

PROGRAMME NATIONAL d'ETUDE DU CLIMAT

DEMANDE DE FINANCEMENT 2004 - 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@cns-dir.fr. Le document attaché doit être nommé avec les informations minimum suivantes : PNEDC-nom du responsable scientifique. 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 CONCERNÉ : 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 de Physique des Océans (UMR 6523 CNRS / IFREMER / UBO), directeur Xavier Carton

IFREMER Centre de Brest, BP 70, 29280 Plouzané

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

Titre du projet : OVIDE - Observatoire de la Variabilité Interannuelle à Décennale du gyre subpolaire de l'Atlantique Nord et des mers nordiques

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- 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) ;
- 2- les eaux modales subpolaires, afin de comprendre la variabilité de leur formation et leur association aux transferts de chaleur océan-atmosphère ;
- 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, ORE SSS), les données altimétriques satellitales, 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 2002, la prochaine en juin 2004. 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 : Bruno Ferron, Gaël Forget, Thierry Huck, Pascale Lherminier, Pascal LeGrand, Herlé Mercier,

Fabrice Roullier, Richard Schopp, Virginie Thierry, Anne Marie Treguier

LODYC : Jean-Claude Gascard, Catherine Pierre, Gilles Reverdin, Sandra Sequeira

LCM Roscoff et LOC/IUEM/UBO : Pascal Morin, Sandra Forner

IIM Vigo : Marta Alvarez, Fiz Perez, Aida Rios

CSNSM/IN2P3 : Grant Raisbeck, Françoise Yiou

Durée du contrat demandé : 1 an renouvelable

Montant demandé cette année : 39000 euro

Projet nouveau

Projet déjà engagé : OUI

Visa *obligatoire* du Directeur de formation :
Xavier Carton

Signature du demandeur :
Herlé Mercier Thierry Huck

DOSSIER SCIENTIFIQUE

1. Intérêt scientifique.....	3
2. Bilan des actions menées en 2003.....	5
2.1 Données.....	5
2.1.a Données de la campagne OVIDE 2002 (HM).....	5
2.1.b Observations des navires de commerce (GR).....	6
2.2 Analyses des données.....	6
2.2.a Hydrographie OVIDE 2002 (TH).....	6
2.2.b Courantométrie Doppler (PLH).....	7
2.2.c Bilan de l'inversion de données (HM,PLH).....	7
2.2.d Eaux modales subpolaires (VT).....	8
2.2.e Analyse de la salinité dans l'Atlantique nord (GR).....	9
2.3 Traceurs.....	10
2.3.a Traceurs chimiques (PM).....	10
2.3.b CFC, Iode et SF6 (JCG).....	10
2.3.c Traçage des masses d'eau par les isotopes de l'oxygène (CP).....	11
2.3.d Néodyme et terres rares (CJ,FL).....	13
2.4 Modélisation et assimilation.....	13
2.4.a Drakkar (AMT).....	13
2.4.b Assimilation (BF,GF).....	14
2.5 Publications, rapports, communications et valorisation.....	15
3. Plan de recherche pour 2004-2005.....	17
3.1 Observations.....	17
3.1.a Campagne OVIDE 2004.....	17
3.1.b Ligne de mouillages courantométriques sur la pente du Groenland (PLH).....	18
3.1.c Observations des navires de commerce volontaire (GR).....	19
3.1.d Traceurs chimiques (PM).....	19
3.1.e Mers nordiques (JCG,CP).....	19
3.2 Analyses.....	19
3.2.a Hydrographie 2004 vs 2002 (et 1997).....	19
3.2.b Inversion (HM,PLH).....	20
3.2.c Analyse des eaux modales (VT).....	20
3.2.d Évolution de la structure méridienne de la pycnocline en fonction du vent (RS).....	20
3.2.e Mers nordiques (JCG,CP).....	20
3.4 Modélisation et assimilation.....	21
3.4.a Modélisation réaliste : Drakkar (AMT).....	21
3.4.b Assimilation de l'altimétrie au 1/3° avec le code OPA (BF,GF).....	21
4. Coordination, animation et collaborations.....	21
4.1 Animation au sein de l'équipe OVIDE.....	21
4.2 Collaboration dans le cadre de la ligne de mouillages.....	22
4.3 Intégration dans le programme international CLIVAR.....	22
5. Références citées dans le texte.....	23

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 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 surveillons certaines caractéristiques océaniques qui ont un impact potentiellement important sur le climat de l'Europe :

- 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) ;
- les eaux modales subpolaires, afin de comprendre la variabilité de leur formation et leur association aux transferts de chaleur océan-atmosphère ;
- 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 a réalisé en juin-juillet 2002 une radiale d'hydrographie/géochimie entre le Groenland et le Portugal qui a permis de caractériser les indices climatiques définis ci-dessus, mettant notamment en évidence un **changement important de la cellule méridienne par rapport à 1997** qu'il s'agira de mieux comprendre. 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 profilers 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, ORE SSS) 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.

Afin d'apporter une contrainte supplémentaire sur les inversions, de documenter la variabilité interannuelle des courants de pente et ainsi d'estimer la représentativité de l'inversion des radiales hydrographiques, **5 lignes courantométriques seront mouillées en juin 2004 sur le plateau et la pente groenlandaise** (ce projet spécifique soumis à l'INSU est joint en annexe).

Une partie du projet s'intéresse plus particulièrement à la circulation et transformation des masses d'eaux dans les mers Nordiques (Mer du Groenland, Norvège et Islande) et à leur contribution relative aux Overflows sur les seuils situés de part et d'autre de L'Islande et des Iles Faeroe, et à la circulation profonde dans le Gyre subpolaire Nord Atlantique (le Deep Western Boundary Current DWBC), 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 (¹²⁹I), ainsi que sur les caractéristiques hydrologiques (T-S) des masses d'eau. D'autres traceurs sont aussi considérés et notamment les CFCs et le SF₆ 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 : en mer du Groenland dans le cadre du projet CONVECTION (5e PCRD), en mer de Norvège dans le cadre de la campagne du navire Knorr de la WHOI (USA), et en mer d'Irminger dans le cadre de la campagne OVIDE.

Cadre national et international, programmes associés

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 prognostique 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 "Variabilité décennale dans l'Atlantique Nord", coordonné par T. Huck, et "Circulation thermohaline", par G. Reverdin 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 établies 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.

Nous n'avons pas jugé bon de rattacher le projet SURATLANTE, dont nombre d'objectifs complémentaires et redondants s'appuie sur l'ORE SSS regroupant toutes les observations par navires de commerce. Nous nous contentons de faire ici un bilan des actions menées en 2003 et de présenter le plan de travail pour 2004-2005.

2. BILAN DES ACTIONS MENÉES EN 2003

2.1 Données

2.1.a Données de la campagne OVIDE 2002 (HM)

La première des campagnes OVIDE s'est déroulée du 11 juin (Brest) au 12 juillet (Lisbonne) 2002 sur le N/O Thalassa : une radiale d'hydrologie / géochimie / courantométrie entre le Groenland et la péninsule ibérique occupant 104 stations a ainsi été réalisée grâce à 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 de composition isotopique de néodyme et de concentration de terres rares) : C. Jeandel, F. Lacan, B. Minster.

Les données CTDO₂, sels nutritifs, fréons, pH et alcalinité de la campagne OVIDE 2002 sont calibrées et validées. La teneur en carbone anthropique a été calculée par la méthode de Alvarez. Les rapports de données ont été rédigés ou sont en cours de finalisation :

- Morin, P., S. Forner, B. Cocquemot, 2003: Mesures de sels nutritifs et de traceurs anthropiques lors des campagnes OVIDE et SEMANE 2002. Rapport Centre d'études d'océanologie et biologie marine de Roscoff et Laboratoire de Chimie Marine UBO.
- Pérez F. F., M. Alvarez, 2003: Mesures de pH et d'alcalinité lors de la campagne OVIDE 2002. Rapport Scientifique Instituto de Investigaciones Marinas, CSIC, Vigo.
- Lherminier, P., J.-P. Gouillou, C. Kermabon, H. Mercier, 2003: Ovide 2002. Traitement des données des LADCP RDI-BB150 et RDI-WH300. Rapport interne IFREMER.

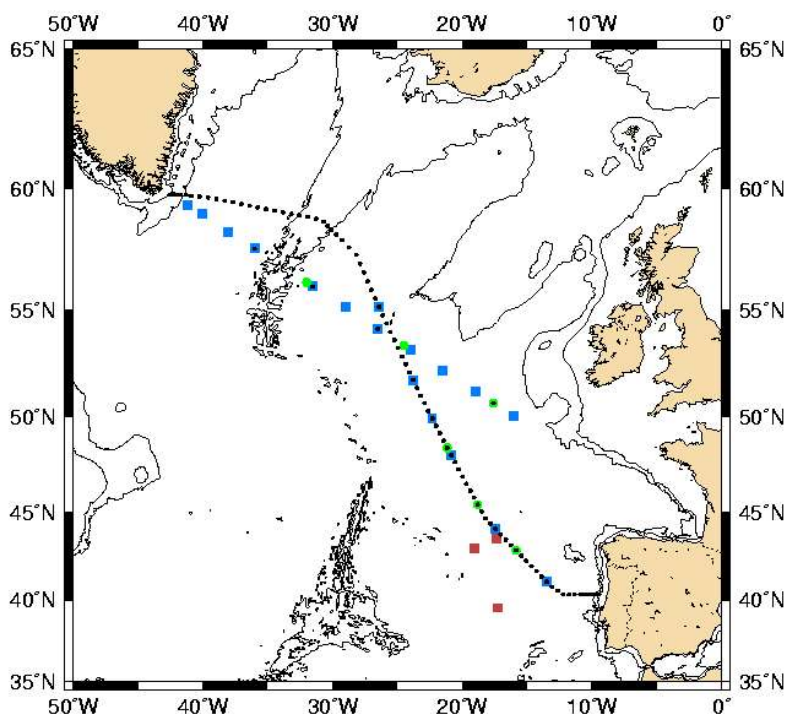


Figure 1 : trajet de la campagne Ovide en juin 2002 Brest-Groenland-Lisbonne, qui sera répété en juin 2004 (en point noir les stations hydrographiques).

Traceurs chimiques (PM,SF)

Les traceurs chimiques naturels (silicates, nitrates et phosphates) et transitoires (CFC-11, CFC-12, CFC-113, CCl₄) ont été utilisés au cours de la campagne OVIDE 2002 en complément des traceurs physiques pour aider à l'identification des masses d'eau et à l'estimation des échelles de temps de la circulation profonde. La calibration et la validation des données de la campagne OVIDE 2002 ont été réalisées au cours du second semestre 2002 et premier semestre 2003. L'identification des principales masses d'eau et les premières estimations des âges des masses d'eau (et en particulier de la LSW) ont été effectuées au cours du second semestre 2003. Les résultats acquis en collaboration avec l'IRSN Cherbourg (P. Bailly du Bois) ont également permis de mettre en évidence un enrichissement très marqué des eaux en tritium et en césium en mer d'Irminger dans le courant Est Groenland.

2.1.b Observations des navires de commerce (GR)

Dans le cadre de l'ORE SSS, nous avons continué à utiliser deux navires, le Skogafoss et le Nuka Arctica pour recueillir des données de surface, en particulier de T et S, à l'aide d'un thermosalinomètre. Les observations du Skogafoss (ligne Islande-Terre-Neuve, mais retour parfois par le Groenland) ont dans l'ensemble donné de bons résultats et pourront être utilisés sans problèmes majeurs, si ce n'est pour les deux derniers mois de 2003 (les données 'annexes' recueillies : nutritifs, DIC/:Tak seront aussi vraisemblablement presque toutes de bonne qualité, et depuis décembre 2003, un système à équilibrateur a été installé pour permettre la mesure de la pression partielle en CO₂ de l'eau de mer). Par contre, sur le Nuka Arctica, malgré de nombreuses interventions, nous avons assez peu de données de qualité (moins du tiers du temps). Les problèmes ont été de nature variée, en partie liés à l'âge de l'installation qui est en voie d'être complètement remise en état, mais aussi liés à des interventions d'une équipe norvégienne pour installer des mesures de pCO₂ sur la même ligne). Les données du TSG sont de nouveau transmises en temps réel (par INMARSAT).

La contribution spécifique du projet Ovide aux observations concerne les observations de subsurface par sondes XBT pour le Nuka Arctica. Après avoir regroupés ces crédits à d'autres, nous avons pu (en fin d'année 2003) acheter un lot de plus de 200 sondes Deep Blue, qui est en voie d'acheminement vers le Nuka Arctica. Nous espérons que les lancers de sondes XBT pourront être repris vers avril 2004, après une interruption de près d'un an. Par ailleurs, les mesures de courant par ADCP de coque continuent à être réalisées par le Nuka Arctica sous la responsabilité du Geofisik Inst. de Bergen (Norvège).

2.2 Analyses des données

2.2.a Hydrographie OVIDE 2002 (TH)

Afin de quantifier grossièrement les changements majeurs des propriétés hydrologiques (température, salinité, densité) des masses d'eau échantillonnées par la radiale Ovide, nous avons construit une référence historique de la section Ovide : pour chaque station hydrologique réalisée lors d'Ovide 2002, nous avons sélectionné dans la base de données ayant servi à construire la climatologie de Thierry Reynaud (Reynaud et al. 1998) tous les profils hydrologiques réalisés entre 1961 et 1990 à moins de 100 km, et moyenné leur propriétés, en fonction de la profondeur mais aussi en fonction de la densité potentielle. Nous avons pu alors comparer la section Ovide 2002 à une climatologie moyenne datée autour de 1975... Les changements de propriétés moyens sont remarquables (Fig. 2) : un réchauffement et une salinification des eaux supérieures jusqu'à 1500m, particulièrement marqués au niveau de l'eau méditerranéenne (Potter et Lozier 2003), mais un refroidissement et un adoucissement des eaux profondes, particulièrement marqué vers 2000 m.

- Auffret, O., 2003: Analyse de données hydrographiques dans l'Atlantique Nord - Caractérisation et représentativité des variations temporelles des propriétés des masses d'eau et de la circulation océanique. Rapport de stage d'ingénieur, ISEB, Brest, France, 29pp.

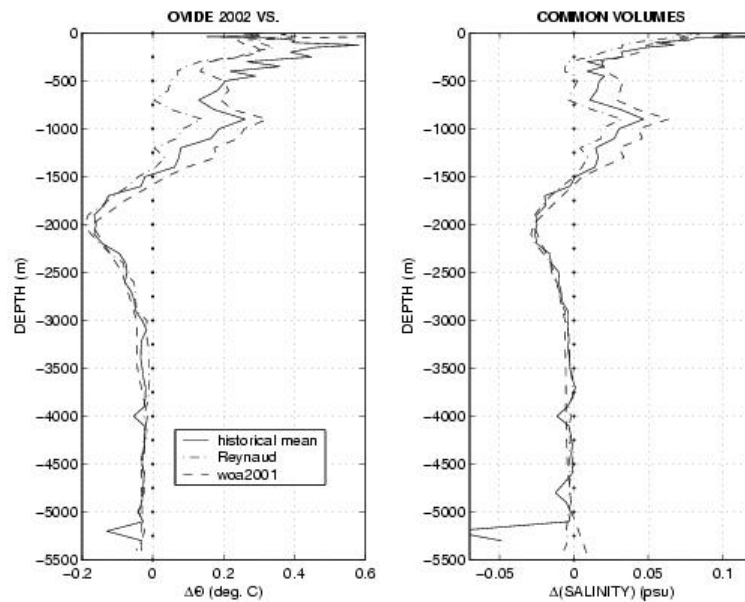


Figure 2 : différences de température et de salinité moyennées le long de la radiale hydrographique Ovide en juin 2002 du Groenland au Portugal avec différentes climatologies (1961-1990, Reynaud, World Ocean Atlas) en fonction de la profondeur (Auffret 2003).

