et al./GER)

1999 A1E 18may–4nov1999 ~57°N Greenland–UK (Schott et al./GER)

200006 A02 ~50°N 6may–5jul2000 (Koltermann/BSH)

200010 A1E (van Aken/NIOZ)

200104 53°N Newfoundland–Ireland (Tereshchenkov/IORAN)

200107 A1E~57°N 17jul–12aug2001 Greenland–UK (Schott et al./GER)

200109 53°N Newfoundland–Ireland (Morozov/IORAN)

200206 A02 ~50°N 17may–13jul2002 (Koltermann/BSH)

200206 A25 20jun–12jul2002 Ovide Greenland–Lisbon (Mercier/THALASSA)

...

2002 A1E ~57°N Greenland–UK 2002 planned (M. Bersch, IfM Hamburg, Germany)

2003 A1E ~57°N Greenland–UK 2003 planned (H. van Aken, NIOZ, Germany)

2003 A02 ~50°N 2003 Newfoundland–UK planned Rhein

200406 A25 20jun–12jul2004 Ovide Greenland–Lisbon (Huck/THALASSA)

2004 A1E ~57°N 2004 Greenland–UK planned (M. Bersch, IfM Hamburg, Germany)

2004 A02 ~50°N 2004 Newfoundland–UK planned Koltermann

2005 A1E ~57°N 2005 Greenland–UK planned (H. van Aken, NIOZ, Germany)

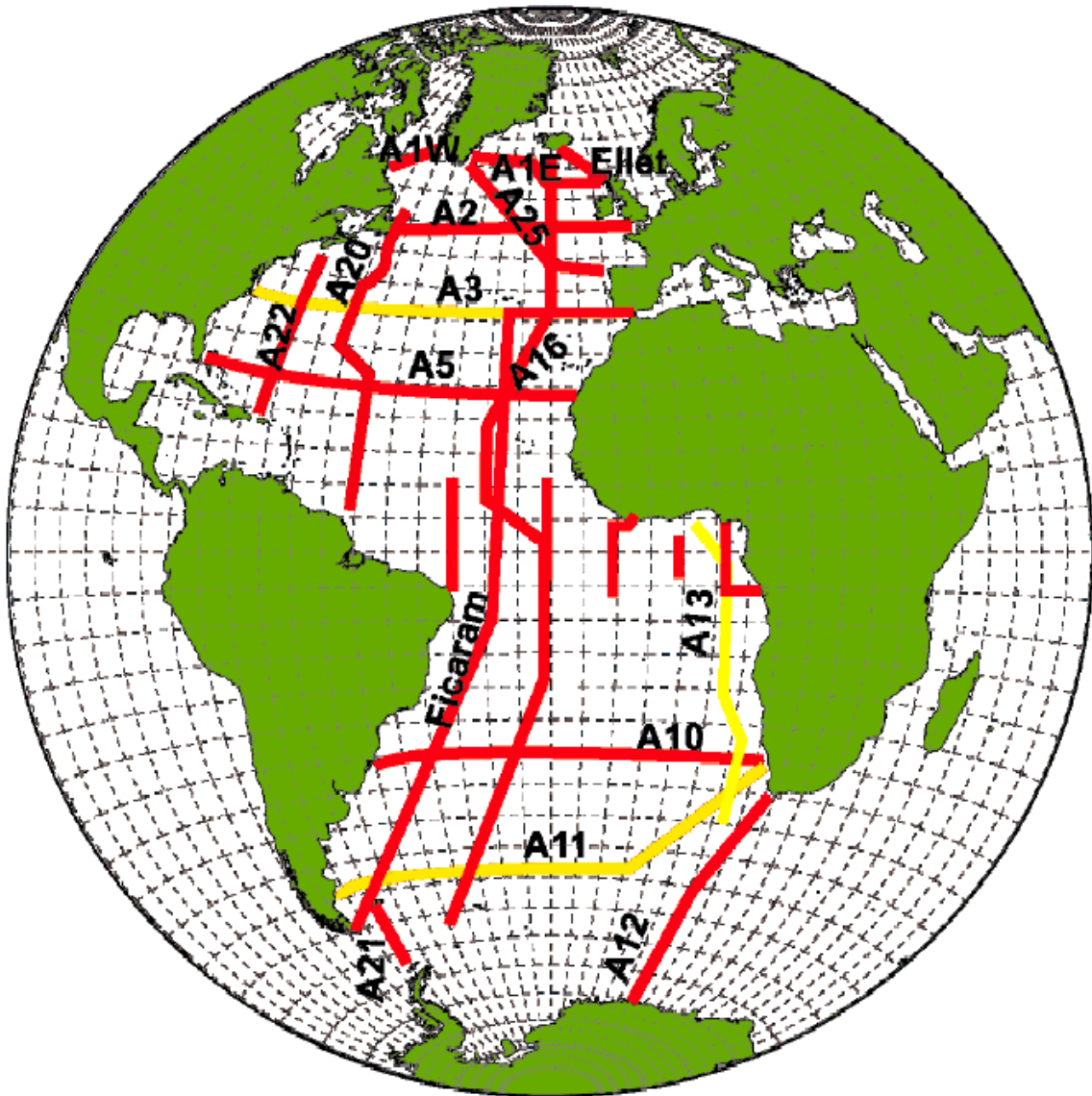


Figure : Tracé et nomenclature des sections hydrographiques WOCE/CLIVAR déjà réalisées une fois dans le cadre du programme WOCE et prévues d'être répétées dans le cadre de CLIVAR.

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LE TEXTE

- Dickson R. R. and Brown J., 1994 : The production of North Atlantic Deep Waters : sources, rates and pathways. *J. Geophys. Res.* 99, 12,319–12,341.
- Dickson R., J. Lazier, J. Meincke, P. Rhines, and J. Swift, 1996 : Long-term coordinated changes in the convective activity of the North Atlantic. *Prog. Oceanog.* , **38**, 241–295.
- Dokken and E. Jansen, 1999 : Rapid changes in the mechanism of ocean convection during the last glacial period. *Nature*.
- Edmonds H.N., Z.Q. Zhou, G. Raisbeck, F. Yiou, L. Kilius, J.M. Edmond, 2001 : Distribution and behavior of anthropogenic ^{129}I in water masses ventilating the North Atlantic Ocean. *J. Geophys. Res.*, 106, C4, 6881–6894.
- Gascard JC, C. Richez and C. Rouault, 1995 : New insights on large scale oceanography in Fram Strait : the West Spitsbergen Current. *Coastal and estuarine Studies Vol 49* pp 131–182. Arctic Oceanography, Marginal Ice Zones and Continental Shelves.
- McCartney, M. S., and L. D. Talley, 1982 : The subpolar mode water of the North Atlantic ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, **12**, 1169–1188.
- McCartney, M. S., R. G. Curry, and H. F. Bezdek, 1997 : The interdecadal warming and cooling of Labrador Sea water. *ACCP Notes*, **IV**, 1.
