

APPEL D'OFFRES 2007

**Groupe Mission MERCATOR / CORIOLIS**

GIP MERCATOR OCEAN

CNES, CNRS/INSU, IFREMER, IPEV, IRD, Météo-France, SHOM

---

**FORMULAIRE DE DEMANDE 2007**

---

**RESPONSABLE SCIENTIFIQUE DU PROJET: Fabienne Gaillard**

LPO/IFREMER, BP 70, 29280 Plouzané

Tél : 33-2-98-22-42-88 Courriel : fabienne.gaillard@ifremer.fr

**UNITÉ DE RATTACHEMENT DU RESPONSABLE SCIENTIFIQUE :**

**Laboratoire de physique des Océans (UMR 6523)**

Directeur : Xavier Carton

**Titre du projet : TOCAD**

***(Thermohaline circulation and Ocean Changes using ARGO Data)***

**Type de projet proposé :**

PAC - Projet d'Action Ciblée - EUROARGO

**Résumé du projet :**

**TOCAD** met à profit la couverture spatiale et temporelle offerte par les jeux de données globaux in-situ et satellites pour reconstituer l'état de l'océan des dernières décennies puis en décrire et analyser la variabilité. Nous suivrons en particulier les évolutions de la circulation thermohaline associée aux champs de propriétés. Les données des profileurs ARGO jouent un rôle essentiel dans ces travaux, elles seront mises en perspective par rapport aux jeux de données historiques et aux observations satellites.

Les études proposées s'articulent en 3 volets principaux :

- **Suivi des propriétés de l'océan** : les champs de température et salinité seront reconstitués sur une grille régulière (0.5°) et avec une résolution verticale fine (150 niveaux entre 0 et 2000 m). Une attention particulière sera accordée à la validation des profils ARGO. Deux échelles de temps seront considérées : la période 1980-2007 à basse résolution temporelle et la période ARGO (2002-2007) qui donnera accès aux variations intra-saisonnières. Les études, mises au point sur l'Atlantique Nord seront ensuite étendues à l'océan global.
- **Variations de la circulation océanique grande échelle** associées aux champs interannuels de température et salinité : différentes méthodes (diagnostiques, robust-diagnostic et inverses) chercheront à concilier les champs de propriété avec les observations de courant, via les équations. L'accent sera mis sur la variabilité interannuelle à décennale. Les champs produits dans l'étude des propriétés seront le point de départ d'une partie des analyses, l'étude de la période 1950-2007 reposera sur les produits climatologiques disponibles (Levitus et Hydrobase).

- **Assimilation 4D-var des profils ARGO et de l'altimétrie** dans OPA 8.2 (1/3°). Nous chercherons à décrire et comprendre la variabilité de l'état de l'océan (hydrologie, circulation, transport de chaleur) à partir des analyses produites par assimilation variationnelle. L'étude sera limitée à la période ARGO et mise en œuvre sur l'Atlantique Nord

**Autres laboratoires impliqués :**

Intitulé du laboratoire	Organisme(s) de tutelle	Adresse (ville)	Nom du responsable du projet dans le laboratoire	Statut du responsable

**Durée du contrat demandé : 2 ans**

**Montant total demandé (HT) :** 35 kEuros (18 kEuros en 2008, 17 kEuros en 2009)

**Demande de parrainage :**

- d'un projet de thèse : NON
- d'un projet post-doctoral : NON

Visa *obligatoire* du responsable de l'unité :

Signature du responsable scientifique:

## DOSSIER SCIENTIFIQUE

### 1 Intérêt scientifique et adéquation aux objectifs de l'Appel d'Offres 2007 du Groupe Mission Mercator / Coriolis:

#### 1.1 Introduction

Le comportement physique de l'océan est un facteur déterminant du système climatique. Il est donc indispensable d'être en mesure d'en détecter, quantifier et caractériser la variabilité. ARIVO regroupe un ensemble d'études mettant à profit la couverture spatiale et temporelle offerte par les jeux de données globaux in-situ et satellites pour reconstituer l'état de l'océan des dernières décennies. Les principaux objectifs poursuivis sont :

- d'identifier et analyser la variabilité des masses d'eau en caractérisant la structure et la propagation des anomalies de température et salinité, en relation avec le forçage atmosphérique ;
- de développer différentes méthodologies permettant de reconstruire la circulation et ses variations à partir des données (mesures de température, salinité, trajectoires de flotteurs) ;
- de synthétiser ces résultats sur des indicateurs bien documentés ou observés (par exemple le transport de chaleur) et de déterminer des incertitudes sur ces estimations ;
- d'étudier les mécanismes régulant ces variations (forçages locaux ou distants, par le vent ou les flux de chaleur et d'eau douce).

L'Atlantique Nord, considéré comme 'zone laboratoire' sera abordé en premier lieu. Ce bassin est propice aux études de variabilité car il subit des changements rapides liés à la proximité des zones de formation de masses d'eau et il offre une forte densité et variété de données sur de longues périodes. Les champs analysés donneront un contexte au projet Ovide-Drakkar en fournissant une couverture temporelle du gyre subpolaire des échelles intrasaisonniers à décennales. Les méthodes seront ensuite étendues à l'océan global, sur lequel seront faits les calculs de bilan, les comparaisons entre bassins et l'analyse de leurs relations à travers les différentes oscillations déjà documentées.

Le projet TOCAD présenté ici est un volet particulier du projet ARIVO visant à la reconstruction des champs de propriétés et de courants océaniques dans lesquelles les profileurs ARGO jouent un rôle essentiel. Ce projet s'inscrit donc naturellement dans l'effort scientifique associé à **Euro-Argo**. TOCAD s'attachera plus particulièrement à mettre en évidence :

- l'impact des profileurs ARGO et de l'altimétrie sur la compréhension du niveau moyen des mers ;
- leur rôle dans le suivi de la circulation thermohaline ;
- leur utilisation pour la validation des données satellite (altimétrie, SSS).

#### 1.2 Suivi des propriétés de l'océan

Température et salinité sont les deux propriétés qui apparaissent dans les équations de conservation de la chaleur et de l'eau douce, et par là jouent un rôle prépondérant dans la régulation du climat. Ce sont des traceurs actifs qui agissent sur leur propre transport à travers l'équation d'état de l'eau de mer, en effet la masse volumique, via la pression, contribue avec les forçages mécaniques à régir les déplacements du fluide. Les modèles s'attachent donc à reproduire au mieux la distribution spatiale de ces propriétés et son évolution temporelle. Avant de s'en remettre aux capacités prédictives des modèles, il est fondamental de s'assurer de leur capacité à reproduire la réalité, pour cela il faut arriver à s'en constituer une image aussi claire

que possible, et ce sous une forme qui facilitera la comparaison avec les résultats numériques.