2.2.b Courantométrie Doppler (PLH)

Les courants ont été mesurés par "Vessel-Mounted Acoustic Doppler Current Profiler" (VMADCP, ou ADCP de coque) jusqu'à 600m environ et par "Lowered ADCP" (LADCP) à chaque station. Les résultats ont été validés par comparaison des profils moyens à chaque station. Concernant le LADCP, les 103 stations ont donné des résultats très satisfaisants, qui sont décrits dans un rapport de données (Lherminier et al., 2003). Cette campagne a permis de considérablement améliorer notre maîtrise du LADCP. Malgré les limites inhérentes à l'échantillonnage spatial et temporel, l'intégration des transports calculés à partir des profils de courant du LADCP le long de la section Ovide 2002 conduit à un déséquilibre de seulement 30Sv sur les 3500km. Ces profils ont également permis de déterminer des vitesses de référence pour les profils de vitesse géostrophique, conduisant alors après intégration (et avant inversion) à un déséquilibre de 17+/-30Sv sur la section. Concernant le VMADCP, les données avaient été pour l'essentiel traitées à bord. L'utilisation de ces données dans l'inversion nous a cependant appris que l'instrument était très légèrement désaligné de 0.45°, conduisant à un transport intégré le long de la section de plusieurs dizaines de Sverdrup (due à la projection systématique de la vitesse du navire sur la composante perpendiculaire du courant, de l'ordre de -3cm/s). L'erreur a été corrigée, et un critère basé sur la corrélation courant/vitesse du navire a été développé afin de détecter ce désalignement dès le traitement à bord. Un dernier travail consistant à retirer la vitesse du navire avant moyenne va être mené début 2004. Les données seront ensuite finalisées et un rapport final sera écrit dans la foulée.

➤Lherminier, P., J.-P. Gouillou, C. Kermabon et H. Mercier, 2003: "OVIDE 2002: traitement des données des LADCP RDI-BB150 et RDI-WH300", Rapport Interne DRO/DOPS/LPO 03-10. <http://www.ifremer.fr/lpo/ovide/data.htm>

2.2.c Bilan de l'inversion de données (HM,PLH)

Un des objectifs du projet OVIDE est d'estimer la variabilité interannuelle du transport de la cellule méridienne de circulation intersectée par la section hydrographique Groenland--Portugal. Pour calculer l'amplitude de la cellule méridienne de circulation lors de la campagne OVIDE de juin 2002, le courant absolu perpendiculaire à la radiale a été estimé à l'aide d'un modèle inverse. Les vitesses géostrophiques relatives à un niveau de référence sont tout d'abord calculées pour chaque

paire de station hydrographique. Les vitesses au niveau de référence, qui sont les inconnues du problème, sont ensuite estimées en minimisant la somme du carré des écarts aux mesures de courant par LADCP et du carré du résidu d'une contrainte intégrée de conservation de la masse incluant transport géostrophique et transport d'Ekman. La solution discutée ici n'a utilisé les données LADCP que dans le courant Est Groenlandais. La variation en fonction de la profondeur des transports intégrés horizontalement le long de la section OVIDE est comparée à celle obtenue par Alvarez pour la radiale 4x, réalisée pour un parcours similaire à celui d'OVIDE mais en août 1997 (Fig. 3). L'amplitude de la cellule méridienne de circulation associée est de 8 Sv pour OVIDE 2002 et 15 Sv pour 4x 1997. Une telle amplitude de variation du transport de la cellule méridienne de circulation n'a jamais été mise en évidence à ces latitudes et son origine demandera à être explicité.

➤Mercier, H. and The OVIDE team, 2003: OVIDE 2002: A hydrographic section from Greenland to Portugal. EGS-AGU, Nice, France.

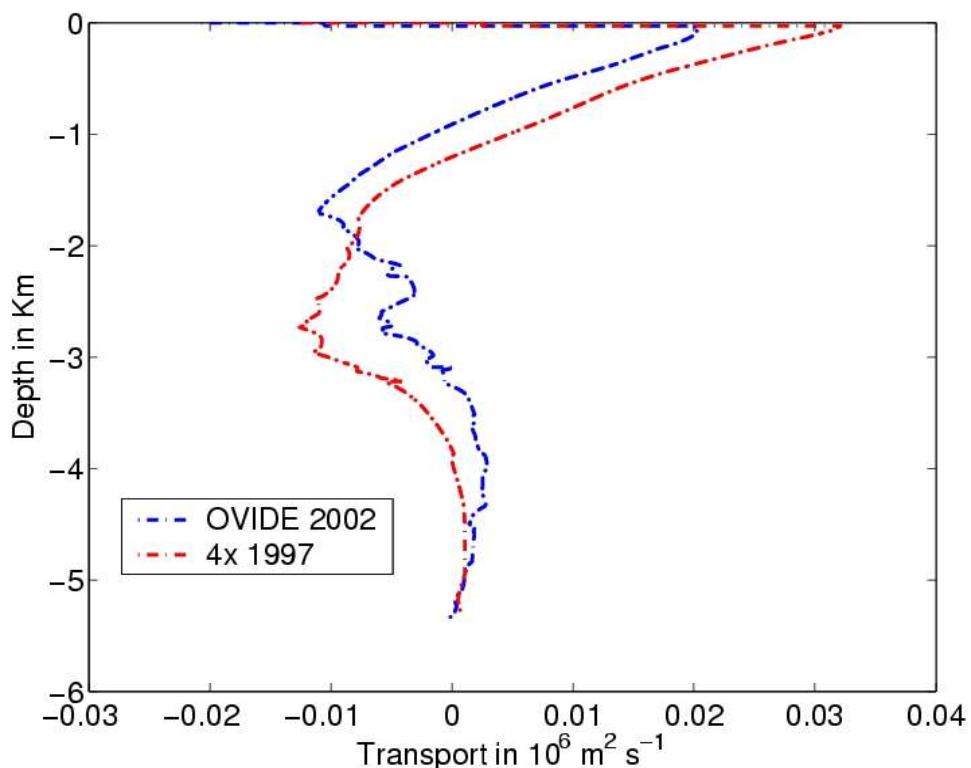


Figure 3 : Variation en fonction de la profondeur du transport intégré horizontalement entre le Groenland et le Portugal. L'intégration verticale de ce transport donne la fonction courant méridienne. En bleu: la section OVIDE 2002. En Rouge : la section 4x, réalisée en 1997 sur un parcours similaire à celui d'OVIDE.

2.2.d Eaux modales subpolaires (VT)

Les analyses objectives mensuelles de l'ensemble des profils de température et salinité (flotteurs ARGO/Gyroscope et campagnes océanographiques dont la campagne OVIDE 2002) mesurés en Atlantique Nord en 2002 et 2003 ont permis l'étude des propriétés et de la variabilité saisonnière et interannuelle de l'Eau Modale Subpolaire (SPMW) (Hascoet 2003). Les résultats montrent la présence de plusieurs variétés de SPMWs. Elles sont observées sur le pourtour du gyre subpolaire au nord de la dérive Nord-Atlantique, au sud de celle-ci et près de Terre-Neuve. Dans le gyre subpolaire, la répartition spatiale des eaux modales n'est pas uniforme. La densité augmente en suivant le pourtour du gyre, mais l'évolution ne se fait pas de façon continue mais par sauts de densité. Au sud de la dérive Nord-Atlantique, l'analyse nous aide à distinguer la SPMW récemment ventilée de celle qui a déjà subductée. Ces deux variétés peuvent coexister dans la même région

géographique mais à des profondeurs différentes (voir figure). Ce travail met également en évidence une forte variabilité interannuelle des propriétés des différentes eaux modales (Fig. 4). Les eaux modales sont formées en fin d'hiver lorsque la couche de mélange atteint sa profondeur maximale. Les données suggèrent que les couches de mélange profondes ont une nature très locale (en temps et en espace) ce qui peut expliquer l'aspect discontinue des propriétés des différentes eaux modales.

➤Hascoet, T., 2003: Eaux modales subpolaires en Atlantique Nord, caractéristiques, cycle annuel et variabilité interannuelle. Rapport de stage.

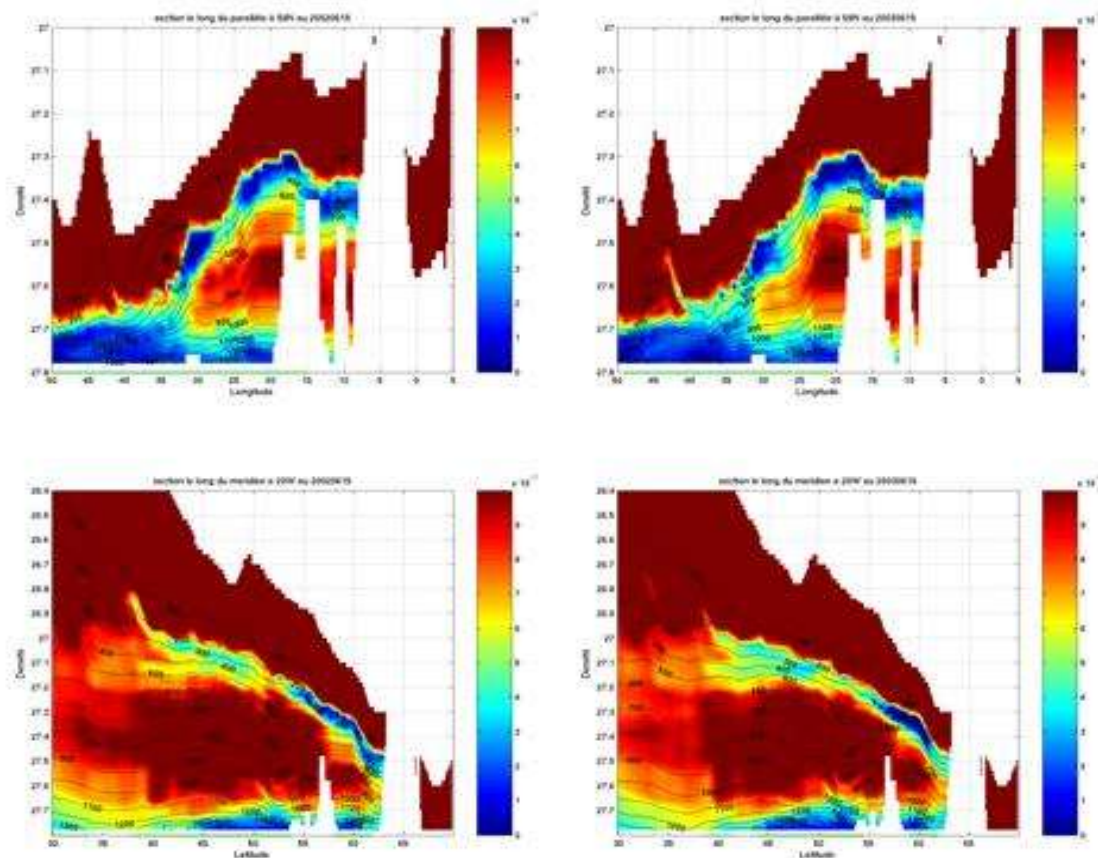


Figure 4 : Sections de vorticité potentielle sur des niveaux de densité potentielle à 59°N (haut) et à 20°W (bas), en juin 2002 (gauche) et juin 2003 (droite). Les analyses de juin 2002 prennent en compte les données de la campagne OVIDE 2002. Dans les 1000 premiers mètres, les zones de faible vorticité potentielle (zones bleues) traduisent la présence d'eaux modales.

2.2.e Analyse de la salinité dans l'Atlantique nord (GR)

Nous avons repris les données disponibles de sources diverses sur la période 1977-2002, qui permettent une couverture intéressante, mais seulement au sud de 50°N. L'analyse de ces données donne lieu à un article en préparation (G. Reverdin, E. Kestenare, C. Frankignoul., 2004: Surface salinity interannual variability in the tropical and subtropical Atlantic Ocean). Cette analyse n'a été étendue plus au nord que pour une courte période, qui n'apporte rien de plus dans cette région que ce qui est disponible par ailleurs (par ex., Reverdin et al. 2002). L'analyse des données conjointes de vitesse, d'altimétrie et de profils de température, qui était proposé le long de la route du Nuka Arctica, n'a pas été entamée, l'étudiant norvégien qui devrait travailler sur ce jeu de données ayant retardé d'un an sa venue au LODYC.

2.3 Traceurs

2.3.a Traceurs chimiques (PM)

Les traceurs chimiques naturels (silicates, nitrates et phosphates) et transitoires (CFC-11, CFC-12, CFC-113, CCl₄) ont été utilisés au cours de la campagne OVIDE 2002 en complément des traceurs physiques pour aider à l'identification des masses d'eau et à l'estimation des échelles de temps de la circulation profonde.

La calibration et la validation des données de la campagne OVIDE 2002 ont été réalisées au cours du second semestre 2002 et premier semestre 2003. L'identification des principales masses d'eau et les premières estimations des âges des masses d'eau (et en particulier de la LSW) ont été effectuées au cours du second semestre 2003.

Les résultats acquis en collaboration avec l'IRSN Cherbourg (P. Bailly du Bois) ont également permis de mettre en évidence un enrichissement très marqué des eaux en tritium et en césium en mer d'Irminger dans le courant Est Groenland.

2.3.b CFC, Iode et SF6 (JCG)

Notre stratégie principale d'investigation est de faire appel à un certain nombre de traceurs que l'on utilise comme des marqueurs des masses d'eau et prenant en compte la fonction d'entrée spécifique à chaque traceur. Nous utilisons principalement 4 familles de traceurs :

- deux isotopes de l'Iode : Iode 129 et Iode 127,
- les CFCs : F11, F12 et CCl₄ ;
- deux isotopes de l'Oxygène : O16 et O18 ;
- et l'Hexafluorure de Soufre SF₆.

Il serait trop long dans cette présentation de détailler les aspects spécifiques à chacun de ces traceurs. Mais en bref, nous avons sélectionné ces quatre familles principalement à cause de leur complémentarité et de la possibilité de procéder à un échantillonnage à peu près homogène quel que soit le traceur utilisé. Nous rappelons aussi que ces analyses de traceurs sont très complémentaires et vont de pair avec les relevés hydrologiques permettant de caractériser les masses d'eau en température, salinité et densité et d'effectuer des calculs de transport de masse (ou flux de traceurs) à travers des sections verticales par méthode géostrophique. Les calculs géostrophiques pouvant dans certains cas être référencés par rapport à des mesures localisées de courant par courantométrie eulérienne ou/et lagrangienne. Enfin soulignons aussi tout l'intérêt de ces traceurs pour les aspects de modélisation non seulement pour ce qui concerne les estimations de transport mais aussi pour aborder les problèmes très critiques et complexes de mélange, d'échange et de temps de résidence des masses d'eau dans les différents bassins qui constituent le domaine du gyre subpolaire nord atlantique (Mers Nordiques + mer d'Irminger et mer du Labrador).

Ces investigations entrent dans le cadre de divers programmes nationaux (GINS 1999) principalement soutenus par CNRS/INSU (PNEDC), IFREMER, IPEV et européens: MAIA - Monitoring the Atlantic Inflow towards the Arctic (2000-2002), ASOF- Arctic Subarctic Ocean Fluxes (2003- 2005).

Chaque analyse de traceurs requiert un laboratoire d'expertise :

- pour les isotopes de l'Iode, il s'agit du CSNSM à Orsay travaillant sur le Tandétron de Gif sur Yvette (resp. Grant Raisbeck et Françoise Yiou) ;
- pour les isotopes de l'Oxygène, il s'agit du LODYC à Paris (resp. C. Pierre) ;
- pour les CFCs et le SF₆, il s'agit d'une part de nos partenaires suédois de Goteborg (A. Olsson) et de nos partenaires anglais de Norwich (A. Watson et M.J. Messias).

Les analyses portant sur les données hydrologiques et courantométriques des mers Nordiques sont effectuées à LODYC (resp. J.C. Gascard) et pour la partie mer d'Irminger il s'agit du responsable du programme OVIDE au LPO à Brest (H. Mercier).

Les principaux résultats acquis en 2002-2003 sont résumés dans trois publications :

1. Gascard J.C., A.J. Watson, M-J. Messias, K.A. Olsson, T. Johannessen and K.Simonsen, 2002: Long-lived vortices as a mode of deep ventilation in the Greenland Sea. *Nature*, **416**, 525-527.