- Mauritzen, C., 1996 : Production of dense overflow waters feeding the North Atlantic across the Greenland–Scotland Ridge. Part 1 : Evidence for a revised circulation scheme. Part 2 An inverse model. *Deep Sea Research*, 43/6, 769–836
- Mercier, H., M. Ollitrault, and P. Y. Le Traon, 1993 : An inverse model of the North Atlantic general circulation using lagrangian float data. *J. Phys. Oceanogr.*, **23**, 689–715.
- Quadfasel D., J.C. Gascard and K.P. Koltermann, 1987 : Large scale oceanography in Fram Strait during the 1984 marginal ice zone experiment. *JGR Vol 92 NO.C7* pp 6719–6728.
- Raisbeck G.M., F. Yiou, Z.Q. Zhou et L. Kilius, 1995 : ^{129}I from nuclear fuel reprocessing facilities at Sellafield (UK) and La Hague (France); Potential as an oceanographic tracer ", *Journal of Marine System* 6, 561–570.
- Raisbeck G.M., F. Yiou, 1999 : ^{129}I in the Oceans : Origins and Applications ", *Science of the Total Environment*, 237–238, 31–41.
- Raisbeck G., F.Yiou and G.C.Christensen, 1999 : $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ in the Norwegian Coastal Current from 1980–1998 ". *Proceedings of the 4th International Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic*, Edinburgh, 20–23 September 1999, P. Strand and T. Jolle Ed., pp 30–32.
- Rudels, B. H.J. Friedrich and D. Quadfasel, 1999 : The Arctic circumpolar boundary current. *Deep Sea Research II*, 46, 1023–1062.
- Smith J.N., K.M. Ellis, L.R. Kilius, 1998 : ^{129}I and ^{137}Cs tracer measurements in the Arctic Ocean. *Deep-sea Res.*, 45, 6, 959–984.
- Swift J. H., 1984 : The circulation of the Denmark Strait and Iceland–Scotland overflow waters in the North Atlantic. *Deep Sea Res.* 31, 1339–1355.
- Talley, L. D., 1999 : Mode waters in the subpolar North Atlantic in historical data and during the WOCE period. *The International Woce Newsletter*, **37**, 3–6.
- Watson, A. J., M. J. Messias, E. Fogelqvist, K. A. Van Scoy, T. Johannessen, K. I. C. Oliver, D. P. Stevens, F. Rey, T. Tanhua, K. A. Olsson, F. Carse, K. Simonsen, J. R. Ledwell, E. Jansen, D. J. Cooper, J. A. Kruepke and E. Guilyardi, 1999 : Mixing and convection in the Greenland Sea from a tracer–release experiment. *Letters to Nature*, 401, 28 october 1999.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques du responsable et de l'équipe, en particulier sur le sujet de la demande (trois dernières années : 2000, 2001, 2002).