Nous proposons de réaliser une étude systématique des propriétés physiques de l'océan à partir des observations in-situ basée sur la mise en œuvre d'un outil permettant la qualification, l'homogénéisation et la synthèse des données issues d'instruments, de laboratoires et de centres de données variés. Nous utiliserons pour cela ISAS (In Situ Analysis System), dans sa version 4.1 (pour information, Coriolis utilise actuellement la version 3.6).

Le programme ARGO, avec sa flotte de 3000 profileurs déployés sur l'océan global, fournit aux scientifiques un jeu de données temps réel exceptionnel sur la température et la salinité dans les 2000 premiers mètres de l'océan. Ces mesures supplantent en qualité les XBT, peu coûteuses mais moins précises, fournissant seulement la température et souvent limitées aux 750 premiers mètres. Cet ensemble de mesures temps réel vient compléter la couverture spatiale et temporelle plus limitée des CTD, dont la précision et la richesse restent cependant sans équivalent. Les satellites fournissent des observations globales et répétitives de la surface de l'océan.

Le jeu de données ARGO donne accès à la variabilité océanique depuis les échelles intra-saisonnnières à interannuelles, et ce avec une résolution spatiale de quelques degrés. L'étendue temporelle de la série ne permet cependant pas d'atteindre les échelles décennales. Nous avons donc choisi d'aborder l'étude de la variabilité en combinant les résultats de deux analyses à haute résolution spatiale et temporelle de la période ARGO, et une analyse type 'Levitus' (annuelle ou pentadale) de la période 1980-2007. Les analyses à haute résolution seront effectuées sur la période 2001-2007, puis poursuivies. Selon les bassins, le début de la période exploitable pour les études prévues se situera entre 2001 et 2003, en fonction de la distribution des observations disponibles. Par souci de simplicité nous avons choisi de décrire cette période comme étant : 2002-2007 dans le document.

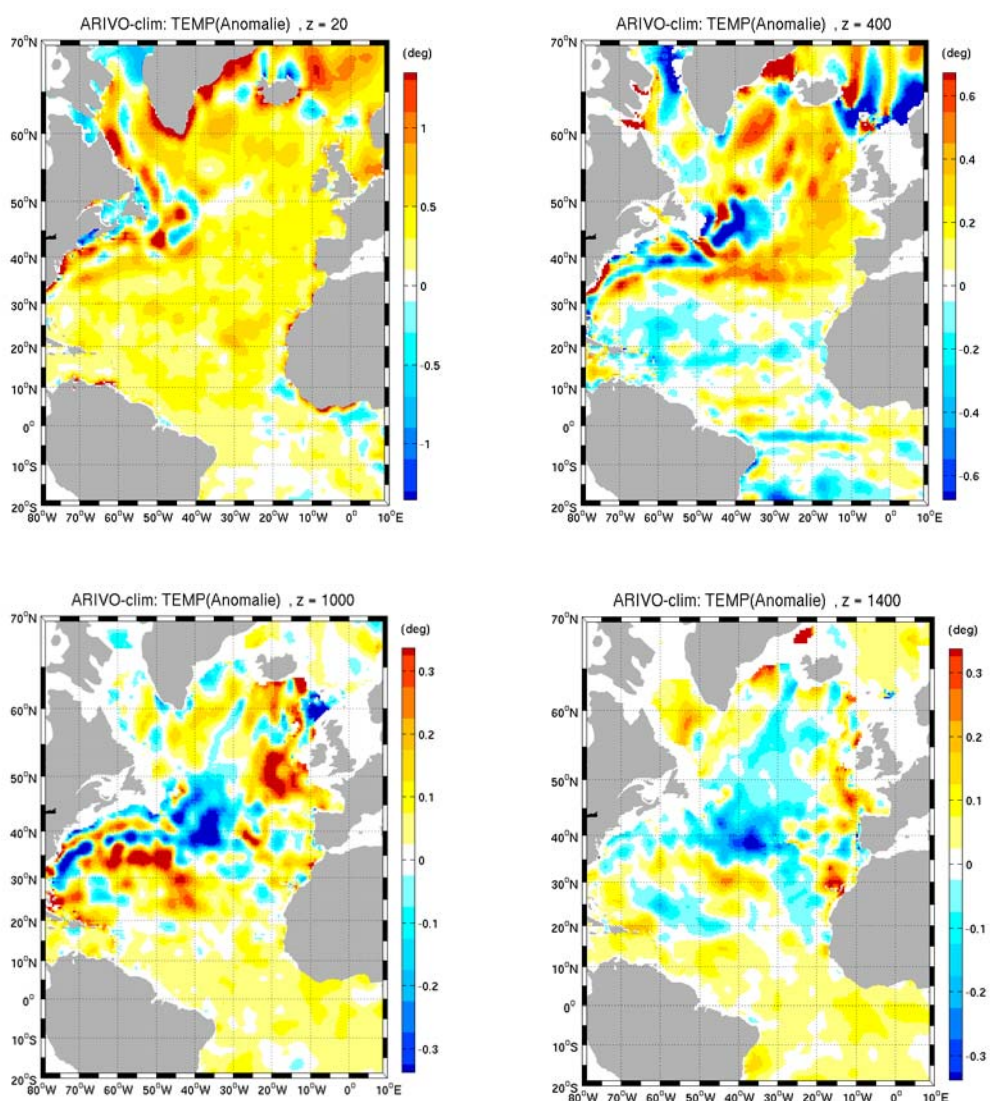
### **1.2.1 Variabilité interannuelle à décennale de l'Atlantique Nord**

Une précédente étude GMMC basée sur les analyses 2000-2005 (Gaillard et Autret, 2006) a permis de comparer l'état moyen sur cette période aux produits Levitus (Figure 1). Les changements notables remarqués demandaient à être mis en perspective dans une série plus longue. Nous avons pour cela réalisé une étude sur la variabilité interannuelle 1990-2005 (Melet, 2006). Les contenus thermiques reconstitués correspondaient dans leurs grandes lignes à ceux publiés par Levitus et al. (2005) pour la période antérieure à 2002, avec cependant un problème net de biais lié aux XBT distribuées par Coriolis sur les années antérieures à 1997, et un léger refroidissement des niveaux intermédiaires en 2005, rendu suspect par la révélation du problème de l'attribution des pressions sur certains profileurs ARGO/SOLO. Il faut noter que ce refroidissement ne concernait pas les couches de surface, qui poursuivaient leur réchauffement, contrairement aux résultats publiés par Lyman et al. (2006) puis corrigés par Willis et al. (2007).