Cette publication révèle l'existence de structures très cohérentes de submésoséchelle liées à la convection profonde. Pour cette étude, l'apport des traceurs (CFCs, SF6 et O2) a été essentiel pour comprendre l'origine de ces structures cohérentes et leur rôle dans la convection profonde océanique en général.

- Gascard J.C., G. Raisbeck, S. Sequeira, F. Yiou and K.A. Mork, 2004: The Norwegian Atlantic Current in the Lofoten basin inferred from hydrological and tracer data (^{129}I) and its interaction with the Norwegian Coastal Current. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, 1. Les résultats essentiels de cette publication apparaissent sur la figure 5 où l'utilisation croisée des informations de distribution de la concentration en Iode ^{129}I avec les estimations de courants géostrophiques, permettent d'établir des bilans précis de transport à travers des sections et de transfert de masses entre ces sections ainsi que des diagnostics quant aux changements de structure dynamique (barocline/barotrope) des courants que n'avaient pas révélé les observations antérieures ainsi que les quelques tentatives de modélisation de la circulation océanique dans cette région.
- Olsson, K.A., E. Jeansson, T. Tanhua et J.C. Gascard, 2003: The East Greenland Current studied with CFCs and released sulphur hexafluoride. *Deep-Sea Res.*, soumis. Le résultat principal de cette étude est de mettre en évidence plusieurs masses d'eau de provenance et d'origine différentes, dans l'overflow du détroit du Danemark situé entre le Groenland et l'Islande. Cet overflow est l'une des sources principales du DWBC de l'Atlantique Nord.

Tous ces travaux ont aussi fait l'objet de plusieurs présentations à l'Assemblée Générale de l'EGS en 2000, 2001, 2002 et 2003.

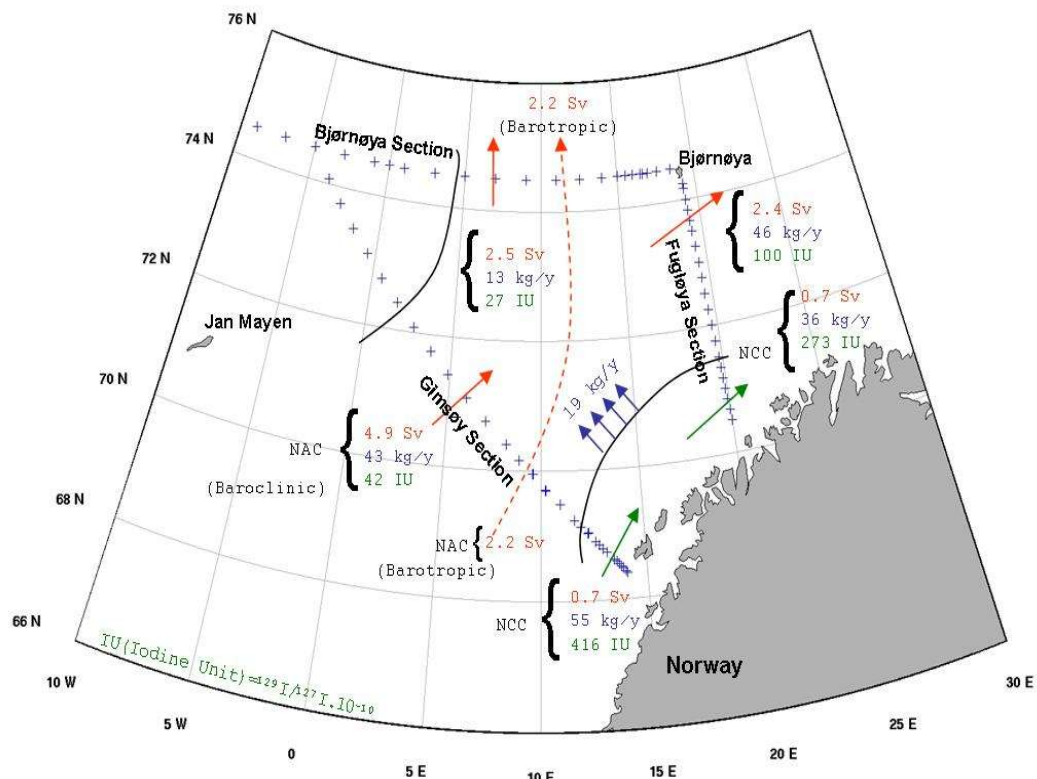


Figure 5 : Calculations of (1) NAC geostrophic (baroclinic) offshore transports across Gimsøy and Bjørnøya sections, (2) NAC total transports across Fugløya section deduced from the difference between transports estimated in (1) across Gimsøy and Bjørnøya sections, (3) ^{129}I transports (equivalent annual mass flux) by the NAC across each of the 3 sections (4) NCC total transport (0.7 Sv) and associated ^{129}I equivalent annual mass flux across the Gimsøy and Fugløya sections (shelf) + transfer to the NAC (19 kg/y).

2.3.c Traçage des masses d'eau par les isotopes de l'oxygène (CP)

Au cours de la campagne OVIDE 2002, une centaine d'échantillons d'eau ont été prélevés pour

mesurer la composition isotopique de l'oxygène dans la colonne d'eau de la mer d'Irminger. L'objectif principal était de suivre l'évolution du paramètre $\delta^{18}\text{O}$ depuis le talus groenlandais jusqu'à la ride de Rekjanes en relation avec les circulations à l'intérieur du bassin, et de caractériser l'impact de la dilution de surface par les eaux continentales (runoff et fonte de glace continentale) et par la fusion de la glace de mer.

Les variations isotopiques des eaux océaniques aux hautes latitudes sont conditionnées par la présence de la glace continentale qui est susceptible de fondre à la surface de l'océan et par la formation-fusion de la glace de mer.

- La glace continentale est très appauvrie en ^{18}O car elle est issue des précipitations neigeuses (-16‰ à -28‰ depuis la bordure jusqu'à l'intérieur du Groenland) ; la participation de l'eau de fusion de cette glace continentale va donc diminuer conjointement la composition isotopique de l'oxygène et la salinité des eaux océaniques de surface.
- La glace de mer présente des caractéristiques isotopiques très différentes de celles de la glace continentale. Au cours de la congélation de l'eau de mer, le fractionnement isotopique est très faible (environ 2‰) de sorte que la glace de mer est très faiblement enrichie en ^{18}O par rapport à l'eau de mer liquide initiale ; par effet de bilan, la saumure qui en résulte est très faiblement appauvrie en ^{18}O et plus concentrée en sels que l'eau de mer initiale. A l'inverse, la fusion de la glace de mer va diminuer la salinité sans altérer pratiquement la composition isotopique de l'oxygène de l'eau.

Les résultats sont présentés dans un diagramme $\delta^{18}\text{O}$ -salinité (Fig. 6). Dans les eaux de surface, la relation entre ces deux paramètres indique clairement que la dilution est liée à des apports d'eau d'origine météorique appauvrie en ^{18}O , très probablement issue de la fonte de glace continentale, et que ces apports sont de plus en plus abondants en direction du continent groenlandais. Dans la colonne d'eau, les variations importantes qui sont notées en surface ($-1,26 < \delta^{18}\text{O} \text{‰ SMOW} < 0,33$) s'atténuent progressivement en profondeur avec des valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ comprises entre 0,01 et 0,18 ‰.

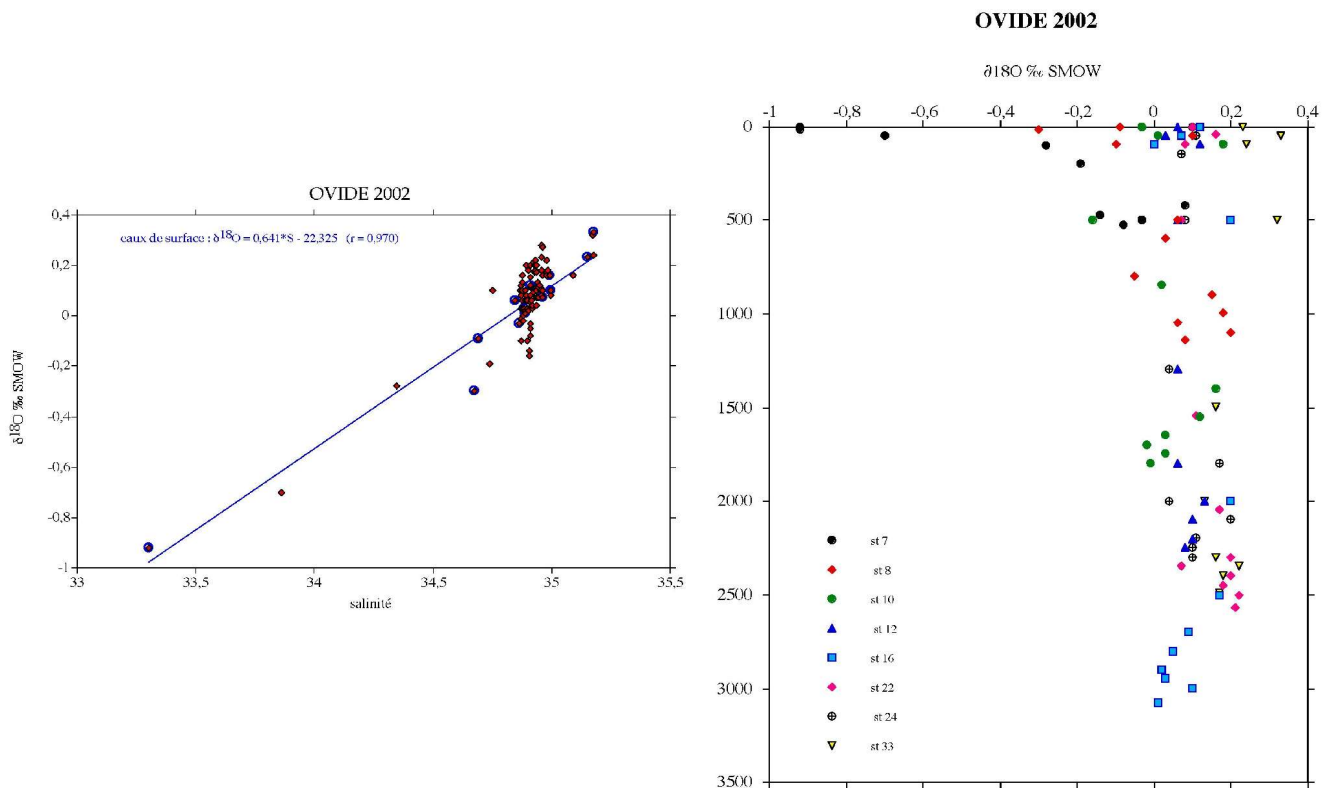


Figure 6 : (a) Relation $\delta^{18}\text{O}$ -salinité des eaux océaniques prélevées au cours de la campagne OVIDE 2002 dans le bassin d'Irminger. Les eaux de surface s'alignent sur une droite de corrélation qui indique un mélange avec de l'eau provenant de la fonte de glace continentale. (b) Composition isotopique de l'oxygène des eaux du bassin d'Irminger en fonction de la profondeur.

2.3.d Néodyme et terres rares (CJ,FL)

Les mesures de compositions isotopiques de néodyme et de concentration de terres rares (REE) lors de la campagne OVIDE 2002 ont été réalisées par François Lacan, B. Minster et Catherine Jeandel (LEGOS).

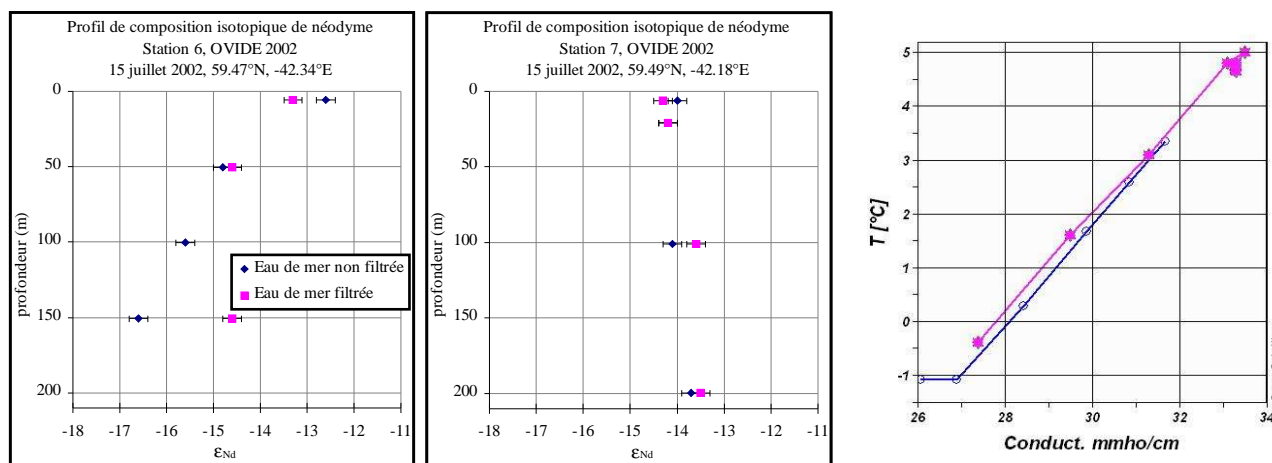


Figure 7 : Les profils de composition isotopique de néodyme (C.I. de Nd, exprimé par $\epsilon_{Nd}=10^3 \times [(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{\text{Echantillon}})/(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{\text{Référence}})-1]$) représentés ci-dessus ont été réalisés en deux stations voisines et le même jour. Alors que les mesures des échantillons filtrés ne présentent pas de variation significative ($\epsilon_{Nd} = -14.0 \pm 0.5$, 1?), les échantillons non filtrés ont des C.I. de Nd variant de -12.6 à -16.6. Le diagramme température conductivité (ci-dessous) montre que ces deux stations sont occupées par le mélange de deux masses d'eau, l'une chaude et salée d'origine atlantique (au fond) et l'autre froide et dessalée (en surface) qui pourrait être d'origine continentale ou provenir de la fonte de glace de mer.

1. La constance des signatures des échantillons filtrés suggère que la masse d'eau froide et dessalée provient de la fonte de glace de mer plutôt que d'un apport continental. Un apport d'eau douce continentale serait en effet vraisemblablement associé à une décroissance des C.I. de Nd en surface, résultant de l'empreinte du continent groenlandais (caractérisé par $\epsilon_{Nd} = -25$ à -15 , Winter et al. 1997) sur les eaux de ruissellement.
2. La différence importante de C.I. de Nd entre les échantillons filtrés et non filtrés de la station 6 à 150m (respectivement -14.6 et -16.6) implique la présence de particules marine de C.I. de Nd inférieure à $\epsilon_{Nd} = -16.6$. Ces résultats permettent de confirmer les hypothèses émises par Lacan et Jeandel (2004) pour expliquer la signature isotopique des eaux de débordement du détroit du Danemark (DSOW).

2.4 Modélisation et assimilation

2.4.a Drakkar (AMT)

De la même manière que le projet CLIPPER avait accompagné l'analyse des mesures des campagnes WOCE, le projet de modélisation DRAKKAR (modélisation haute résolution de l'Atlantique Nord et des mers Nordiques) sera associé étroitement au projet OVIDE. Ce projet inter-laboratoires est soumis au PNEDC cette année, ainsi qu'au PATOM et au Conseil Scientifique MERCATOR. Le document projet est disponible sur le site web www.ifremer.fr/drakkar/. Le projet DRAKKAR a démarré en 2003 par la mise en place de deux configurations de modèle de résolution intermédiaire ($1/4^\circ$), l'une couvrant l'océan global (mise en place au LEGI, Grenoble, en collaboration avec le LEGOS et MERCATOR) et l'autre couvrant l'Atlantique Nord et les mers Nordiques (LPO, Brest). Ces configurations sont une étape nécessaire avant le modèle à très haute résolution ($1/12$ ou $1/15^\circ$) qui est le but essentiel du projet DRAKKAR, et sera développé dans le cadre d'une collaboration entre laboratoires Européens (IFM Kiel, Université d'Helsinki, SIO

Moscou...). En parallèle à la mise en place de nouveaux modèles, les analyses de modèles existants se sont poursuivies. Quatre études concernant directement la circulation du tourbillon subpolaire et sa variabilité ont été terminées en 2003 par les chercheurs de l'équipe projet DRAKKAR (Treguier et al. 2003, Beismann et Barnier 2003, Penduff et al. 2003, Hall et al. 2003). D'autre part, les résultats des simulations numériques CLIPPER le long de la radiale OVIDE sont en cours d'analyse par A.M. Treguier et H. Mercier (Fig. 8).