Arhan, M., N. Wienders, et 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*.

Bacon, S., G. Reverdin, I. G. Rigor, and H. M. Snaith, 2002 : A freshwater Jet on the east Greenland shelf. *J. Geophys. Res.*.

Colin de Verdière, A., et 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, and T. Huck, 2002: The role of Atlantic ocean–atmosphere coupling in affecting North Atlantic Oscillation variability. to appear in: AGU monograph "The North Atlantic Oscillation".

Deser C., M. Holland, G. Reverdin et M.S. Timlin, Decadal variations in Labrador Sea Ice cover and North Atlantic sea surface temperature. *J. Geophys. Res*, 2002

Edmonds, H. N., Z.Q. Zhou, G. Raisbeck, F. Yiou, L. Kilius, J.M. Edmond, 2001 : The distribution and behavior of anthropogenic ¹²⁹I in water masses ventilating the North Atlantic Ocean. *J. Geophys. Res.*, **106**, C4, 6881–6894.

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.

Ferron, B., H. Mercier, et A. M. Treguier, 2001 : 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., et J. Marotzke, 2002 : Impact of 4D–variational assimilation of WOCE hydrography on the meridional circulation of the Indian Ocean. *Deep–Sea Research*, sous presse.

Ganachaud, A., H. Mercier, 2002: Ocean response to transoceanic Ekman transport, implication for gravity mission. *Geophysical Research Letters*, in press.

Gascard, J.–C., A.J. Watson, M.J. Messias, J.A. Olsson, T. Johannessen and K. Simonsen, 2002 : Long–lived vortices as a mode of deep ventilation in the Greenland Sea. *Nature*, 4 avril 2002.

Gouriou, Y., G. Forget, B. Bourlès, H. Mercier, 2002: Analysis of the circulation in the western tropical Atlantic through LADCP measurements and inverse model results. Submitted to Deep Sea Research.

Harpaintner, J., J.–G. Gascard and P.M. Haugan, 2001 : Ice production and Brine formation in Storfjorden, Svalbard. *J. Geophys. Res.*, **106**, C7, 14001–14013.

Harpaintner, J., J. O'Dwyer, J.–C. Gascard, P.M. Haugan, U. Schauer and S. Osterhus, 2002 : Seasonal transformation of water masses, circulation and brine formation observed in Storfjorden. *Ann. Glaciol.*, **33** (in press).

Huck, T., G. K. Vallis et 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 : The use of tangent linear model for predicting oscillations of the three–dimensional thermohaline circulation. *Tellus*, **53A**, 526–545.