Il nous a paru important de reprendre ces travaux en y apportant plusieurs améliorations :

- La période considérée pour les analyses annuelles et pentadales a été étendue pour la faire commencer à 1980, date de la généralisation des mesures à haute résolution verticale (en comparaison des mesures de type bouteilles), afin de pouvoir décrire les variations décennales.
- L'outil d'analyse dans sa version 4 prend mieux en compte la variabilité spatiale des statistiques (échelles de covariance et variances a priori) et permet une meilleure résolution verticale, en particulier à l'approche de la surface. La grille d'analyse couvre le domaine 77S-77N avec une résolution de  $\frac{1}{2}^\circ$  Mercator et comprend 150 niveaux, les premiers niveaux étant à 0, 3 et 5 m (Gaillard et Charraudeau, 2007).
- Nous avons décidé d'être particulièrement vigilants sur le problème des mesures erronées et des biais introduits par les systèmes de mesure. Les expériences précédentes

nous ont en effet alerté sur le fait que les meilleurs résultats ne sont pas ceux qui prennent en compte le plus de données, mais ceux qui contiennent le moins de mauvaises données. Des tests de vraisemblance sont introduits, bien qu'ils semblent dupliquer ceux effectués par les centres de données. Une analyse de référence comprenant uniquement des CTD (Hydrobase 2V2, CCHDO et LPO) et les profileurs ARGO jugés 'sans dérive capteur' est effectuée. Les jeux de données potentiellement biaisés pris en compte dans un second temps. Ils seront évalués avant analyse, en fonction des informations fournies par les PI, et après analyse, par étude des anomalies estimées et des résidus d'analyse en comparaison avec l'analyse de référence. Enfin un travail spécifique sera mené sur la compréhension des temps de réponse et de l'inertie thermique des capteurs et sur le type de correction qu'il convient d'apporter pour éviter d'introduire des biais (Lueck, 1990).



**Figure 1 : Ecart entre la température moyenne 2000-2005 et la climatologie WOA01 à  $\frac{1}{4}^\circ$ , approximativement centrée sur les années 1970.**

### 1.2.2 Variations climatiques de l'océan global et définition d'indicateurs

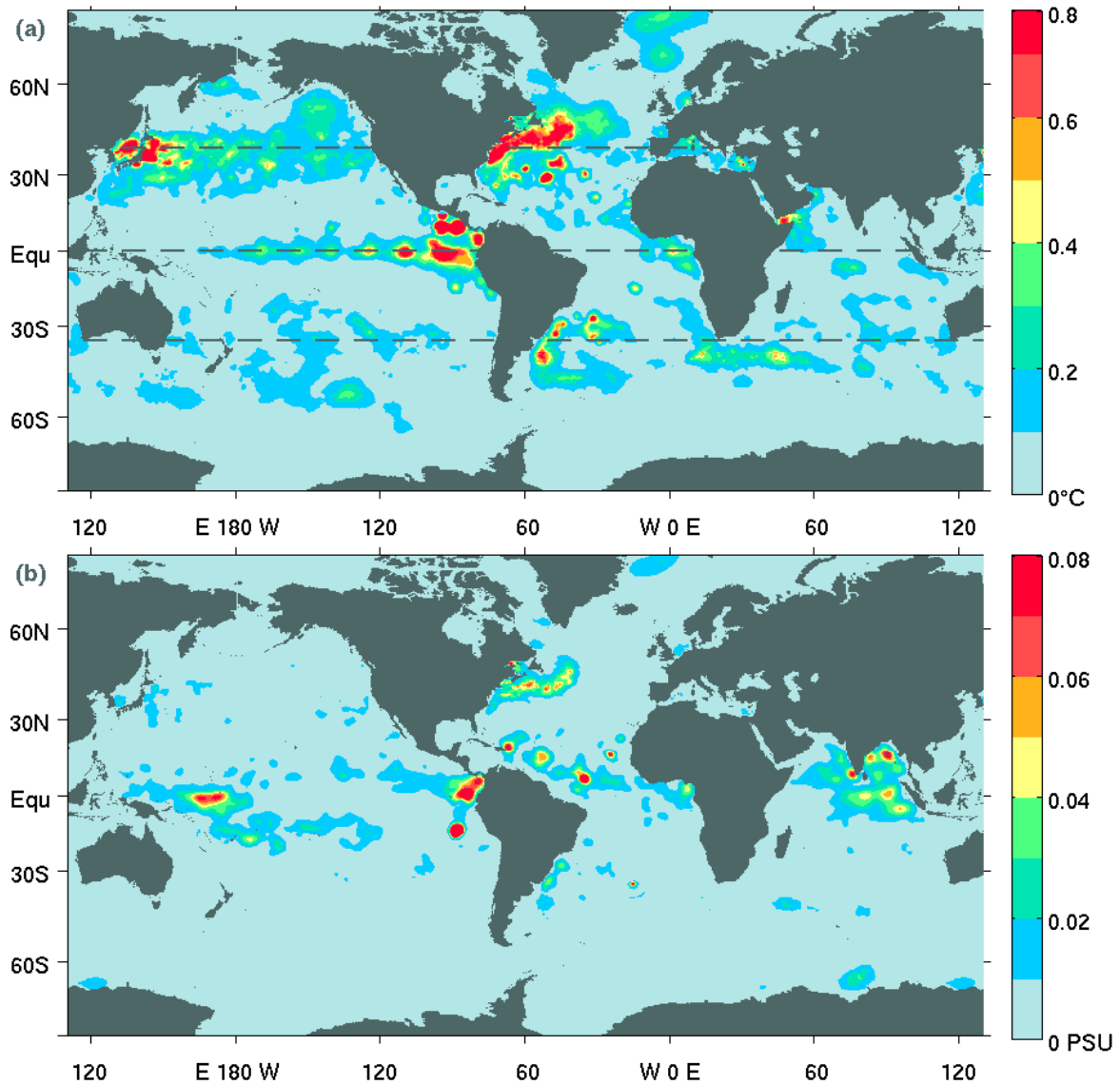
Une étude préliminaire (K. Von Schuckmann) a été réalisée sur les champs T et S issus de la ré-analyse globale 2003-2007 des données du centre Coriolis. Dans un premier temps, les champs hebdomadaires de température et de salinité produits par Coriolis à partir du système ISAS-V3.6 (Gaillard et al. 2007) sur une grille au  $\frac{1}{2}^\circ$  ont fait l'objet d'un contrôle et les anomalies identifiées ont été signalées à *Coriolis*. La quantité de données erronées étant faible, ces champs ont été jugés utilisables pour l'étude préliminaire présentée ici. L'objectif de cette étude est de mettre au point les méthodes et de dégager les caractéristiques essentielles de la variabilité auxquelles il est possible d'accéder avec cette base de données dont l'étendue temporelle est encore limitée. Les champs hebdomadaires fournis par *Coriolis* ont été moyennés pour constituer les champs mensuels qui sont notre base de travail.