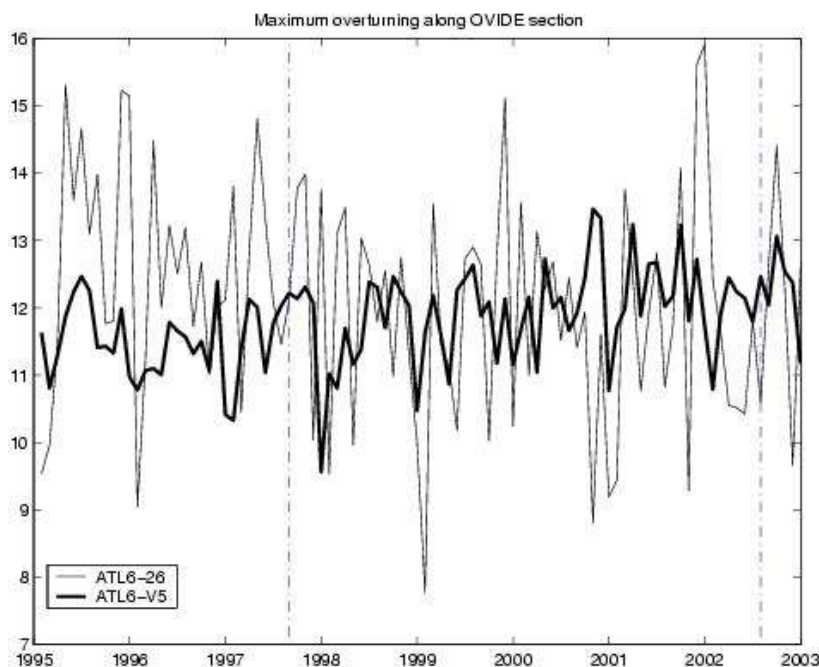


Figure 8 : Série temporelle de l'amplitude de la cellule méridienne au travers de la section OVIDE dans deux expériences avec le modèle CLIPPER au $1/6^\circ$. ATL6-26 est forcée par les vents et flux journaliers de l'analyse du Centre Européen (ECMWF). ATL6-V5 est forcée par un cycle saisonnier répété, sans variabilité journalière ni variabilité interannuelle. La période des mesures (campagne 4X 1997 et OVIDE 2002) est indiquée. La comparaison des courbes indique qu'une grande partie de la variabilité du modèle est forcée par l'atmosphère.

2.4.b Assimilation (BF,GF)

Le travail a porté sur l'amélioration de la configuration au $1/3^\circ$ utilisant le modèle OPA 8.2 qui servira à l'assimilation d'observations altimétriques et in-situ. En particulier, le modèle direct produit une erreur systématique sur l'écoulement de la veine d'eau méditerranéenne. Ce problème, bien connu des "modélisateurs", tient dans les défauts de paramétrisation des écoulements d'eau dense. En l'occurrence, l'eau méditerranéenne ne sort pas avec les bonnes propriétés (salinité, température, profondeur, débit). Cela occasionne rapidement des dérives importantes dans la représentation de la langue d'eau méditerranéenne à l'échelle du bassin Atlantique qui nuira à l'assimilation de données.

Nous avons trouvé une première parade améliorant les propriétés de la veine d'eau méditerranéenne en modifiant la bathymétrie au niveau de Gibraltar. Cette solution n'est qu'à demi-satisfaisante car elle nécessite une déformation de la bathymétrie peu réaliste.

Actuellement, nous testons une autre paramétrisation de la convection qui permettrait d'améliorer les écoulements d'eau dense sur les seuils sans avoir à retoucher la bathymétrie. Des premiers tests sur des intégrations courtes du modèle montrent une amélioration qui reste à valider sur des intégrations plus longues.

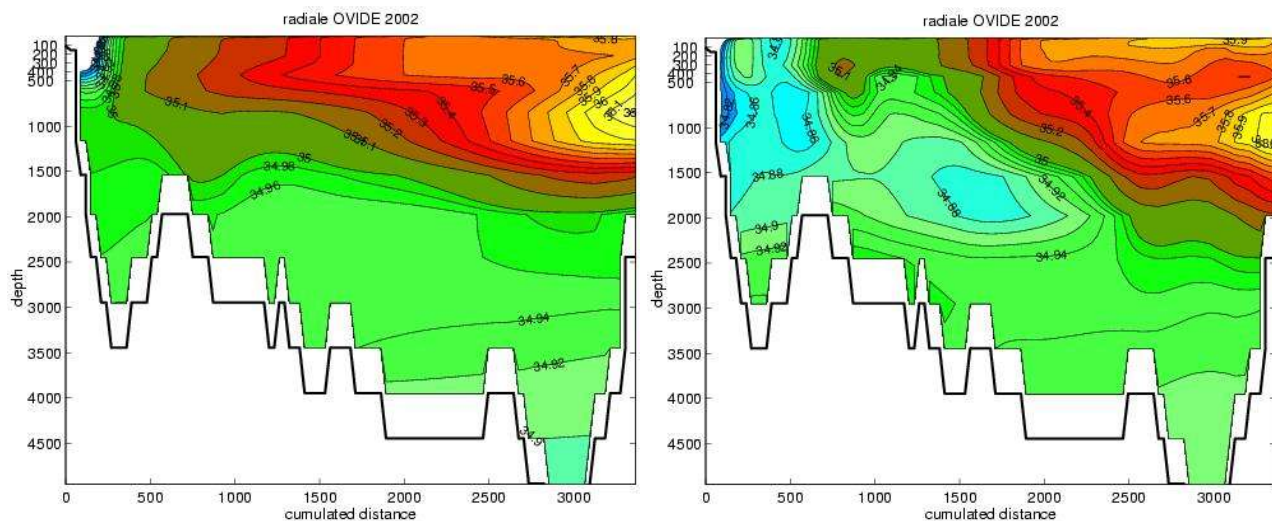


Figure 9 : l'assimilation variationnelle des profils ARGO a été réalisée dans une configuration Nord Atlantique de résolution 1°. La période étudiée actuellement s'étend du printemps 2002 au printemps 2003, et inclue donc la période OVIDE 2002. La figure de gauche (resp. de droite) présente la radiale OVIDE 2002, en salinité, réalisée dans le modèle avant (resp. après) assimilation des profils ARGO. Si la correction du modèle via l'assimilation est flagrante, la comparaison avec les CTD OVIDE (non assimilées) constitue un élément essentiel de validation. Dans un premier temps, les données OVIDE 2004 seront utilisées également pour validation des estimations réalisées cette année. A terme, leur assimilation pourrait apporter une contrainte forte sur les écoulements d'eau dense.

2.5 Publications, rapports, communications et valorisation

Publications

Forget, G., B. Ferron, H. Mercier 2004: 4D-var assimilation of an ARGO like dataset in an OGCM of the North Atlantic. À soumettre.

Gascard J.C., A.J. Watson, M-J. Messias, K.A. Olsson, T. Johannessen and K.Simonsen, 2002: Long-lived vortices as a mode of deep ventilation in the Greenland Sea. *Nature*, **416**, 525-527.

Gascard J.C., G. Raisbeck, S. Sequeira, F. Yiou and K.A. Mork, 2004: The Norwegian Atlantic Current in the Lofoten basin inferred from hydrological and tracer data (129I) and its interaction with the Norwegian Coastal Current. *Geophys. Res. Let.*, **31**, 1.

Lacan, F., and C. Jeandel, 2004: Denmark Strait water circulation traced by heterogeneity in neodymium isotopic compositions. *Deep-Sea Res.*, **51**, 71-82.

Mercier, H. et al. 2004: Variability of mass and heat transports between Greenland and Portugal. En préparation.

Olsson, K.A., E.Jeansson, T. Tanhua et J.C. Gascard, 2003: The East Greenland Current studied with CFCs and released sulphur hexafluoride. *Deep-Sea Res.*, soumis.

Rapports

Auffret, O., 2003: Analyse de données hydrographiques dans l'Atlantique Nord. Caractéristique et représentativité des variations temporelles des propriétés des masses d'eau et de la circulation Océanique. Rapport de stage ISEN.

Hascoet, T., 2003: Eaux modales subpolaires en Atlantique Nord, caractéristiques, cycle annuel et variabilité interannuelle. Rapport de stage.

Morin, P., S. Forner, B. Cocquempot, 2003: Mesures de sels nutritifs et de traceurs anthropiques lors des campagnes OVIDE et SEMANE 2002. Rapport Centre d'études d'océanologie et

biologie marine de Roscoff et Laboratoire de Chimie Marine UBO.

Pérez F. F., M. Alvarez, 2003 : Mesures de pH et d'alcalinité lors de la campagne OVIDE 2002. Rapport Scientifique Instituto de Investigaciones Marinas, CSIC, Vigo.

Lherminier, P., J.-P. Gouillou, C. Kermabon, H. Mercier, 2003 : Ovide 2002. Traitement des données des LADCP RDI-BB150 et RDI-WH300.

Communications

Mercier, H. and The OVIDE team, 2003: OVIDE 2002: A hydrographic section from Greenland to Portugal. EGS-AGU, Nice, France.

Grit, C., H. Mercier 2003: Determining of North Atlantic circulation by inversion of profiling float data. First ARGO meeting, Tokyo.

Hascoet, T., H. Mercier, V. Thierry 2003: Characteristics and variability of SPMW in NA as observed by ARGO floats. First ARGO meeting, Tokyo.

Publications électroniques

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

Thèses en cours

Sandra Forner. Thèse basée sur l'interprétation en terme de variabilité de la circulation et des masses d'eau des données nutritifs et CFCs de Ovide.

Gael Forget: Thèse sur l'assimilation des données profils (CTD, ARGO) dans un modèle pour l'estimation de la variabilité basse fréquence de la circulation en Atlantique Nord.

3. PLAN DE RECHERCHE POUR 2004-2005

3.1 Observations

3.1.a Campagne OVIDE 2004

La section hydrographique OVIDE sera répétée en juin 2004 (chef de mission Thierry Huck), à la même période que la section 2002 : départ de Brest le 4 juin, arrivée à Lisbonne le 5 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 aux mêmes stations : CTDO2, ADCP par le LPO ; pH, alcalinité, pCO₂ par l'IIM Vigo ; nutritifs, CFCs, CCl₄ par le Laboratoire de Chimie Marine (UBO). 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 IIM Vigo, flotteurs profileurs Gyroscope.

Financements nécessaires à la réalisation de la campagne (à titre indicatif)

1-Fonctionnement pour CTDO2 (capteurs oxygène, joints bouteille de prélèvement, réactifs, petit matériel informatique) : 15 keuro

2-Transport de conteneurs (mission partant de Brest et finissant à Lisbonne) : 8 keuro

3-Transport du personnel (mission partant de Brest et finissant à Lisbonne) : 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.

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 1981) et les constantes de dissociation de Mehrbach et al. (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.

Isotopes de l'oxygène et Iode 129 (JCG,CP)

Environ 250 échantillons seront prélevés lors de la campagne OVIDE 2004 pour analyses d'O18 et d'I129, afin de comparer ces résultats à 2 ans d'intervalle avec OVIDE 2002, car la fonction d'entrée Iode 129 est encore loin d'être stabilisée. En effet on observe un pic d'émission à la source au milieu des années 90 dont on essaie de suivre la propagation à travers tout le système de circulation subpolaire et nordique.

Les premiers résultats de la campagne OVIDE 2002 ont permis d'identifier la variabilité des compositions isotopiques de l'oxygène de l'eau dans le bassin d'Irmingier mais avec une relativement basse résolution qui rend difficile une analyse détaillée des masses d'eau. Nous proposons donc que l'échantillonnage qui sera réalisé au cours de la campagne 2004 soit plus dense, d'une part sur la partie proche du continent groenlandais et d'autre part à l'extrémité SW du bassin.

Néodyme et terres rares (CJ,FL)

Nous proposons de réaliser le suivi des variabilités temporelles des distributions de certains traceurs géochimiques en Atlantique Nord : isotopes du Nd, couple 231Pa/230Th. Dans ce cadre nous demandons la collecte d'échantillons à 5 stations le long de la radiale Portugal-Groenland. Il nous faudrait une dizaine d'échantillons de 20 L par station, les stations étant situées dans les courants profonds de bord : est groenland, ouest et est de la ride de Rekjanes, sud-ouest du plateau de rockall et ouest du portugal, les positions sont approximativement reportées en rouge sur la carte de la campagne ovide 2002.

Ces échantillons serviront aux mesures des isotopes du néodyme, du 231Pa, du 230Th. Ils permettront l'étude de la circulation et de la ventilation lente ainsi que des flux particuliers associés à la formation de la NADW. Ces travaux seront a priori réalisés dans le cadre de mes post-doc ou d'un éventuel recrutement. La poursuite de cette collaboration jusqu'en 2012 avec une campagne tous les deux ans nous permettra d'obtenir des séries temporelles jamais acquises pour ce type de traceur. Les isotopes du Nd et le couple 231Pa/230Th nous fourniront les variabilités spatiales et temporelles respectivement (concernant les cycles des traceurs et la circulation océanique). Le cadre du programme OVIDE nous fournira toutes les compétences/collaborations en dynamique et modélisation océanique nécessaires à l'interprétation de ces données.

3.1.b Ligne de mouillages courantométriques sur la pente du Groenland (PLH)

Sur la scène internationale, nous attendions beaucoup du projet MINKE (Karen Heywood, UK) auquel nous étions associés et qui proposait d'installer un réseau de mouillage le long de la section OVIDE à l'ouest de la dorsale de Reykjanes, avec un réseau particulièrement serré sur la pente et le talus. Ayant appris en avril 2003 que ce projet n'était pas financé, nous avons repris l'idée initiale de poser des mouillages de courantométrie sur le plateau et pente continentale du Groenland, afin de disposer de données eulériennes pour estimer la variabilité du transport dans cette région où les courants sont forts (de l'ordre de 20Sv) et peu documentés. Ces données seront utiles non seulement pour améliorer sensiblement l'inversion faite sur la section OVIDE, mais également pour servir de référence aux modèles numériques qui disposent de peu d'information dans cette zone, en partie en raison de la dérive des glaces de mer le long de la côte est du Groenland.

Nous avons coordonné nos efforts avec Sheldon Bacon (SOC, UK) qui déploiera en 2005 des mouillages profonds dans le prolongement de notre section, afin d'étudier le courant profond de bord ouest (DWBC) en relation avec le projet britannique RAPID. D'autre part, le programme

ASOF (Arctic-Subarctic Ocean Flux Array), et en particulier sa composante West (ASOF-EC(W)) comprend 2 projets particulièrement pertinents pour notre étude : deux réseaux de mouillages à 63° N, l'un sur le plateau et l'autre sur la pente continentale du Groenland, sont prévus par Dickson (CEFAS, UK), Vassie (POL, UK) et Meincke (IFM, D) afin de calculer d'une part les transports d'eau douce et d'autre part la variabilité du courant profond d'overflow. Ce projet, s'il a lieu, sera partiellement synchrone avec le réseau que nous proposons, et il offrira une opportunité d'estimer l'importance des recirculations entre 60°N et 63°N et de comparer la variabilité des transports mesurés à ces 2 latitudes. Le dossier présenté en annexe a été déposé en octobre 2003 à l'INSU pour une demande en équipement mi-lourd. Il reprend en détail les motivations scientifiques ainsi que les moyens mis en oeuvre.

3.1.c Observations des navires de commerce volontaire (GR)

Nous continuerons en 2004 et 2005 à maintenir les observations par TSG, les prélèvements de surface, et quand ce sera possible, de faire des profils de température par XBT, sur les deux navires de commerce qui font partie de l'ORE SSS. Aucun financement ne sera donc demandé pour ces observations dans le cadre de l'ORE SSS.