- Le Grand, P., 2001 : Impact of the Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer (GOCE) mission on ocean circulation estimates. Volume fluxes in a climatological inverse model of the Atlantic. *J. Geophys. Res.*, **106**, 19597–19610.
- L'Helguen, S., P. Le Corre, C. Madec, P. Morin, 2002 : New and regenerated production in the Almeria–Oran area, eastern Alboran Sea. *Deep–Sea Research I*, **49**, 83–99.
- Lherminier, P., R. R. Harcourt, R. W. Garwood Jr. et J.–C. Gascard, 2001 : Interpretation of mean vertical velocities measured by isobaric floats during deep convection. *Journal of Marine Systems*, **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 Research I*, **48**, 605–638.
- 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., 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.
- 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. Interhemispheric water exchange in the Atlantic Ocean. Elsevier Oceanographic Series, en révision
- Perez, F., Castro, C., Alvarez–Salgado, X., Rios, A., 2001 : Coupling between the Iberian Basin: scale circulation and the Portugal boundary current system: a chemical study. *Deep–Sea research I*, **48**, 1519–1533.
- Perez, F., Gago, J., Alvarez, M., Rios, A., 2001 : Temporal variability of atmospheric CO₂ of the Spanish Atlantic Coast. *Oceanologica Acta*, **24**, 11–18.
- Reverdin, G., P. P. Niiler, et H. Valdimarsson, 2002 : North Atlantic ocean surface currents. *J. Geophys. Res.*, sous presse.
- Reverdin, G., F. Durand, J. Mortensen, F. Schott, H. Valdimarsson, W. Zenk, 2002 : Recent changes in the surface salinity of the North Atlantic subpolar gyre. *J. Geophys. Res.*, sous presse
- Rios, A., Perez, F., Fraga, F., 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.
- Thierry, V., H. Mercier, A.–M. Treguier, 2000 : Deep response of the equatorial ocean to a seasonally varying zonal wind. A process study. soumis à *J. Geophysical Research*.
- Verbrugge, N., et G. Reverdin, 2002 : Contribution of horizontal advection to the interannual variability of sea surface temperature in the North Atlantic Ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, accepté.
- 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.
- Wienders, N., M. Arhan, H. Mercier, 2000 : Circulation of the western boundary of the South and Equatorial Atlantic : Exchanges with the ocean interior. *Journal of Marine Research*, **58**, 1007–1039.

MOYENS DONT DISPOSE LE PROPOSANT ET QUI SERONT AFFECTÉS À LA RÉALISATION DU PROJET

1. Chercheurs et laboratoires impliqués (établir une liste nominative avec indication précise du rôle de chacun et du pourcentage de temps qu'il consacrerà au projet)

Laboratoire de Physique des Océans

André Billant	40%	(validation des données, constitution d'une base de données)
Pierre Branellec	40%	(validation des données, constitution d'une base de données)
Bruno Ferron	60%	(assimilation, campagne 2004)
Jean-Pierre Gouillou	20%	(calibration des données)
Thierry Huck	35%	(analyse des données, modélisation inverse, campagne 2004)
Catherine Lagadec	40%	(validation des données, constitution d'une base de données)
Pascal Lherminier	30%	(analyse des données)
Herlé Mercier	40%	(analyse des données, modélisation inverse, campagne 2004 ?)
Richard Schopp	40%	(analyse des données)
Virginie Thierry	25%	(analyse des données, campagne 2004)
Fabrice Roullier	100%	(soutien TAOB assimilation)

LODYC

Jean-Claude Gascard	40%	(analyse de données, intégration hydrologie-traceur Iode 129)
Annie Kartavtseff	20%	(analyse de données)
Gilles Reverdin	25%	(2.2, 3.1, projet SURATLANT)
Catherine Rouault	20%	(analyse de données)
Sandra Sequeira	75%	(analyse de données, intégration hydrologie-traceur Iode 129)

(en complément de personnel utilisé par l'ORE SSS au LEGOS et d'un soutien par F. Besset, ASIN, au LODYC). Notez que Gilles Reverdin apparaît aussi sur la proposition « circulation thermohaline » coordonnée par Alain Colin de Verdière.

IIM Vigo : analyse des données OVIDE 2002 (2003), campagne OVIDE 2004

Fiz F. Pérez	20%	(Investigador Científico)
Aida F. Ríos	20%	(Investigador Científico)
Marta Álvarez	20%	(Científica contratada)

LCM Roscoff / UBO : analyse des données OVIDE 2002 (2003), campagne OVIDE 2004

Pascal Morin	20%	(calibration, validation et analyse données chimie, campagne 2004)
--------------	-----	--

CSNSM (IN2P3) pour les analyses de ^{129}I sur le tandemron de Gif

H. Imbaud	20%	(préparation échantillons pour analyse Iode 129)
J. Lestringuez	20%	(préparation échantillons pour analyse Iode 129)
Grant M. Raisbeck	30%	(analyse Iode 129, intégration hydrologie-traceur)
Françoise Yiou	30%	(analyse Iode 129, intégration hydrologie-traceur)

Collaborations nationales

- Pascal Le Grand, LPO/IFREMER (altimétrie, SOO, campagne 2004) 10%
- projet DRAKKAR (B. Barnier, A. M. Treguier)

Collaborations européennes et internationales

- Karen Heywood, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, UK
- Dr K.A. Olsson, Chalmers laboratory (Goteborg/Suède), Dr W. Smethie de la Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI), Pr A. Watson et Dr. M.-J. Messias, University East Anglia (Norwich /UK) pour les analyses de SF₆ et CFCs.