#### **Variabilité des couches de surface**

La variabilité des couches de surface a été examinée en premier lieu : en effet, cette couche étant en contact avec l'atmosphère, elle rend compte des échanges sur les échelles de temps courtes. D'autre part, les variations y sont importantes et le signal sera donc moins affecté par les erreurs de mesure qui peuvent entacher les données temps réel avec lesquelles nous travaillons. Nous nous sommes intéressés aux champs de température et de salinité à 20 m, les niveaux plus proches de la surface sont en effet moins bien échantillonnés. Un cycle annuel moyen a été construit à partir des quatre années 2003-2006. Les anomalies autour de ce cycle moyen seront notées SSTA et SSSA, respectivement pour la température et la salinité. Une première estimation globale de la variabilité, excluant le cycle saisonnier, nous est donnée par les écarts-type de SSTA et SSSA (Figure 2).

L'analyse globale de l'hydrographie effectuée par Forget et Wunsch (2007) montre une forte corrélation des fluctuations des deux variables en dessous de 100m. Ces variabilités peuvent différer notablement à proximité de la surface. Aux moyennes latitudes les écarts-type de SSTA sont élevés dans le système de courant Nord Atlantique (NAC) et l'extension du Kuroshio, dont on sait qu'ils sont accompagnés de fortes fluctuations moyenne échelle. Dans les hautes latitudes ils sont élevés dans les régions de formation d'eau profonde de l'Atlantique Nord. En zone tropicale, on remarque plusieurs régions spécifiques de forte variabilité de température. Le Pacifique tropical est dominé par la signature de l'évènement El Nino 2006. En Atlantique, les variations de température sont principalement visibles dans les zones d'upwelling équatorial Est, associé aux cellules subtropicales (Schott et McCreary 2004). Dans l'océan Indien, les forts écarts de SSTA ont lieu à l'ouest de la mer d'Arabie, en lien probable avec la subduction hivernale (Schott et al. 2002). Dans la partie Sud des zones tropicales de l'Océan Indien, les fluctuations de température peuvent être reliées aux régions d'upwelling du dôme 5-10°S et de la région de Sumatra (Schott et al. 2002). Dans l'océan Sud on note deux régions à forte variabilité, connues pour leur richesse en fluctuations de moyenne échelle : la zone de confluence courant du Brésil-courant des Malouines en Atlantique, dont les variations ont été documentées par les observations satellite (Saraceno et al. 2004) et la région du courant des Aiguilles, au Sud de l'Afrique du Sud (Goni et al. 1997).

La seule région pour laquelle les fortes valeurs des fluctuations de SSTA et de SSSA coïncident sont le NAC. Dans l'extension du Kurioshio les variations de SSA sont assez faibles (Figure 2, b). Les zones de forte variabilité de la SSSA sont principalement concentrées dans les régions tropicales.



**Figure 2 : Ecart type par rapport au cycle annuel moyen à 20 m et pour la période 2003-2006 de la température (a) et de la salinité (b). Ces cartes sont calculées à partir des champs hebdomadaires produits par Coriolis en temps réel. Remarque : la tache circulaire dans le Pacifique ouest est liée à la prise en compte par les analyses temps réel d'un profileur erroné non détecté en temps réel.**

Dans le Pacifique, les fluctuations élevées se produisent à l'Est et à l'Ouest du bassin, elles peuvent être liées à des anomalies de la circulation de Hadley pendant les ENSO. En Atlantique tropical les fortes amplitudes de SSSA sont localisées dans l'Ouest du bassin, connu pour sa très forte variabilité aux échelles intra-saisonniers (Diden et Schott 1993 ; Jochum et Malanotte-Rizzoli 2003). Dans l'océan Indien, les fluctuations de SSSA sont associées à la variabilité des décharges fluviales dans le golfe du Bengale et aux variations atmosphériques des hautes pressions de Lacadive au sud-ouest de la mer d'Arabie (Shenoi et al. 1999).

### **Structure verticale de la variabilité**

L'intérêt principal et la grande spécificité des mesures ARGO réside dans leur capacité à explorer l'intérieur de l'océan global jusqu'à environ 2000 m. Nous avons analysé la distribution verticale de la variabilité le long de trois sections zonales placées aux latitudes 40°Sud, 0 et 40°Nord. Aux moyennes latitudes (Nord et Sud), la variabilité profonde est concentrée le long des bords ouest, où les écarts types sont élevés jusqu'à 1000 m. En Atlantique Sud on note aussi

une forte variabilité le long du bord Est. A l'équateur, la variabilité reste limitée à la proximité de la surface. A ces variations associées aux déplacements de la thermocline tropicale s'ajoutent des fluctuations de salinité intensifiées en surface. L'écart type de la densité potentielle autour du cycle annuel, moyenné par bassin, montre un maximum vers 100 m dans la bande équatoriale. En dehors des tropiques le maximum de variabilité atteint la surface dans les zones de subduction.

### ***Poursuite du travail***

Cette étude a permis de construire une première vue tridimensionnelle de la variabilité de l'océan global. Une ré-analyse mensuelle effectuée avec ISAS-V4, et mettant en oeuvre les principes de contrôle des données mis au point sur l'Atlantique Nord sera réalisée sur la période 2002-2007. Elle donnera accès aux fluctuations intra-saisonnières à interannuelles.

De la même façon que sur l'Atlantique Nord, ce n'est que dans cadre d'une série assez longue qu'il est possible d'apprécier une tendance, une ré-analyse annuelle et pentadale de la période 1980-2007 sera donc entreprise. Plus éloignée dans le temps, cette étude pourra bénéficier des jeux de données globaux préparés par Coriolis.

L'étude de l'océan global reposera sur des moyennes géométriques (zonales, globales, par couche ...), telles que présentées ici mais aussi statistiques (modes et composantes principales) qui ont été testées et qui, si elles sont parfois difficiles à interpréter, constituent un bon guide pour identifier les corrélations spatiales.

Le bilan des résultats permettra de définir les régions à forte variabilité qui pourront faire l'objet d'un suivi particulier au moyen d'indicateurs dans le cadre de la surveillance de l'océan et du changement anthropique global. Ces résultats constituent également une référence in-situ qui permettra d'évaluer les modèles océaniques et contribuera à l'amélioration de leurs capacités prédictives. Bien sûr des travaux plus poussés doivent être menés pour mieux comprendre la dynamique qui contrôle les changements à grande échelle présentés ici.