Les données du Nuka Arctica seront analysées comme cela avait été annoncé dans le projet initial, conjointement aux observations altimétriques, lors du séjour de l'étudiant norvégien au LODYC (automne 2004-automne 2005). Nous étendrons l'analyse de la salinité de surface sur la période 1977-2002 aux plus hautes latitudes (du moins loin des courants de bord associés à de très forts gradients de salinité).

3.1.d Traceurs chimiques (PM)

Les travaux en 2004 seront consacrés :

- à la suite de l'exploitation des données avec comme objectifs principaux de réaliser une analyse multitraceurs des masses d'eau intermédiaires et profondes, de calculer les transports en éléments nutritifs et de faire un inventaire et un calcul des transports de fréons sur la radiale OVIDE,
- à la mise au point d'un point de vue analytique de méthodes de dosage de nouveaux traceurs transitoires susceptibles de marquer les eaux de formation les plus récentes,
- à la préparation de la campagne OVIDE 2004 par la calibration des chaînes d'analyse de sels nutritifs et fréons, préparation des réactifs chimiques, ...
- à la réalisation de la campagne OVIDE 2004 en juin,
- au début de la calibration des données acquises au second semestre 2004.

Participation envisagée à EMA (Eau Méditerranéenne en Atlantique) faisant suite à notre participation dans SEMANE avec comme objectif d'étudier la variabilité interannuelle des caractéristiques chimiques (éléments nutritifs et fréons) dans les Eaux Méditerranéennes dans le golfe de Cadix et dans l'Atlantique du Nord Est (réalisation de la radiale 8°20W dans le golfe de Cadix et de la radiale OVIDE à 40°N).

3.2.e Mers nordiques (JCG, CP)

Au niveau des campagnes sur le terrain, nous envisageons en 2004 d'effectuer quelques prélèvements complémentaires dans divers secteurs clefs des mers Nordiques (puits de convection, boundary currents, overflows) pour procéder à des analyses de O18 et Iode 129 dans le cadre des opérations ASOF et tenter de vérifier certaines conclusions (ou hypothèses) auxquelles nous avons abouti en 2004 (cf publication GRL 2004). Il est à noter que le coût de l'analyse sur le tandétron (10000 euro) est un forfait établi entre les utilisateurs, pour environ 300 échantillons en 2004.

3.2 Analyses

3.2.a Hydrographie 2004 vs 2002 (et 1997)

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).

3.2.b Inversion (HM,PLH)

L'objectif est de comprendre l'origine de la variabilité du transport de la cellule méridienne de circulation entre 1997 et 2002 et d'analyser les données de la campagne 2004. L'estimation de la circulation par modélisation inverse sera étendue à l'ensemble du gyre subpolaire de l'Atlantique Nord sur la base des données de WOCE et CLIVAR. Le modèle comportera les sections A25 (OVIDE ou 4x), 48°N, Mer du Labrador. Les années 1997, 2002 et 2004 pour lesquelles les données sont ou seront disponibles pourront être étudiées. L'idée est de déterminer si la variabilité de la cellule méridienne observée entre OVIDE et 4x se retrouve à 48°N ou si elle est compensée par la variabilité de la circulation dans la Mer du Labrador. L'altimétrie satellitaire sera utilisée pour caractériser la variabilité de la circulation des couches de surface. Les traceurs seront ajoutés au modèle inverse et la variabilité du transport de carbone anthropique sera quantifiée. Un sujet de thèse a été affiché par le CNES et l'Ifremer sur ce thème et un candidat identifié. Les résultats concernant la circulation seront confrontés à ceux des modèles pronostiques et diagnostiques pour déterminer l'origine de la variabilité observée.

3.2.c Analyse des eaux modales (VT)

Le travail sur l'analyse des eaux modales en Atlantique Nord (Hascoet 2003) à partir des profils de température et de salinité relevés dans la zone (flotteurs ARGO, campagnes hydrographiques) sera poursuivi en 2004 et 2005. Ces analyses intégreront notamment les données de la campagne OVIDE 2004. La série temporelle ainsi obtenue permettra de mieux quantifier la variabilité saisonnière et interannuelle des propriétés des SPMWs en Atlantique Nord. Les résultats obtenus aideront également à la mise au point et la validation de la simulation haute-résolution de la zone intergyre (voir section modélisation) et éventuellement de la simulation haute-résolution du gyre subpolaire (une thèse a été proposée sur ce sujet).

3.2.d 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.

3.2.e Mers nordiques (JCG,CP)

Nous envisageons en premier lieu de poursuivre l'effort de publications.

1. Un premier article sur les origines des masses d'eaux qui alimentent l'Overflow du détroit du Danemark est en préparation pour 2004. Dans cet article nous allons pleinement développer une analyse multiparamétrique des traceurs Iode 129, SF6 et CFCs car les analyses des échantillons d'Iode prélevés lors de la campagne GINS sont disponibles.
2. Un second article ciblé sur les zones de convection pour mieux caractériser les transformations subies par les masses d'eaux lors de la convection profonde en mer du Groenland est aussi en préparation pour 2004. Dans cet article nous utiliserons tout spécialement les analyses récentes des isotopes de l'Oxygène sur des prélèvements effectués en 2002 et 2003 dans des cheminées convectives de la mer du Groenland.
3. Un 3eme article sera entrepris dès que les analyses d'Iode 129 des échantillons prélevés lors de la campagne OVIDE 2002 seront terminées (probablement début 2004).
4. Enfin un 4eme article sera également entrepris dès que les analyses des échantillons prélevés dans les Mers Nordiques lors des campagnes du navire de la WHOI, le Knorr et du brise glace suédois Odden en 2002 auxquelles nous avons participé, seront terminées.

3.4 Modélisation et assimilation

3.4.a Modélisation réaliste : Drakkar (AMT)

L'analyse des transports et la compréhension de la variabilité observée sur la section OVIDE sera complétée par l'utilisation d'expériences numériques existantes : expériences CLIPPER, mais aussi modèle FLAME au 1/12° (IFM-Kiel). La mise en place des nouvelles configurations de modèles DRAKKAR va se poursuivre. La configuration "Atlantique-Nord/mer nordiques" à moyenne résolution, NATL4, permettra en 2004 et 2005 des études de processus qui seront guidées par les premières analyses des campagnes OVIDE. Cette configuration servira de base à des études locales à plus haute résolution grâce au logiciel AGRIF de raffinement de maillage (V. Thierry). Cette configuration servira de base à des études locales à plus haute résolution grâce au logiciel AGRIF de raffinement de maillage. En effet, une simulation haute-résolution (1/12°) sera mise en place dans la zone intergyre (entre la dérive Nord-Atlantique et le front des Açores) pour comprendre la dynamique des eaux modales dans cette zone. Deux aspects seront abordés: les processus de formation et la variabilité interannuelle de ces processus. Ainsi le rôle des forçages et de leur variabilité (haute fréquence et interannuelle), l'importance de la méso-échelle et de la topographie seront plus spécifiquement étudiés. Un sujet de thèse a été proposé pour qu'une analyse similaire soit menée dans le gyre subpolaire (bassin d'Islande notamment).

3.4.b Assimilation de l'altimétrie au 1/3° avec le code OPA (BF,GF)

Dès que nous aurons enfin récupéré le code adjoint d'OPA 8.2, nous commencerons les tests en expériences jumelles. En particulier, nous testerons la longueur de la fenêtre d'assimilation maximale que l'on peut prendre en garantissant une optimisation de la circulation satisfaisante. Des expériences jumelles avec données synthétiques altimétriques et in-situ seront menées séparément puis conjointement. Ces expériences jumelles nous permettront d'apprécier les performances qu'on sera en droit d'attendre avec les données réelles.

4. COORDINATION, ANIMATION ET COLLABORATIONS

4.1 Animation au sein de l'équipe OVIDE

Depuis la première campagne Ovide en juin 2002, des réunions ont eu lieu à Brest environ tous les 6 mois afin de réunir les participants et collaborateurs du projet. Organisées autour de présentations scientifiques, elles ont permis à tous de se tenir au courant de l'avancée des calibrations et validations des données, et des résultats des analyses en cours.

Plus régulièrement au sein de l'équipe du LPO des discussions d'articles et des résultats de chacuns se tiennent environ tous les mois.

4.2 Collaboration dans le cadre de la ligne de mouillages

Le déploiement et la récupération du mouillage E prévu sur le plateau du Groenland sera fait en collaboration avec S. Bacon (UK) qui sera sur zone en août 2005 et 2006. Ce mouillage est destiné à déterminer plus quantitativement la variabilité saisonnière du courant côtier, afin d'améliorer notre connaissance des flux d'eau douce en Atlantique Nord. S. Bacon a déjà une connaissance scientifique approfondie de cette problématique et une publication sur ce sujet. D'autre part, les mesures des courant seront complétées par celles des mouillages de RAPID (S. Bacon) entre 2005 et 2006 (voir annexe mouillages).

4.3 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) - *data online*
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) - *data online*
199209 A1E 12sep-6oct1992 (Sy/BSH)
199405 A1E 21may-8jun1994 (Bersch/IfMUH)
199506 A1E 26may-23jun1995 (Bersch/IfMUH) - *data online*
199608 A1E 19aug-5sep1996 (Bersch/IfMUH)
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)
200207 A1E ~57°N Greenland-UK 2002 juk-aug (M. Bersch, IfM Hamburg, Germany) - *figures*
200209 53°N Newfoundland-Ireland (Morozov) - *figures*
2003 A1E ~57°N Greenland-UK 2003 (H. van Aken, NIOZ, Germany)
2003 A02 ~50°N 2003 Newfoundland-UK 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)
200606 A25 Ovide 3 Greenland-Lisbon (Lherminier)

Certains contacts ont été pris (Bersch, Koletermann) mais beaucoup reste à faire sur l'échange des données et leur analyse coordonnée.

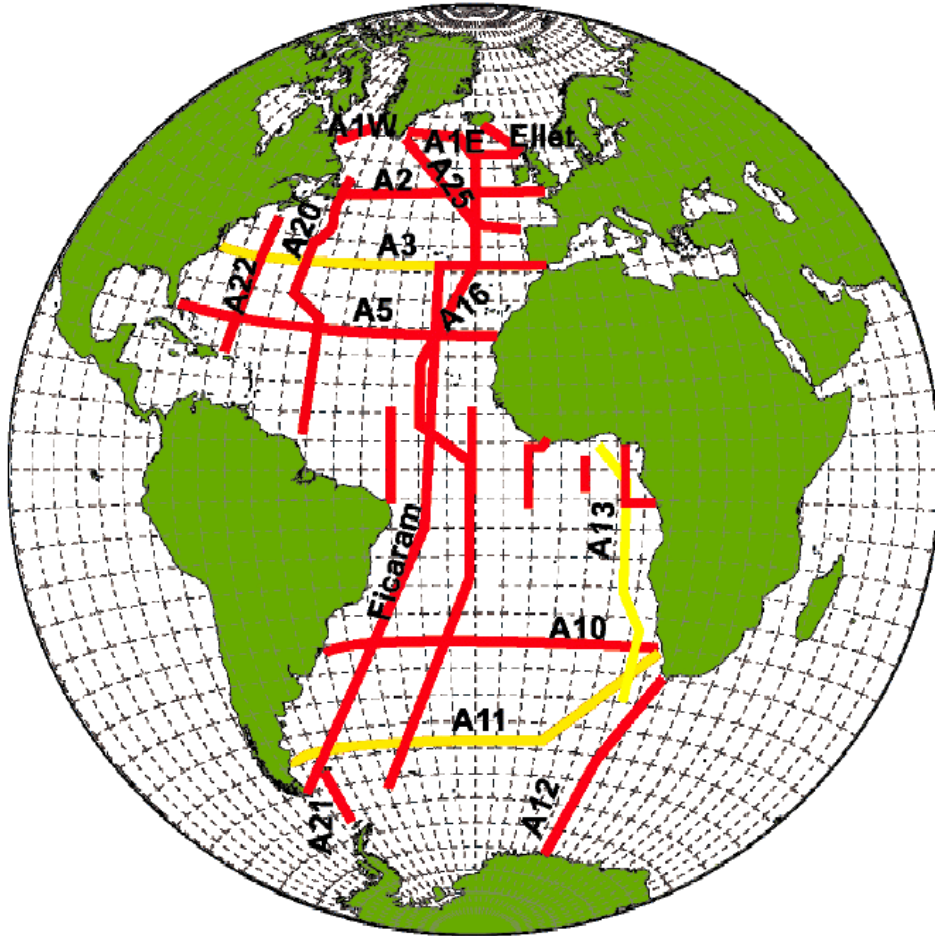


Figure 10 : Tracé et nomenclature des sections hydrographiques WOCE/CLIVAR déjà réalisées une fois dans le cadre du programme WOCE et prévues d'être répétées dans le cadre de CLIVAR.

5. RÉFÉRENCES CITÉES DANS LE TEXTE

- Alvarez, M., 2002: Water masses and transports of physical and chemical properties in the North Atlantic subpolar gyre. PhD Thesis. Universidade de Vigo.
- Beismann, J.O. and B. Barnier, 2003: Variability of the thermohaline circulation of the North Atlantic : Sensitivity to overflows of dense water masses. *Ocean Dynamics*, in press.
- Dickson, A. G., 1981: An exact definition of total alkalinity and a procedure for the estimation of alkalinity and total CO₂ from titration data. *Deep-Sea Res.*, **28**, 609-23.
- 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 ¹²⁹I 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*.
- Hall, N. M. J., B. Barnier and J.M. Molines, 2003: Interannual variation of Gulf Stream Heat transport in a numerical model forced by reanalysis data. *Climate Dynamics*, submitted.