2. Equipement disponible pour la réalisation du projet (préciser dans quel laboratoire)

LPO : Système de mesure et d'acquisition des données CTD0₂, LADCP.

LOC/UBO/Roscoff : Systèmes de mesure des sels nutritifs et CFCs.

IIM Vigo : Systèmes de mesure du pH et de l'alcalinité.

CSNSM/Orsay– Gif sur Yvette : Tandétron

Autres financements attribués (en cours) ou **demandés dans le cadre des programmes INSU** (Equipements mi–lourds INSU, autre Programme National). **Bien préciser les financements obtenus dans le cadre européen.**

Demande IFREMER 2003 : 9,5 Keuros en fonctionnement ; Financement des analyses chimiques de la campagne 2004 du groupe IIM Vigo.

Mers nordiques : nous avons été en mesure de prendre en charge des frais de personnel CDD sur le contrat MAIA (5e PCRD) en plus du postdoc de Sandra Sequeira à LODYC, de façon à accélérer la préparation des échantillons pour les mesures ¹²⁹I au Tandétron de Gif–sur–Yvette. Nous serons en mesure de poursuivre ce même effort de soutien en personnel avec le programme ASOF (2003–2005) en cours de mise en place à l'Université Pierre et Marie Curie.

Financement de SURATLANT (mission à la mer : 10.5 kE (INSU) ; IPEV : ?) dans le cadre de l'ORE SSS.

BUDGET POUR 2003

1. FONCTIONNEMENT : 9 keuro

LPO : 1 publication 2003 dans GRL : 1 keuro

LODYC : frais de publications, échanges de données, rapports : 3 keuro

CSNSM : participation aux frais de préparation des échantillons d'Iode 129 : 5 keuro

NB Mers nordiques (LODYC/CSNSM) : les frais afférents aux publications sont conséquents mais traduisent bien l'effort que nous développons actuellement pour publier nos résultats. Par ailleurs il est vraisemblable que les 3 publications soumises fin 2002 vont s'ajouter aux 3 publications prévues en 2003 pour ce qui concerne les frais de publication dans les revues internationales de rang A.

2. MISSIONS : 20 keuro

LPO : 10 keuro

2 missions AGU fin 2003, San Francisco : $2 \times 2 \text{keuro} = 4 \text{ keuro}$

2 missions EGS 2003, Nice (posters) : $2 \times 1.5 \text{keuro} = 3 \text{ keuro}$

2 missions de collaboration en Allemagne : $2 \times 1.5 \text{keuro} = 3 \text{ keuro}$

(P. Koltermann, A. Sy, J. Meincke)

LODYC : 7 keuro

Goteborg et Upsala (Suède) et Norwich (UK) pour coopération avec K. A. Olsson (Chalmers lab.) et A. Aldahan et A. Watson (UEA) : 1,5 keuro

Bergen (Norvège) ou Copenhague (Danemark) pour coordination du travail sur le Nuka Arctica et coopération scientifique avec étudiant norvégien : 1,5 kE

USA, Woods Hole Oceanographic Institution : 2 keuro

Paris –Brest pour coopération avec le LPO Ifremer Brest : 1 keuro

Participation à congrès EGS : 1 keuro

CSNSM : 3 keuro

Collaboration avec la Suède : 2 keuro

Participation à congrès : 1 keuro

NB Mers nordiques (LODYC/CSNSM) : les frais de mission sont justifiés par la multiplicité des contacts internationaux que nous avons été amenés à prendre en Europe et aux USA pour mener à bien ce programme sans oublier les contacts nationaux moins onéreux.

3. ÉQUIPEMENT SPÉCIFIQUE : 4,6 keuro

LPO : système de stockage de données de campagne : 1keuro

LODYC : 48 XBTs pour le Nuka Arctica (soit une radiale) à raison de 80 Euros/XBT : 3.6 kE

TOTAL GÉNÉRAL DES CRÉDITS DEMANDÉS (HT) : 33,6 keuro

	<i>LPO</i>	<i>LODYC</i>	<i>CSNSM</i>	<i>TOTAL</i>
Chercheurs	2,3	1,4	0,6	4,3
Soutien	2,4	0,4	0,4	3,2
Fonctionnement (kE)	1	3	5	9
Missions (kE)	10	7	3	20
Équipement (kE)	1	3,6	0	4,6
Total (kE)	12	13,6	8	33,6