## ***1.3 Variations de la circulation océanique grande échelle associées aux champs interannuels de température et salinité***

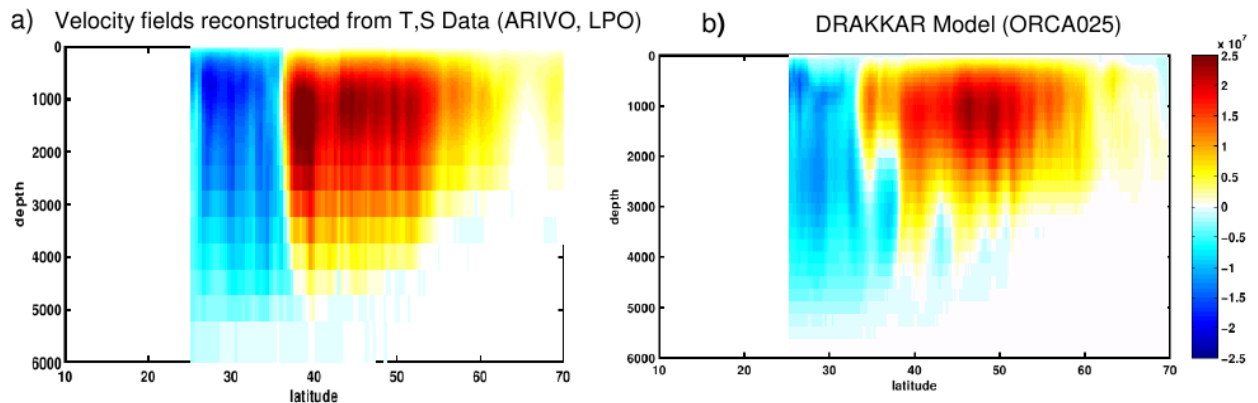
L'objectif est de déterminer des champs de courants océaniques associés aux champs de température et salinité annuels moyens, et de documenter leurs variations sur des indices associés à la circulation océanique barotrope et thermohaline, et au transport de chaleur. Plusieurs méthodes sont mises en oeuvre et comparées: méthodes diagnostiques, modèles pronostiques et modèles inverses. Trois périodes sont considérées en fonction du type et de la densité de mesure in-situ disponibles, la période 1950-2000 (climatologies pentadales WOD2004 du NODC) et les périodes 1980-2007 et 2002-2007 (analyses ARIVO annuelles et pentadales présentées précédemment).

### ***1.3.1 Méthodes diagnostiques***

Il est proposé de reconstruire la circulation océanique moyenne et ses anomalies interannuelles dans l'Atlantique Nord dans un premier temps, puis à l'échelle du globe, sur la période 2002-2007, en utilisant les données du réseau global d'observation ARGO. L'objectif est d'obtenir, à terme, une estimation directe des transports de chaleur et d'eau douce et de leurs variations. Les profils de température et salinité ARGO fournissent la circulation barocline par le vent thermique mais il manque une vitesse de référence pour accéder à la circulation barotrope. Nous proposons d'utiliser les trajectoires des flotteurs en profondeur (en général 1000m) pour obtenir une vitesse à un niveau de référence. Des méthodes seront développées pour corriger les champs obtenus à partir des seules données Argo afin qu'ils soient à la fois les moins bruités possible et dynamiquement cohérents. Ces méthodes exploiteront notamment la complémentarité des



## Meridional Overturning Cell for the Baroclinic Field in the North Atlantic (1993-2002 mean)



**Figure 3 : Composante barocline de la cellule de circulation méridienne moyenne dans l'Atlantique Nord (1993-2002) en  $\text{m}^3/\text{s}$  calculée à partir du champ de vitesse barocline (a) reconstruit à partir des données T, S ARIVO et (b) obtenu dans le modèle DRAKKAR (configuration ORCA025).**

données Argo et des données altimétriques.

Une étude préliminaire a montré que les champs T, S ARIVO permettaient de reconstruire de façon satisfaisante les champs moyens 1993-2005 de vitesse barocline. La composante barocline de la cellule de circulation méridienne obtenue à partir de ces champs est comparable à celle calculée à partir des sorties du modèle OPA ORCA025 (résolution moyenne  $1/4^\circ$ ) du projet DRAKKAR (Figure 3).

### 1.3.2 Méthodes 'robust diagnostic'

Dans le cadre du projet LEFE "RECOntitution de la circulation océanique grande échelle dans l'Atlantique depuis 1950 à partir des données in situ : variations, incertitudes et mécanismes" soumis en avril 2006 pour 2 ans, nous avons pu comparer différentes méthodes (diagnostique, 'robust diagnostic', prognostic court) à l'aide du modèle ROMS dans différentes configurations de l'Atlantique Nord.

Différents travaux préliminaires à l'utilisation de ces méthodes sur les données récentes ont été menés, à partir des anomalies pentadales de T et S de Levitus (Levitus et al. 2005, Boyer et al. 2005), d'analyses similaires à partir des outils et données Hydrobase (R. Curry, WHOI), et des analyses annuelles ARIVO 1990-2005 (Melet 2006). Les comparaisons avec les résultats du modèle Drakkar ORCA025-G70 sont très concluantes (Figure 4). Ces résultats sont en cours de publications (Huck et al. 2007, en préparation).

Le modèle réaliste global OPA ORCA05 ( $1/2^\circ$  de résolution moyenne) utilisé dans le projet Drakkar pour des simulations forcées sur la période 1958-2001 sera utilisé en mode 'robust diagnostic' (Madec et al. 1998) pour être contraint par les champs interannuels de température et salinité. Plusieurs méthodes seront testées avec ou sans cycle saisonnier répété. La comparaison avec les simulations Drakkar équivalentes permettra d'évaluer l'apport du terme de rappel.

### 1.3.3 Modèle inverse

La configuration Atlantique Nord mise en place par C. Grit sera validée et l'inversion effectuée pour toute la série pentadale avec les vents et flux de chaleur ERA40 sur la même période. Ces résultats seront analysés en termes de circulation barotrope du gyre subtropical et subpolaire, circulation thermohaline en z et en sigma, transport méridien de chaleur. La robustesse de ces inversions sera estimée par l'utilisation d'autres climatologies océaniques (Hydrobase, LPO) et

des flux air-mer (NCEP), et aux paramètres de l'inversion.

Une fois la méthode validée et comparée aux résultats des autres méthodes, elle sera appliquée aux analyses annuelles ARIVO sur les années récentes. Les résultats seront alors analysés plus finement en relation avec les sections hydrographiques (Ovide, 24N...).