- Lacan, F., and C. Jeandel, 2004: Denmark Strait water circulation traced by heterogeneity in neodymium isotopic compositions. *Deep-Sea Res.*, **51**, 71-82.
- 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.
- Mehrbach, C., C. H. Culberson, J. E. Hawley, and R. N. Pytkowicz. 1973: Measurement of the apparent dissociation constants of carbonic acid in seawater at atmospheric pressure. *Limnology and Oceanography*, **18**, 897-907.
- 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.
- Penduff, T., B. Barnier, W.K. Dewar, J.J. O'Brien, 2003: Impact of the North Atlantic Oscillation on the eddy flow: dynamical insights from a model-data comparison. *J. Phys. Oceanogr.*, submitted.
- Potter, R. A., and M. S. Lozier, 2003: On the Warming and Salinification of the Mediterranean Outflow Waters in the North Atlantic. *Geophys. Res. Lett.*, submitted.
- Quadfasel D., J.C. Gascard and K.P. Koltermann, 1987 : Large scale oceanography in Fram Strait during the 1984 marginal ice zone experiment. *J. Geophys. Res.*, **92**, C7, 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. *J. Mar. Syst.* **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.
- Reynaud, T., P. Legrand, H. Mercier, and B. Barnier, 1998: A new analysis of hydrographic data in the Atlantic and its application to an inverse modelling study. *International WOCE Newsletter*, **32**, 29-31.
- Reverdin, G., F. Durand, J. Mortensen, F. Schott, H. Valdimarsson, and W. Zenk, 2002: Recent changes in the surface salinity of the North Atlantic subpolar gyre. *J. Geophys. Res.*, **107** (C12), 8010, doi:10.1029/2001JC001010.
- Rudels, B. H.J. Friedrich and D. Quadfasel, 1999: The Arctic circumpolar boundary current. *Deep-Sea Res. 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.
- Treguier, A.M., S. Theetten, E Chassignet, T. Penduff, R Smith L Talley C. Böning, J.O. Beismann, 2003: Salinity distribution and circulation of the North Atlantic subpolar gyre in high resolution models. *J. Phys. Oceanogr.*, submitted.
- 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.
- Winter B, Johnson CM, and Clark DL, 1997: Stontium, neodymium and lead isotope variations of authigenic and silicate sediment components from the Late Cenozoic Arctic Ocean: implications for sediment provenance and the source of trace metals in seawater. *Geochim. Cosmochim Acta*, **61**, 4181-4200.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES DE L'ÉQUIPE (trois dernières années)

- 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. *J. Mar. Res.*, **60**, 191-226.
- Álvarez, M., 2002: Water masses and transports of physical and chemical properties in the North Atlantic subpolar gyre. PhD Thesis. Universidade de 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*, **17**(1), 1002-1029.
- Álvarez, M., F.F. Pérez, A.F. Ríos, G. Rosón, 2004: Water masses characterization in the North Atlantic Subpolar gyre using mixing analysis. *J. Geophys. Res.*, in press.
- 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. *J. Mar. Res.*, submitted.
- Arhan, M. H. Mercier, Y. H. Park, 2003: On the deep water circulation of the eastern South Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res. I*, **50**, 889-916.
- Arzel, O., and T. Huck, 2003: Decadal oscillations in a simplified coupled model due to unstable interactions between zonal winds and ocean gyres. *Dyn. Atmos. Oceans*, **37**, 245-270.
- Arzel, O., T. Huck and A. Colin de Verdière, 2004: Distinguishing two types of thermohaline circulation interdecadal variability. *J. Phys. Oceanogr.*, submitted.
- Ben Jelloul, M., and T. Huck, 2003: Basin modes interactions and selection by the mean flow in a reduced-gravity quasigeostrophic model. *J. Phys. Oceanogr.*, **33**, 2320-2332.
- Ben Jelloul, M., and T. Huck, 2004: Baroclinic basin modes in a two-layer quasigeostrophic model. *J. Phys. Oceanogr.*, submitted.
- Bacon, S., G. Reverdin, I. G. Rigor, and H. M. Snaith, 2002: A freshwater Jet on the east Greenland shelf. *J. Geophys. Res.*, **107**, C7, 2001JC000935.
- 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. 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.
- Deser C., M. Holland, G. Reverdin, and M.S. Timlin, 2002: Decadal variations in Labrador Sea Ice cover and North Atlantic sea surface temperature. *J. Geophys. Res.*, **107**, C5, doi:10.1029/2000JC000683.
- 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. *Ocean Modelling*, **6**, 177-190.
- 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. *J. Mar. Res.*, **58**, 837-862.
- Ferron, B., et J. Marotzke, 2003: Impact of 4D-variational assimilation of WOCE hydrography on the meridional circulation of the Indian Ocean. *Deep-Sea Res. I*, **50**, 2005-2021.

- Ganachaud, A., H. Mercier, 2002: Ocean response to transoceanic Ekman transport, implication for gravity mission. *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 23, 2145.
- 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.
- Gascard, J.-C., G. Raisbeck, S. Sequeira, F. Yiou, K.A. Mork, 2004: The Norwegian Atlantic Current in the Lofoten basin inferred from hydrological and tracer data (129I) and its interaction with the Norwegian Coastal Current. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, 1, 14 January 2004.
- 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. *Deep-Sea Res.*, submitted.
- 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.
- Lacan, F., and C. Jeandel, 2004: Denmark Strait water circulation traced by heterogeneity in neodymium isotopic compositions. *Deep-Sea Res.*, **51**, 71-82.
- LeGrand, 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 Res. I*, **49**, 83-99.
- Lherminier, P., R. R. Harcourt, R. W. Garwood Jr., J.-C. Gascard, 2001: Interpretation of mean vertical velocities measured by isobaric floats during deep convection. *J. Mar. Syst.*, **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. 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. *Prog. Oceanogr.*, **47**, 69-98.
- Mercier, H., G. Weatherly, M. Arhan, 2000: Bottom water throughflows at the Rio de Janeiro and Rio Grande Fracture Zones. *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 1503-1506.
- Mercier, H., M. Arhan, J. Lutjeharms, 2003: Upper-layer circulation in the eastern Equatorial and South Atlantic Oceans in January-March 1995. *Deep-Sea Res.*, **50**, 863-887.
- 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.
- Molinari, R. L., S. Bauer, D. Snowden, G. C. Johnson, B. Boulès, Y. Gouriou, H. Mercier, F. Schott, 2003: Kinematic evidence for tropical cells in the Atlantic Ocean and comparisons with Pacific cells. Interhemispheric water exchange in the Atlantic Ocean. Elsevier Oceanographic Series, 269-286.
- Olsson, K.A., E. Jeansson, T. Tanhua et J.C. Gascard, 2003: The East Greenland Current studied with CFCs and released sulphur hexafluoride. *Deep-Sea Res.*, soumis.

- Pérez, F., Gago, J., Álvarez, M., Ríos, A., 2001: Temporal variability of atmospheric CO₂ of the Spanish Atlantic Coast. *Oceanologica Acta*, **24**, 11-18.
- Pérez F. F., A.F. Ríos, T. Rellán, M. Álvarez. 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 thermohaline 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 Res. 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 Res. I*, **49**/5, 859-875.
- Pérez F.F., C.G. Castro, A.F. Ríos, F. Fraga, 2004. Chemical Properties of the deep winter mixed layer in the Northeast Atlantic (40-47°N). *J. Mar. Syst.*, in press.
- Pérez F. F, M. Gil-Coto and A.F. Ríos, 2003: Large and mesoscale variability of the water masses and the DCM the Azores Front. *J. Geophys. Res.*, **108** (C7), 3215-3230.
- Reverdin, G., P. P. Niiler, et H. Valdimarsson, 2003: North Atlantic ocean surface currents. *J. Geophys. Res.*, **108**, C1, doi:10.1029/2001JC001020.
- 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.*, doi:10.1029/2001JC001010.
- Ríos, A., Pérez, 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.
- Rosón, G., A. F. Ríos, A. Lavín, F. F. Pérez, H. K. Bryden, 2003: Carbon distribution and fluxes in the subtropical North Atlantic Ocean (24.5°N). *J. Geophys. Res.*, **108**(C5), 3144-3158.
- Thierry, V., H. Mercier, A.-M. Treguier, 2000: Deep response of the equatorial ocean to a seasonally varying zonal wind. A process study. *J. Geophysical Research*, submitted.
- Thierry, V., Mercier, H. and Treguier, A.M., 2004: Numerical study of the annual and semi-annual fluctuations in the deep equatorial Atlantic ocean. *Ocean Modelling*, **6**, 1-30.
- Thierry, V., Treguier, A.M., and Mercier, H., 2004: Direct observations of annual and semi-annual fluctuations in the deep central equatorial Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.*, in revision.
- Treguier, A. M., Hogg, N. G., Maltrud, M., Speer, K., Thierry, V. 2003: The Origin of Deep Zonal Flows in the Brazil Basin. *J. Phys. Oceanogr.*, **33**, 580-599.
- Verbrugge, N., et G. Reverdin, 2003: Contribution of horizontal advection to the interannual variability of sea surface temperature in the North Atlantic Ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, **33**, 964-978.
- Valdivieso da Costa, M., H. Mercier, A.-M. Treguier, 2004: Effects of the mixed layer time variability on kinematic subduction rate diagnostics. *J. Phys. Oceanogr.*, submitted.
- Weatherly, G., M. Arhan, H. Mercier, W. Smethie Jr., 2002: Observations of abyssal eddies in the Brazil Basin. *J. Geophys. Res.*, **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. *J. Mar. Res.*, **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)

NOM	LABO	FONCTION	PARTICIPATION AU PROJET	
			temps	tache
Bruno Ferron	LPO	CR CNRS	80%	assimilation, campagne 2004
Thierry Huck	LPO	CR CNRS	50%	analyse des données, campagne 2004
Pascal LeGrand	LPO	chercheur IFREMER	20%	altimétrie, campagne 2004
Pascale Lherminier	LPO	chercheur IFREMER	40%	analyse des données
Herlé Mercier	LPO	DR CNRS	50%	modélisation inverse, campagne 2004
Richard Schopp	LPO	CR CNRS	30%	analyse des données
Virginie Thierry	LPO	chercheur CNRS	40%	eaux modales
Anne Marie Treguier	LPO	DR CNRS		collaboration Drakkar
Gaël Forget	LPO	doctorant	100%	assimilation
Fabrice Roullier	LPO	soutien TAOB CNES	100%	assimilation OPA
???	LPO	doctorant CNES-IFREMER	30%	
???	LPO	doctorant bourse DGA	30%	
Jean-Claude Gascard	LODYC	DR CNRS	30%	analyse de données hydrologie Iode 129
Catherine Pierre	LODYC	DR CNRS	20%	analyse O18
Sandra Sequeira	LODYC	postdoc européen ASOF	50%	analyse Iode 129
Gilles Reverdin	LODYC	DR CNRS	25%	salinité
étudiant norvégien	LODYC	doctorant	30%	
Pascal Morin	LCM	CR CNRS	40%	chimie, campagne 2004
Sandra Forner	IUEM	doctorant UBO	50%	CFCs, campagne 2004
Fiz Pérez	IIM Vigo	chercheur	20%	pCO ₂ , pH, alcalinité, campagne 2004
Aida Rios	IIM Vigo	chercheur	20%	pCO ₂ , pH, alcalinité, campagne 2004
Marta Alvarez	IIM Vigo	chercheur	20%	pCO ₂ , pH, alcalinité, campagne 2004
Catherine Jeandel	LEGOS	DR CNRS		collaboration néodyme et terres rares
François Lacan	WHOI	postdoc		collaboration néodyme et terres rares
Grant Raisbeck	CSNSM	DR CNRS	30%	analyses I129
Françoise Yiou	CSNSM	DR CNRS	30%	analyses I129

Soutien technique

Laboratoire de Physique des Océans

Emmanuelle Autret	10%	campagne 2004
André Billant	40%	calibration et validation des données
Pierre Branellec	40%	calibration et validation des données, campagne 2004
Jean-Pierre Gouillou	20%	calibration et validation des données ADCP, campagne 2004
Catherine Kermabon	20%	préparation informatique campagne et campagne 2004
Catherine Lagadec	40%	constitution d'une base de données, campagne 2004
Stéphane Leizour	10%	campagne 2004
Olivier Peden	60%	préparation des mouillages, campagne 2004
Sébastien Theetten	10%	campagne 2004

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

2 techniciens	10%	campagne 2004 chimie
---------------	-----	----------------------

CSNSM (IN2P3) pour les analyses de ¹²⁹I sur le tandetron de Gif

H. Imbaud	20%	(préparation échantillons pour analyse Iode 129)
J. Lestringuez	20%	(préparation échantillons pour analyse Iode 129)

Collaborations européennes et internationales

- Karen Heywood, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, UK
- Sheldon Bacon, SOC, UK pour les mouillages sur la pente du Groenland

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.**

- LPO : demande IFREMER et INSU 2004 : 68 650 en investissement cofinancé à 50% (demande jointe en annexe déposée en octobre 2003 à l'INSU et devant être examinée prochainement) :
 - 3 Seacat : 30 700 euro
 - 1 ADCP 300KHz : 25 150 euro
 - 2 largueurs petit fond : 12 800 euro
- LPO : demande IFREMER 2004 : 9500 euro en fonctionnement ;
financement des analyses chimiques de la campagne 2004 du groupe IIM Vigo et LCM.
- LCM : demande INSU moyens mi-lourds 2004 : 30 keuro
Renouvellement des chaînes d'analyse éléments nutritifs pour participation campagnes.
- LODYC : financement du postdoc de Sandra Sequeira (2003-2005), travaillant à 50% sur le projet Ovide, sur un contrat européen ASOF.

BUDGET 2004

1. FONCTIONNEMENT : 18000 euro

LPO : 2000 euro

- 1 publication JPO : 2000 euro (HM)

LODYC : 6000 euro

- 1 publication : 1500 euro (GR)

- publications : 3000 euros (JCG)

- analyses O18 : 1500 euro (CP)

CSNSM : 10000 euro (analyses tandemron Gif/Yvette)

2. MISSIONS : 16000 euro

LCM : 1500 euro

- 2 missions EGU Brest-Nice (PM,SF)

LPO : 10000 euro

- 1 réunion AGU USA, 1 réunion Kiel sept. : 3000 euro (HM)

- 4 réunions France (EGU, Drakkar, collaboration PNEDC) : 3400 euro (VT,BF,GF)

- 2 mission d'une semaine à Baltimore pour CLIVAR : 3600 euro (PLH,VT)

LODYC : 4500 euro

- 1 mission Paris-Bergen : 500 euro (GR)

- 2 missions EGU, 2 missions France, mission USA workshop Lamont avril : 4000 euro (JCG,CP)

3. ÉQUIPEMENT SPÉCIFIQUE : 5000 euro

LPO : 5000 euro

- 2 postes de travail doctorant : 5000 euro (HM,VT)

- équipement informatique

	<i>LPO</i>	<i>LCM</i>	<i>LODYC</i>	<i>CSNSM</i>	<i>TOTAL</i>
<i>Chercheurs (%)</i>	570	90	115	60	885
Fonctionnement (euro)	2000	0	6000	10000	18000
Missions (euro)	10000	1500	4500	0	16000
Équipement (euro)	5000	0	0	0	5000
Total (euro)	17000	1500	10500	10000	39000

TOTAL GÉNÉRAL DES CRÉDITS DEMANDÉS (HT) : 39000 euro

TITRE DU PROJET :

Etude de la variabilité des transports de surface sur le plateau et la pente du Groenland par courantométrie sur 2004-2006

RESPONSABLE DU PROJET : Pascale Lherminier.

PROGRAMME : OVIDE - P. I. : Herlé Mercier

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

Résumé :

Ce projet est une contribution au programme OVIDE (chef de projet : Herlé Mercier) pour la période s'étendant de juin 2004 à l'été 2006. 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. 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.

Dans le cadre du programme OVIDE, une radiale d'hydrographie/géochimie entre le Groenland et le Portugal a été réalisée en juin-juillet 2002. Cette radiale permet 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 intradécennale. Une seconde occupation de la section hydrographique sera menée en Juin 2004 (navire Thalassa). Le programme d'analyse des données inclut la mise en oeuvre de modèles inverses et l'assimilation de données dans un modèle aux équations primitives (OPA 1/3°). 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.

Sur la scène internationale, nous attendions beaucoup du projet MINKE auquel nous étions associés et qui proposait d'installer un réseau de mouillage le long de la section OVIDE à l'ouest de la dorsale de Reykjanes, avec un réseau particulièrement serré sur la pente et le talus. Ayant appris en avril 2003 que ce projet n'était pas financé, nous avons repris l'idée initiale de poser des mouillages de courantométrie sur le plateau et pente continentale du Groenland, afin de disposer de données eulériennes pour estimer la variabilité du transport dans cette région où les courants sont forts (de l'ordre de 20Sv) et peu documentés. Ces données seront utiles non seulement pour améliorer sensiblement l'inversion faite sur la section OVIDE, mais également pour servir de référence aux modèles numériques qui disposent de peu d'information dans cette zone, en partie en raison de la dérive des glaces de mer le long de la côte est du Groenland.

Suite à un appel d'offre du NERC concernant les changements climatiques, un effort particulier sera également fourni par le Royaume Uni dans cette région de l'Atlantique. D'une part, la section présentée ici sera coordonnée et étendue vers le large par les six mouillages courts (sous-programme de RAPID (NERC), dirigé par Sheldon Bacon (SOC, UK)) qui mesureront le courant profond de bord ouest de août 2004 à au moins août 2005 dans l'objectif de mieux comprendre la variabilité climatique de la cellule de circulation méridienne. Le réseau résultant s'étendra sur la moitié du Bassin d'Irminger, permettant ainsi de mieux analyser les différentes composantes du courant profond et d'analyser sa variabilité sur des échelles de temps allant du jour à l'année. D'autre part, le programme ASOF (Arctic-Subarctic Ocean Flux Array), et en particulier sa composante West (ASOF-EC(W)) comprend 2 projets particulièrement pertinents pour notre étude: deux réseaux de mouillages à 63°N, l'un sur le plateau et l'autre sur la pente continentale du Groenland, sont prévus par Dickson (CEFAS, UK), Vassie (POL, UK) et Meincke (IFM, D) afin de calculer d'une part les transports d'eau douce et d'autre part la variabilité du courant profond d'overflow. Ce projet, s'il a lieu, sera partiellement synchrone avec le réseau que nous proposons, et il offrira une opportunité d'estimer l'importance des recirculations entre 60°N et 63°N et de comparer la variabilité des transports mesurés à ces 2 latitudes.

En 2003, à la suite d'un appel d'offre du laboratoire, nous avons reçu le financement nécessaire à la préparation d'une grande partie des mouillages, et en particulier à la remise à neuf des courantomètres et des balises Argos, à l'étalonnage des deux Seacat du laboratoire, ainsi qu'à l'achat des câbles et de l'accastillage. Les mouillages pourront être mis à l'eau lors de la campagne Ovide 2004 (chef de mission: Thierry Huck) et récupérés lors de la campagne suivante en 2006. La coordination avec le programme britannique permet en cas d'urgence de disposer d'un navire sur zone en août 2005 et 2006, et dans la mesure du possible de récupérer le mouillage E sur le plateau après 1 an de mesures.

I - OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

I.1. Le contexte : Ovide (en cours) et RAPID (2004-2006)

Objectif de Ovide (Observatoire de la Variabilité Interannuelle et DEcennale) approuvé par le PNEDC depuis 2001 :

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. La cellule méridienne de circulation est ainsi associée au transport de chaleur vers le nord de l'Atlantique et sa variabilité pourrait être le déclencheur de changements climatiques.

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. 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.

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 intra-décennale. Une seconde occupation de la section hydrographique sera menée en Juin 2004 (navire Thalassa). Le programme d'analyse des données inclut la mise en oeuvre de modèles inverses et l'assimilation de données dans un modèle aux équations primitives (OPA 1/3°). 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.

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 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 proposés par L. Terray et A. Colin de Verdière sont naturellement complémentaires du projet OVIDE et nous collaborerons avec ces groupes pour l'analyse des données recueillies.

Objectif de « Cape Farewell and Eirik Ridge: Interannual to Millennial Thermohaline Circulation Variability » proposé par Sheldon Bacon (Southampton Oceanographic Centre : SOC); Dr E Rohling (Southampton University); Prof. D Stow (Southampton University) et financé par le NERC au sein du programme **RAPID**:

“Knowledge of the history of the Thermohaline Circulation (THC) is crucial to attempts to forecast it, particularly for model validation. Cape Farewell is one of the few locations in the North Atlantic which can provide a continuous record of the THC from the present day back as far as the Last Glacial Maximum (24,000 yr B.P.). Southward flow in the North Atlantic at 60 degrees N is concentrated in the narrow (~200 km wide) western boundary current system. Also, Eirik Ridge, a contourite drift just south of Cape Farewell, is intimately related to the deep western boundary current (DWBC) there. We propose a novel combination of hydrography and palaeoceanography to determine the variability of the DWBC on timescales from days, years, decades and millennia, to generate modern and palaeo-DWBC flux magnitudes.”

Ce programme inclut une section de 6 mouillages courantométriques courts placés sur la pente continentale est du Groenland entre les isobathes 2000m et 3200m, destinés à mesurer la variabilité du DWBC sur au moins un an. Cette section prolongera vers le centre du bassin d'Irminger la section courantométrique de 5 mouillages présentée ici

I.2. Mesurer la variabilité du courant de pente (EGC: East Greenland Current)

Le transport du Courant Est Groenland à ces latitudes est peu documenté, contrairement à celui du Deep Western Boundary Current (DWBC) dont la variabilité à haute fréquence (Dickson et Brown (1994) période de 10 jours) et interannuelle Bacon (1997) a été étudiée. Nous proposons pour la première fois de mesurer à 60°N le transport et la variabilité du Courant Est Groenland, qui constitue un élément important de la circulation du gyre subpolaire de l'Atlantique. L'EGC, présent sur toute la pente continentale, est constitué d'eau polaire et d'Eau Atlantique Modifiée en provenance de l'Arctique via le détroit du Danemark, ainsi que d'une recirculation d'Eau Atlantique dans le bassin d'Irminger, dans une proportion que l'on ne connaît pas. A 60°N, il semble que le courant devient plus barotrope à mesure que l'on s'éloigne du plateau continental (données Ovide, fig.1). D'après la littérature, on peut limiter l'EGC entre la surface et $\sigma_{\theta}=27.8$, cette isopycne étant la limite des eaux profondes dans la région (DWBC). En juin 2002, le transport intégré de l'EGC atteint à 40°W un maximum de 23Sv vers le sud (fig. 2). Ce transport est déjà de 18 Sv à 41°30'W, là où nous prévoyons le mouillage le plus à l'est. Une étude en cours porte sur la variabilité spatiale du courant et les éventuelles recirculations de grande ou moyenne échelle, à l'aide des données altimétriques et des données de température satellitaires (ATSR si possible). La variabilité de l'étendue de glace de mer dans l'EGC sera également regardée à l'aide des images Quikscat. Nous compléterons cette étude par une modélisation théorique préliminaire de la structure zonale et verticale du courant. Il sera alors possible pendant 2 ans de déterminer le transport méridien de masse et de chaleur par l'EGC à l'aide du réseau de mouillages proposé, et ceci avec une incertitude réduite (probablement de l'ordre de 10%). A l'aide des mesures de température et de salinité à 200m, il nous sera également possible de localiser les maxima du gradient zonal de densité qui permettront de localiser les plus forts courants géostrophiques, de conforter nos estimations et d'estimer le transport de chaleur et de sel à cette profondeur.

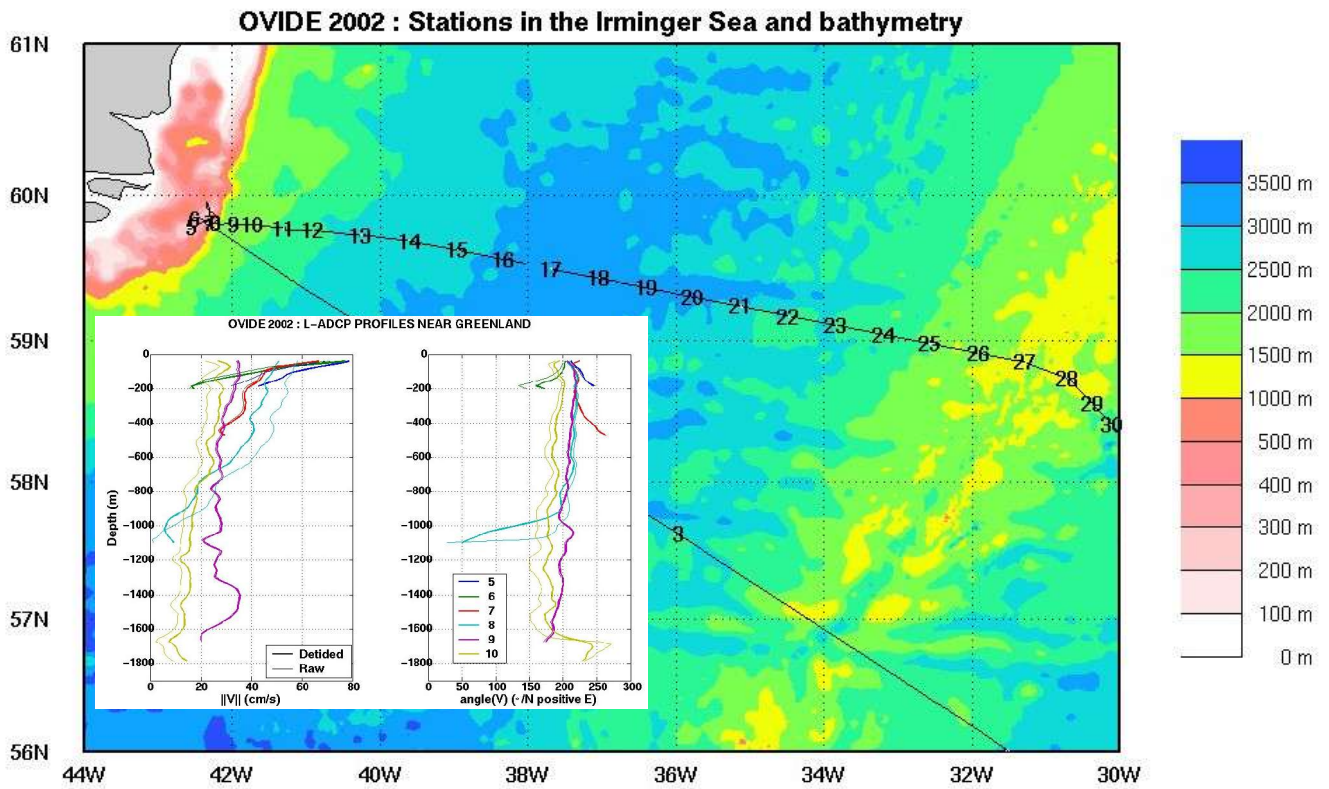


Figure 1 : (a) Stations Ovide 2002 en Mer d'Irminger et (b) profils de vitesse (LADCP) des stations sur le plateau et le talus groenlandais.

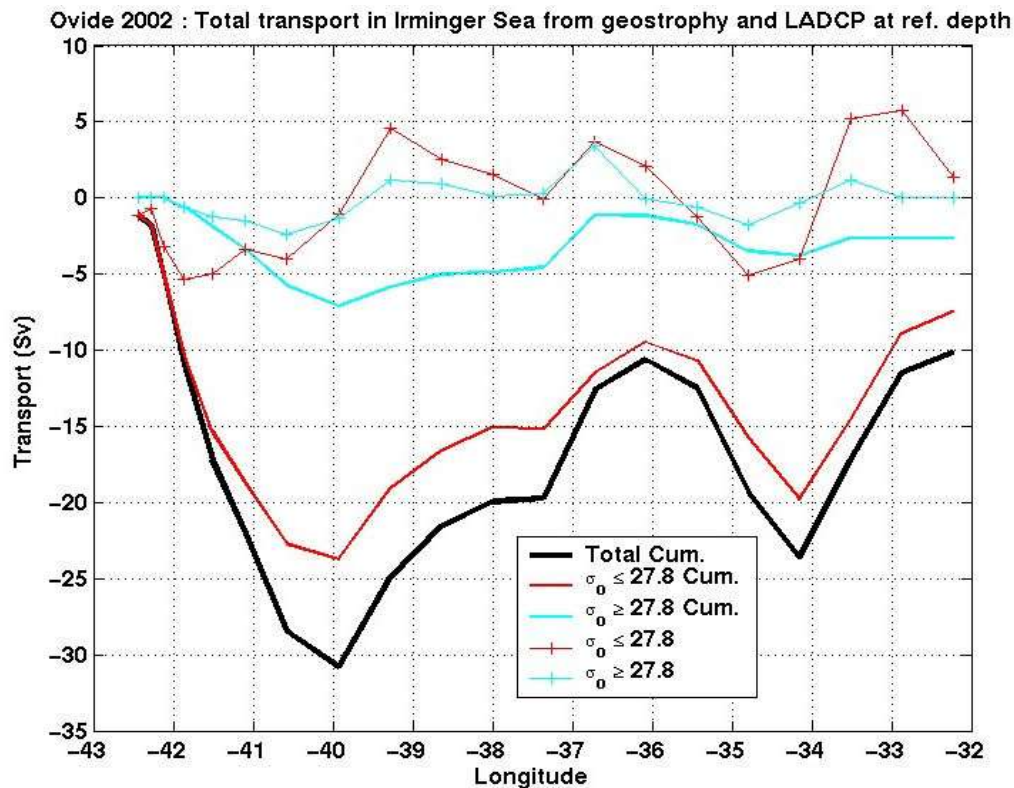


Figure 2 : Evaluation du transport et du transport cumulé d'ouest en est à travers la section d'Ovide 2002 dans le bassin d'Irminger. Les valeurs ont été obtenues à l'aide des vitesses géostrophiques déduites de l'hydrologie et des vitesses mesurées par le LADCP au niveau de référence (1000m). L'isopycne $\sigma_{\theta}=27.8$ détermine la limite communément admise dans cette région entre les eaux de surface et les eaux de fond. Le transport est principalement barotrope à l'ouest de 42°W.

I.3. Surveiller le courant de plateau (EGCC: East Greenland Coastal Current)

Nous avons vu lors de la campagne Ovide de 2002 que l'évaluation expérimentale du transport sur le plateau du Groenland est soumise aux aléas de l'étendue des glaces. L'extrapolation du courant mesuré en 2002 indiquerait un transport de quelques Sverdrups, ce qui représente une part non négligeable du transport global sur la section, et surtout une importante source d'eau douce en Atlantique Nord. Cependant, nous avons très peu d'éléments pour évaluer la variabilité de ce transport côtier, en particulier en hiver. En effet, il existe peu de données in situ, et l'interprétation des données de satellites est rendue difficile par la présence de glace et la prépondérance du rôle de la salinité dans l'estimation de ce transport géostrophique. Bacon et al. (2002), à partir de données récentes (mais instantanées) estiment le transport de ce courant (East Greenland Coastal Current) à 1 Sv, mais soulignent que malgré cette faible valeur, ce courant transporte en été jusqu'à 0.06 Sv d'eau douce en Atlantique, ce qui pourrait représenter 30% du flux net. L'origine la plus probable de cette eau douce est la fonte des glaces sur le Groenland. Ce courant géostrophique serait alors très faible en hiver, en supposant qu'il n'est pas forcé par le vent. Seules des mesures directes de courant et si possible de salinité pendant un an pourraient confirmer cette hypothèse.

I.4. Fournir une contrainte à l'estimation des transports faite à partir des sections Ovide, en particulier sur la Cellule de Circulation Méridienne.

La section hydrographique OVIDE est répétée tous les deux ans. Les transports à travers cette section sont estimés à l'aide d'un modèle inverse géostrophique qui permet de calculer la vitesse au niveau de référence en appliquant des contraintes de conservation (masse, chaleur et autres traceurs tels que la silice) et en prenant en compte les mesures directes de transport, en particulier dans le bassin d'Irminger. Les champs de température et salinité à grande échelle varient avec des échelles de temps de plusieurs mois caractéristiques des ondes baroclines. Ce n'est par contre pas le cas de la composante barotrope de la vitesse qui varie à haute fréquence (10 jours). La représentativité des transports calculée à partir des mesures ADCP est donc difficile à estimer, en particulier dans le Courant Est Groenland où les modèles numériques révèlent une forte variabilité. Les mesures de courant proposées permettront de mieux appréhender cette variabilité, de déterminer la représentativité des mesures ADCP effectuées simultanément aux mesures hydrologiques et d'utiliser des estimations de transport moyennées (sur une saison par exemple) pour contraindre le modèle inverse. Une contrainte de transport sur le courant de bord améliorera de par la conservation de la masse l'ensemble des estimations de transport du modèle.

I.5. Fournir une base de données pour la validation des modèles pronostiques et données satellitaires

La comparaison de données expérimentales et de résultats de modèle tels que CLIPPER, POP ou MICOM est critique dans cette région. Par exemple, les vitesses mesurées par les flotteurs lagrangiens de K. Lavender dans le courant du Groenland à 700m sont moitié moins fortes que celles estimées dans Clipper Atl6, POP 1/10° et MICOM 1/12° (note de A.-M. Treguier et S. Theetten). La conclusion la plus probable est que les flotteurs n'échantillonnent pas aléatoirement le courant de bord (et tendraient à l'éviter), influençant ainsi la moyenne qui est faite sur des boîtes plus larges que le courant. Il semble donc que seules des données eulériennes soient utiles à la compréhension et l'évaluation de ce transport. En retour, les modèles peuvent nous aider à comprendre l'origine de la variabilité observée dans les données, et en particulier le rôle du vent. Il semble que POP et CLIPPER, malgré leur difficulté à restituer le transport profond, rendent bien compte de la variabilité à quelques jours et de l'absence de signal saisonnier de l'EGC (fig.3). POP en particulier donne un transport de l'EGC variant entre 12 et 22 Sv vers le Sud, ce qui est compatible les 17 Sv estimés à Ovide. En revanche, bien que POP montre un courant côtier (EGCC) clairement placé entre les isobathes 200 et 300m et qui varie saisonnièrement, son transport associé (entre 2 et 7Sv vers le Sud) est largement supérieur à toutes les estimations réalisées à ce jour (directement ou indirectement). Cette incohérence, probablement liée à l'absence de modèle de glace dans le modèle, pourrait être partiellement confirmée par le projet présenté ici. D'autre part, on s'attachera à étudier les éventuelles estimations de dérive des glaces calculée à partir des données QuickScat en hiver, et de les comparer avec les données de courant de surface.