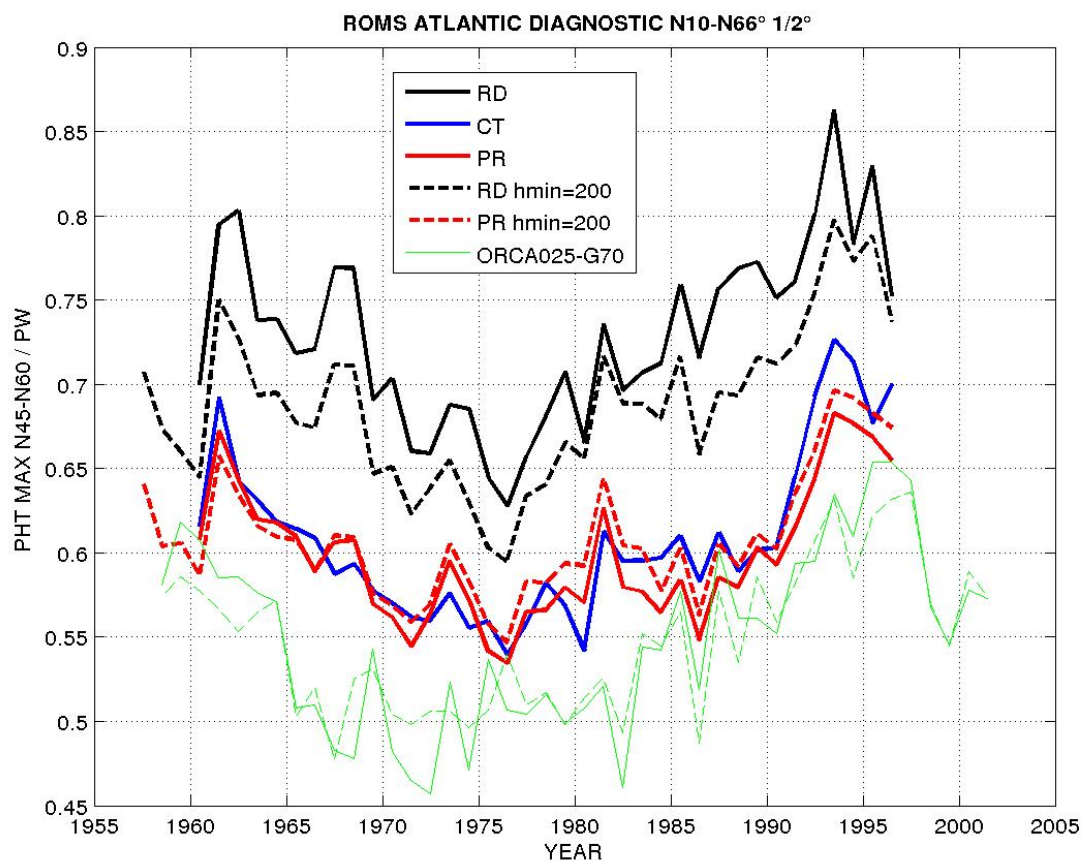


Figure 4 : Transport de chaleur maximum entre 45N et 60N dans le gyre subpolaire, pour la configuration ROMS Atlantique Nord 1/2° en mode robust-diagnostic (RD), constant-tracer (CT) et prognostic court (PR), et 2 lissages de la topographie (hmin=50 et 200). La comparaison avec le transport de chaleur à 45N et 50N dans la simulation forcée ORCA025-G70 issue de Drakkar, en moyenne glissante sur 5 ans est très satisfaisante, surtout pour la phase et l'amplitude des variations multidécennales.

#### 1.4 Assimilation 4D-var des profils ARGO et de l'altimétrie

Objectif: décrire et comprendre la variabilité de l'état de l'océan (hydrologie, circulation, transport de chaleur) à partir des analyses produites par assimilation variationnelle.

L'outil 4D-variationnel est appliqué à une configuration Atlantique Nord à moyenne résolution (1/3°) du modèle OPA 8.2. Le système d'assimilation utilise des observations altimétriques et des profils de température et salinité issus du réseau ARGO. L'outil produira des analyses de l'hydrologie et de la circulation océanique cohérentes avec les lois dynamiques d'un modèle aux équations primitives. Ces analyses doivent par la suite servir à quantifier la variabilité océanique sur la période 2002-2007 pour laquelle le nombre d'observations in-situ est conséquent.

Configuration actuelle du système variationnel :

- Domaine : Atlantique nord à moyenne résolution latitude 20°S - 70°N, longitude 98°W – 14°E.
- Résolution : horizontale 1/3° x 1/3°cos(latitude) (280 x 361 points de grille), 43 niveaux verticaux. Pas de temps : 2880 s

- Diffusion horizontale biharmonique – TKE sur la verticale.
- Bathymétrie grillée à partir de Smith et Sandwell.
- Forçages journaliers issus des ré-analyses NCEP.
- Observations: données altimétriques et profils de température et salinité issus des flotteurs profileurs.
- Matrices de covariance d'erreurs diagonales pour l'ébauche et les observations.
- Fenêtre d'assimilation: 30 jours à 90 jours.
- méthode d'assimilation non-incrémentale.

En 2006, quelques expériences d'assimilation préliminaires nous ont amenés à faire évoluer le système (augmentation de la viscosité/diffusion vers des valeurs « standards », choix sur l'intégration à rebours de la variable adjointe de la surface libre, passage à du 4D-var non-incrémental pour allonger la fenêtre d'assimilation).

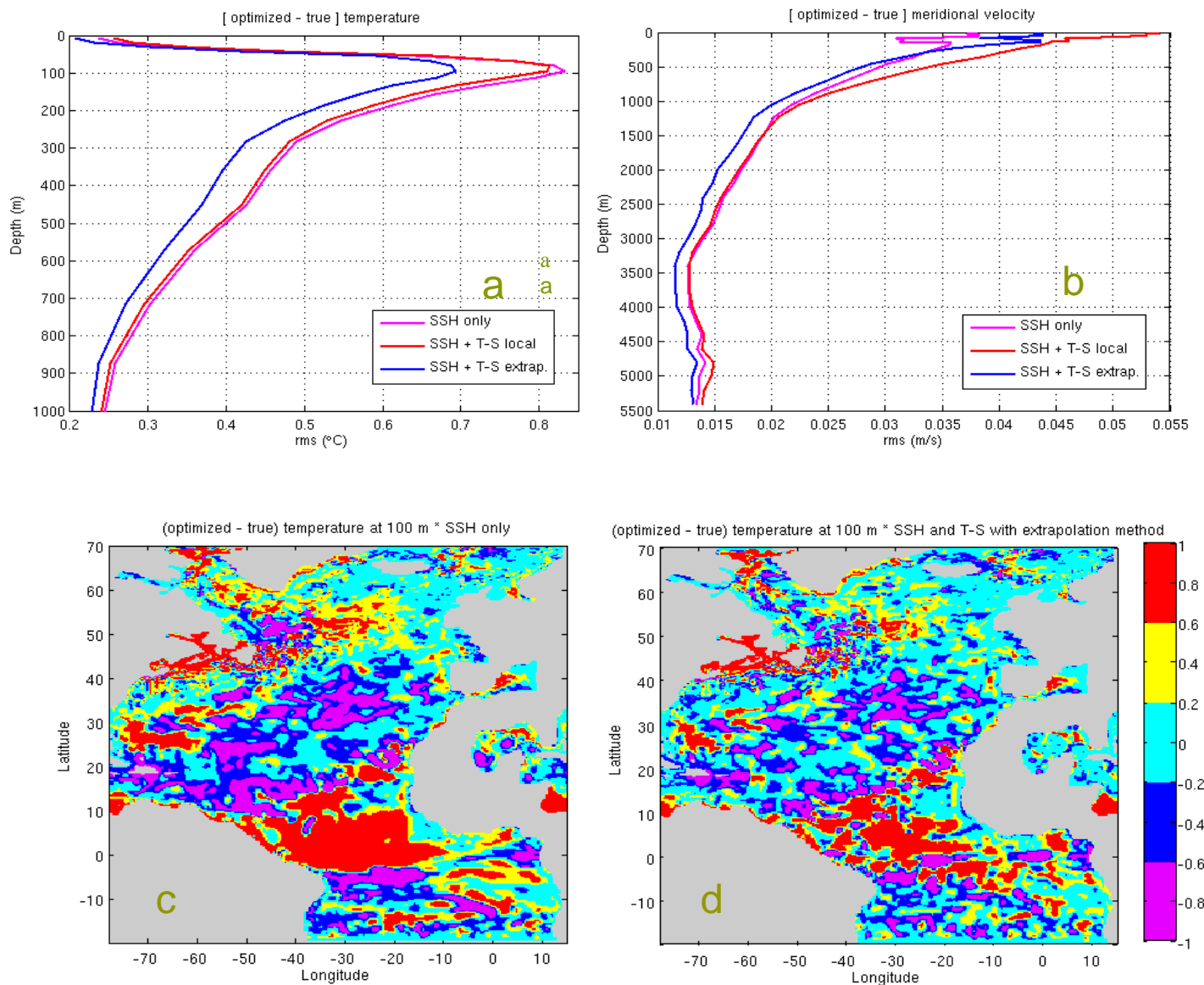
En 2007, une quarantaine d'expériences jumelles ont été réalisées dans le but de se forger une première idée du potentiel et des limites du système d'assimilation 4D variationnel pour reconstituer la circulation à partir d'observations dans un cadre idéalisé. Nous avons testé l'impact de l'assimilation:

- de cartes de hauteur absolue de surface de la mer (SSH) moyennées sur 10 jours et non bruitées,
- de profils non bruités de température (T) et de salinité (S) issus tous les 10 jours d'un réseau de flotteurs dérivants,
- de cartes de SSH et de profils T-S.

Les expériences couvraient des fenêtres temporelles de 30 jours ou de 90 jours. Avec une fenêtre s'étendant sur 30 jours, les tests ont montré:

- que l'assimilation des seules cartes de SSH contraint significativement les champs de vitesses et de traceurs sur [0 – 1000] mètres,
- que l'assimilation des seuls profils T-S contraint peu la dynamique et les traceurs bien que la fonction coût sur les observations soit fortement réduite.
- que l'assimilation conjointe des cartes de SSH et des profils T-S dégrade l'analyse produite avec les cartes de SSH seules pour le champ de vitesse et n'améliore pas les champs de traceurs.

Les points 2 et 3 viennent du fait que les corrections de l'état initial restent éparpillées avec les profils T-S et ont des structures peu cohérentes avec ce que serait la correction parfaite de cet état (ici connue dans le cadre des expériences jumelles). Cela est principalement lié au caractère spatial ponctuel des profils (contrairement à la couverture globale d'une carte de SSH). Pour étendre spatialement les corrections engendrées par les profils T-S, nous avons mis en place une méthode simple d'extrapolation de l'écart modèle-observations dans le modèle adjoint. L'idée ici est toujours de mettre en valeur le plus possible le rôle d'interpolateur dynamique qui fait tout l'intérêt de la méthode 4D-var: ainsi, les écarts modèle-observations extrapolés sont également propagés par la dynamique du modèle adjoint (et pas uniquement par des relations statistiques comme cela serait le cas d'une méthode de filtrage type Kalman, 3D-var, ...).



**Figure 5 :** rms des différences entre état océanique estimé et état vrai en fonction de la profondeur pour a) la température (de 0 à 1000 m), b) la vitesse méridienne (surface - fond). L'état océanique estimé est basé soit sur l'assimilation seule de SSH, soit sur la combinaison SSH et profils T-S pris à leur point de mesure (local) ou extrapolés aux points voisins (extrap.). Distribution géographique des différences en température (°C) à 100 m de profondeur entre état estimé et état vrai lorsque l'estimation est basée sur c) la SSH seule, d) la SSH et les profils T-S extrapolés. La distribution géographique correspondant à l'estimation basée sur la SSH et les profils T-S sans extrapolation est quasi-identique au panneau c).

Malgré sa simplicité, l'extrapolation donne des résultats satisfaisants puisque sur 30 jours, l'assimilation conjointe de la SSH et des profils T-S donne désormais des résultats meilleurs que l'assimilation de la SSH seule tant sur les traceurs (principalement sur les 1000 premiers mètres) que sur les vitesses (à l'exception des 200 premiers mètres) (Figure 5).

Actuellement, ces expériences jumelles sont reprises en rajoutant un bruit « réaliste » sur les profils T-S et sur l'altimétrie. Le bruit ajouté est estimé à partir de la variance des observations du réseau Argo à l'échelle de la grille du modèle ( $1/3^\circ$ ) et par comparaison des cartes de SSH Aviso (Jason-Envisat) avec les traces « indépendantes » TOPEX