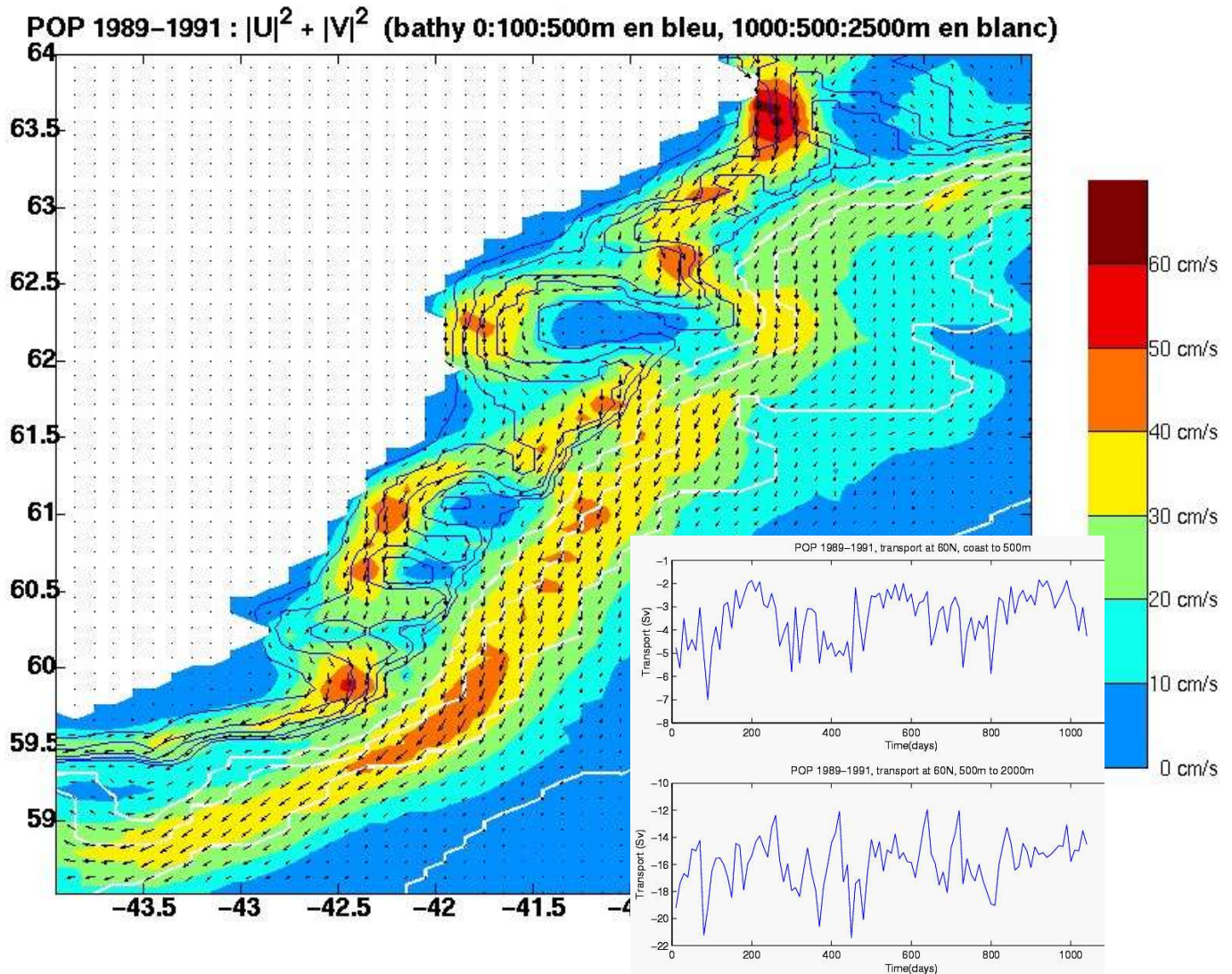


Figure 3 : Résultats des sorties du modèle POP : carte des vitesses moyennées sur 2 ans et sur la verticale, et variabilité intra annuelle du transport de l'EGCC et l'EGC tels qu'ils sont simulés dans POP à 60°N (figures de Anne-Marie Treguier, d'après la configuration de Smith et al., 2000).

REFERENCES

- Bacon, S., 1998: *Decadal variability in the outflow from the Nordic seas to the deep Atlantic Ocean*. Nature, 394, 871-874.
- Bacon, S., G. Reverdin, I. G. Rigor, and H. S. Snaith, 2002: *A freshwater jet on the east Greenland shelf*. JGR, 107, 2001JC000935.
- Dickson, R. and J. Brown, 1994: *The production of North Atlantic Deep Water: sources, rates and pathways*. JGR, 99(C6), 12319-12341.
- Heywood, K., 2002: *MINKE: Monitoring the Irminger and Nordic seas Key Exchanges*. Proposition pour le NERC Rapid Climate Change program.
- Smith, R. D., M. E. Maltrud, F. O. Bryan and M. W. Hecht, 2000: *Numerical simulation of the North Atlantic Ocean at 1/10°*. JPO, 30, 1532-1561.

II – MOYENS D'OBSERVATION

II.1. Présentation de l'ensemble du réseau eulérien d'observation

Un premier réseau d'observation (fig. 4) a été envisagé en fonction des objectifs scientifiques. Nous proposons de placer 5 mouillages courantométriques pour 2 ans à partir de juin 2004 (durant la campagne Ovide). D'est en ouest :

- A. un mouillage à 60N, 41°30'W (1900m) équipé de 5 courantomètres RCM8 à 200, 700, 1200, 1650 et 1800m et d'un Seacat à 200m.
- B. un mouillage sur la pente continentale (de préférence là où elle s'infléchit), à l'intersection de l'isobathe 1600m et de 60N, équipé de 5 courantomètres RCM8 à 200, 600, 1000, 1400 et 1500m et d'un Seacat à 200m.
- C. un mouillage sur la pente continentale à l'intersection de l'isobathe 1000m et de 60N, équipé de 3 courantomètres RCM8 à 600, 800 et 950m, d'un ADCP 75kHz à 450m et d'un Seacat à 200m.
- D. un mouillage de 300m de long disposé à l'intersection l'isobathe 500m et de 60N. Ce mouillage serait équipé de 2 courantomètres RCM8 à 200 et 400m et d'un Seacat en tête de mouillage (à 200m de la surface).
- E. un ADCP 300kHz vers le haut dans un châssis posé au fond à l'intersection l'isobathe 160m (plateau continental) et de 60N, avec si un Seacat intégré à l'ensemble. Cet ADCP serait de préférence disposé au SW d'une "bosse" de façon à le protéger des icebergs qui dérivent vers le SW et raclent le fond ...

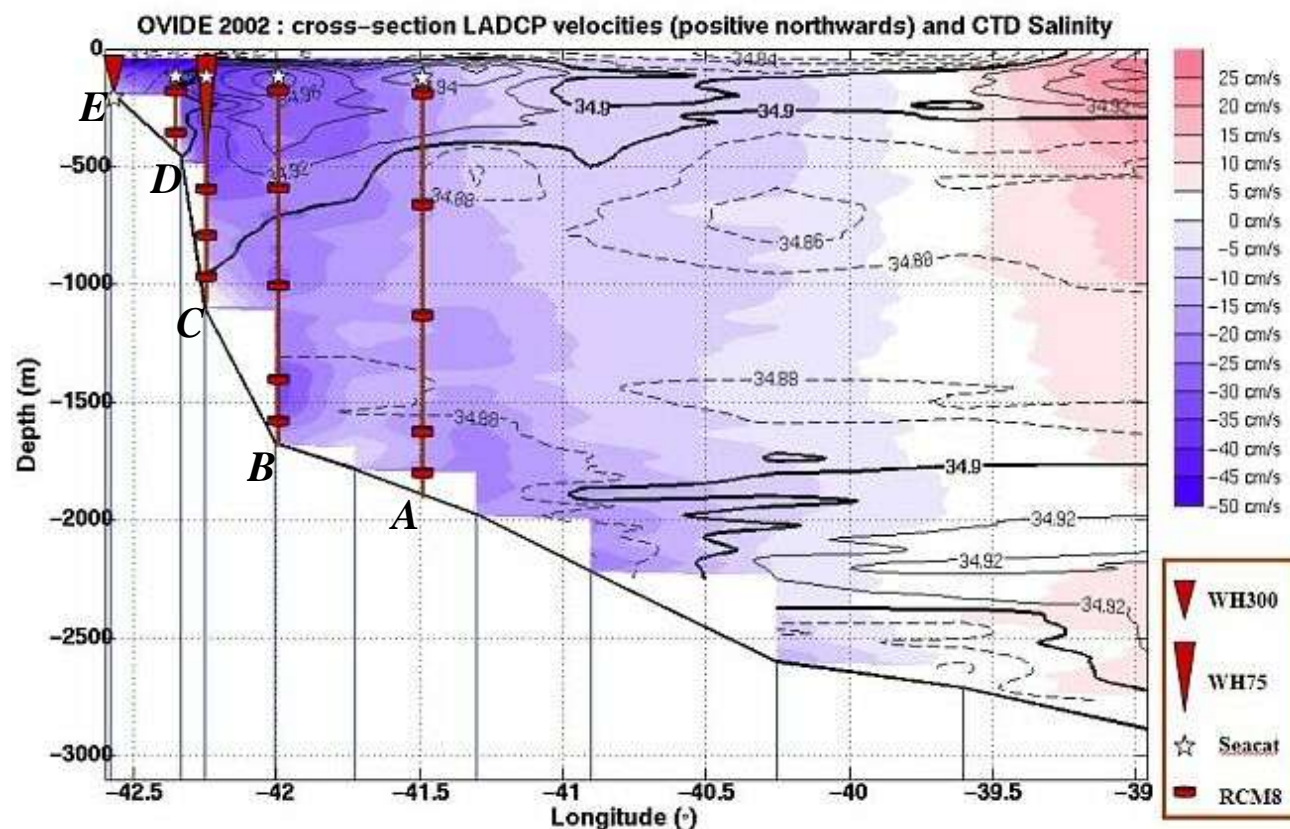


Figure 4 : l'observatoire «Ovide - Groenland » est représenté ici par 4 mouillages à 500, 1000, 1700 et 1900m de fond et un ADCP posé sur le plateau. La section de couleur et les contours représentent respectivement les vitesses LADCP (hors marée) et la salinité (non calibrée) mesurées lors de la campagne Ovide 2002.

La justification de la position des différents instruments est la suivante :

La latitude souhaitée doit rester au voisinage de la section Ovide (à 50km au plus). Il est cependant très souhaitable de se placer dans la continuité de la section prévue par S. Bacon dans le cadre de RAPID, dont la position du premier mouillage est actuellement prévue à 59°N 42°30', soit près de 100km au sud de la section Ovide à cette même longitude. S. Bacon est favorable à l'idée de déplacer la section un peu plus au nord. Nous nous concerterons afin de favoriser une section commune perpendiculaire à la bathymétrie, à une latitude où la pente est relativement monotone (les courants de bord sont fortement contraints par la bathymétrie et l'interprétation des données sera facilitée si le site est peu accidenté). Une étude des données bathymétriques disponibles sera entreprise en 2003, et il serait souhaitable de faire une reconnaissance sur site à l'aide du sondeur en juin 2004, avant de poser les mouillages.

Les têtes de mouillages, avec Seacat et balise Argos, ainsi qu'un courantomètre pour les 3 mouillages longs, seraient placées à 150m ou 200m de la surface. Elles seraient ainsi peu exposées aux icebergs et les mesures permettraient de détecter les fronts de salinité à toute saison. Les profils de vitesse mesurés en 2002 au niveau des 3 mouillages de l'est (fig.2b, stations 8, 9, 10) tendent à montrer que la vitesse de surface devrait être facilement extrapolable.

Les courantomètres les plus profonds seraient systématiquement à 50m du fond, afin d'échantillonner les courants de seuil du détroit du Danemark (DSO) et de fournir un complément au projet RAPID qui surveille le courant profond entre les isobathes 2000m et 3200m.

Les courantomètres des mouillages les plus longs ont été espacés de 600m en raison de la forte barotropie du courant (fig.2b, stations 9 et 10), et ils sont espacés de 200m sur le mouillage central en raison de sa baroclinicité (station 8).

L'ADCP sur le plateau pourrait être déployé par S. Bacon en août 2005 si les conditions de glace lors d'Ovide ne nous permettent pas d'aller sur le plateau. De même, il pourrait être relevé en août 2005 si nous jugeons le site trop risqué pour une expérience de 2 ans.

L'ensemble du mouillage E, prévu pour 160m de fond, est en cours d'étude. Nous prévoyons un ensemble d'environ 1m de haut posé au fond et muni d'un cardan (pour maintenir l'ADCP en position verticale), d'une balise Argos et de 2 largueurs. Le Seacat serait placé au bout d'une ligne de 50m, et éventuellement muni d'un tube en PE pour protection contre les chocs liés à la présence de glace de mer (principe du « pipe mooring », testé par l'IFM Hamburg dans la région).

II.2. La stratégie à long terme

2004-2006 : déploiement décrit ci-dessus, complété par le projet de S. Bacon. La mise à l'eau des mouillages se fera lors de la campagne OVIDE 2004 programmée sur le Thalassa. La récupération lors de la campagne OVIDE 2006.

2006-2008 : effort similaire porté sur le bord est de la section OVIDE, sur le talus du Portugal, en phase avec l'étude des Eaux Méditerranéennes en Atlantique. (EMA)

2008-2010 : déploiement d'un réseau allégé sur le talus en fonction des résultats de 2004-2006, avec cette fois-ci comme objectif l'étude de la variabilité interannuelle.

II.3. Moyens à disposition

Le déploiement comprend

- 1 WH300 20° (25 150 €) + châssis
- 1 WH75 avec châssis (~107 000 €)
- 5 Seacat (10 235 €pièce)

15 courantomètres RCM8
 5100m de câble, dont 4500m en acier
 5 largueurs
 5 balises Argos

Le LPO dispose de 15 courantomètres RCM8, 1 WH75 avec châssis, 2 Seacat, 5 balises Argos , 4 largueurs, de la flottabilité, et du lest.

Demande IFREMER 2004 : 68 650 € en investissement cofinancé à 50% par l'INSU (demande déposée en octobre 2003 et devant être examinée prochainement) :

3 Seacat :	30 700 €
1 ADCP 300KHz	25 150 €
2 largueurs petit fond	12 800 €

Les missions en mer et le transport de matériel sont couverts par l'Ifremer pour le personnel et le matériel Ifremer, par l'INSU pour le personnel et matériel INSU.

III - PERSONNELS PERMANENTS DU LABORATOIRE PARTICIPANT EFFECTIVEMENT AU PROJET

IV - COLLABORATIONS EXTERIEURES NATIONALES ET INTERNATIONALES

<i>NOM, Prénom</i>	<i>LABORATOIRE</i>	<i>CONTRIBUTION ENVISAGEE AU PROJET</i>
BACON Sheldon	SOC (UK)	Section de mouillages profonds RAPID dans le prolongement de la section présentée ici
HEYWOOD Karen	Univ. East Anglia (UK)	Analyse des données.

<i>NOM</i>	<i>GRADE</i>	<i>FONCTION</i>	<i>% Temps</i>
BILLANT André	C3	Préparation des mouillages	10%
GOUILLOU Jean-Pierre	C3	Préparation des ADCP wh75 et wh300	10%
HUCK Thierry	CR2	Préparation scientifique	10%
LHERMINIER Pascale	C1	Préparation scientifique, analyse des données	20%
MENAGE Olivier	T	Préparation des mouillages	20%
MERCIER Herlé	D2	Préparation scientifique	10%
PEDEN Olivier	T	Préparation des mouillages	10%