## 1.5 Références citées

- Boyer, Timothy P.; Levitus, S.; Antonov, J. I.; Locarnini, R. A.; Garcia, H. E., 2005: Linear trends in salinity for the World Ocean, 1955-1998. *GRL*, 32, 1, L01604, <http://dx.doi.org/10.1029/2004GL021791>.
- Levitus, S., J. I. Antonov, T. P. Boyer, 2005: Warming of the world ocean, 1955-2003. *GRL*, 32, 2, L02604, <http://dx.doi.org/10.1029/2004GL021592>.
- Didden, S. and F. Schott, 1993: Eddies in the North Brazil Current retroflection region as observed by GEOSAT altimetry, *Journal of Geophys. Res.*, 98, 20121-20131.
- Forget, G. and C. Wunsch, 2007: Estimated global hydrographic variability, *Journal of Physical Oceanography*, in press.
- Gaillard F. et E. Autret, 2006 : Climatologie et statistique de l'Atlantique Nord, Projet GMMC – 2003, Rapport final du contrat CNRS– CT510366.
- Gaillard, F. , E. Autret and V. Thierry and P. Galaup, 2007: An operational system for real time and delayed mode quality control of Argo profiles, *Journal of Atmosphere and Ocean Technology*, submitted.
- Gaillard, F., E. Autret, V.Thierry, P. Galaup, C. Coatanoan, and T. Loubrieu , 2007 : An operational system for real time and delayed mode quality control of Argo profiles. Submitted to *JOAT* (en revision)
- Gaillard et Charraudeau, 2007 : ISAS-V4, Mise en place de la configuration. Document LPO/ARIVO.
- Goni, G.J., S.L. Garzoli and A.J. Roubicek and D.B. Olson and O.B. Brown, 1997: Agulhas ring dynamics from TOPEX/POSEIDON satellite altimeter data. *Journal of Marine Research*, 5, 861-883.
- Jochum, M. and P. Malanotte-Rizzoli, 2003: On the generation of North Brazil Current rings, *Journal of Marine Research*. 61, 147-173.
- Levitus, S., J. Antonov, and T. Boyer, 2005: Warming of the world ocean, 1955-2003 - art. no. L02604. *Geophysical Research Letters*, 32, NIL\_1-NIL\_4.
- Lueck, R. G., 1990: Thermal inertia of conductivity cells: Theory. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 7, 15.
- Lyman, J. M., J. K. Willis, and G. C. Johnson, 2006: Recent cooling of the upper ocean - art. no. L18604. *Geophysical Research Letters*, 33, NIL\_6-NIL\_10.
- Melet, A., 2006 : Etude de la variabilité interannuelle de l'Atlantique Nord, Travail de Fin d'Etude, Ecole Centrale de Lyon
- Saraceno, M. and C. Provost and A.R. Piola and J. Bava and A. Gagliardini, 2004: Brazil Malvinas Frontal System as seen from 9 years of advanced very high resolution radiometer data. *Journal of Geophys. Res.*, 109, doi:10.1029/2003JC002127.
- Schott, F. A. and M. Dengler and R. Schoenefeldt, 2002: The shallow overturning circulation of the Indian Ocean. *Progress in Oceanography*, 5357-103.
- Schott, F.A. and J.P. McCreary, 2004: Shallow overturning circulations of the tropical-subtropical oceans. *Geophysical Monograph Series*, 147, 261-304.
- Shenoi, S. and D. Shankar and S.R. Shetye, 1999: On the sea surface temperature high in the Lakshadweep Sea before onset of the southwest monsoon. *Journal of Geophys. Res.*, 104, 15,703-15,712.
- Willis, Josh K.; Lyman, John M.; Johnson, Gregory C.; Gilson, John, 2007: Correction to "Recent cooling of the upper ocean". *GRL* 16, L16601, <http://dx.doi.org/10.1029/2007GL030323>

## **2 Plan de recherche et calendrier d'exécution**

### **2.1 Suivi des propriétés**

#### **2.1.1 Réalisation des analyses**

Trois analyses seront réalisées pour cette étude :

##### ***L'analyse annuelle de l'Atlantique Nord sur la période 1980-2007 :***

Cette analyse comprendra un ensemble de versions : en premier lieu l'analyse de référence, puis des analyses comprenant des jeux de données plus complets. Nous effectuerons aussi des analyses à plus basse résolution : 3 et 5 ans, destinées à pallier l'insuffisance de données. Ces analyses permettront de caractériser la variabilité des principales masses d'eau dans les 2000 premiers mètres et permettront de suivre les déplacements d'anomalies (horizontaux et verticaux). Ce jeu de données sera la base des travaux sur la circulation.

##### ***L'analyse mensuelle de l'océan global 2002-2007 :***

Nous appliquerons la même méthodologie que dans le cas de l'Atlantique Nord vis-à-vis du contrôle des données : les données de départ nous sont fournies par Coriolis, les données SOLO/ARGO et ARGO corrigées ne seront introduites que progressivement et le cas des XBT sera considéré avec la plus grande prudence. Les analyses seront mensuelles (contrairement à l'étude préliminaire où les champs mensuels résultaient de la moyenne des champs hebdomadaires temps réel), ceci doit permettre une meilleure couverture spatiale et une plus grande stabilité vis-à-vis des erreurs aléatoires.

##### ***L'analyse annuelle de l'océan global 1980-2008 :***

Le jeu de données sera fourni par Coriolis qui devrait prochainement intégrer les mesures NODC. Les analyses seront annuelles (puis sur 3 et 5 ans). La période de recouvrement avec les analyses mensuelles permettra de valider la méthode en comparant les champs annuels respectifs.

#### **2.1.2 Diagnostics**

Sur chacune de ces analyses, l'étude des champs produits s'attachera en premier lieu à évaluer l'impact des mesures ARGO, nous regarderons en particulier :

- L'évolution de la couverture au cours des périodes pré/post ARGO et la complémentarité (spectre spatial et temporel) des différentes mesures
- La robustesse des propriétés T/S des champs analysés, par rapport aux profils mesurés en particulier en ce qui concerne l'apparition de masses d'eau fictives.
- Les comparaisons de la variabilité des hauteurs dynamiques avec celle déduite de l'altimétrie
- Les comparaisons des champs SST/SSS avec les produits satellites disponibles

Nous chercherons ensuite à caractériser la variabilité observée des champs de propriétés en lien avec les forçages atmosphériques. L'analyse fine de la période 2002-2007 donnera accès aux fluctuations intra-saisonnières à inter-annuelles et l'analyse annuelle de la période 1980-2007 aux échelles interannuelles à décennales.



### **2.1.3 Inertie thermique/biais des capteurs ARGO**

Les analyses de référence prendront en compte les mesures ARGO fournies par le centre Coriolis avec un indicateur de qualité égal à 1 ou 2 avant correction, soit des capteurs supposés sans dérive notable. Les analyses suivantes seront faites à partir de données corrigées. Trois types de corrections sont identifiés :

1. Une correction de la dérive linéaire par morceau établie par les PI.
2. Une correction (si elle est possible) de l'erreur d'attribution des pressions sur les SOLO/FSI
3. Une correction pour l'inertie thermique.

Pour les deux premiers types de correction, nous nous en remettons aux propositions des PI, jugés les plus à même de mettre en œuvre les algorithmes recommandés par ARGO. Nous nous contenterons de vérifier la consistance de ces jeux de données. En ce qui concerne le problème de l'inertie thermique, nous souhaitons effectuer une étude spécifique du problème, en nous basant sur l'expérience de l'équipe du LPO en ce domaine. Expérience développée sur les capteurs équipant les bathysondes (Neil-Brown, Seabird) et déjà mise au service d'ARGO lors du développement du PROVOR (Billant et al., 2001). Le travail comprendra un aspect théorique, sur la modélisation des fonctions de transfert, un aspect métrologie, avec des mesures en bassin, et si possible en mer, et un aspect application sur un ensemble de profils réels issus de CTD et de PROVORS.

## **2.2 Etude des variations de la circulation**

### **2.2.1 Variations de la circulation océanique dans l'Atlantique Nord 1950-2007**

Les études seront basées, selon la période analysée, sur les champs de température et de salinité suivants :

- champs pentadaux Levitus WOD2004 1955-59 à 1994-98 1° 28 niveaux 0-3000m
- champs pentadaux hydrobase 1955-59 à 2000-04 1° 28 niveaux jusqu'au fond
- champs annuels ARIVO 2002-2007 (Argo)
- champs annuels ARIVO 1980-2007 (Argo, Hydrobase, LPO)
- champs pentadaux ARIVO 1980-2007 (Argo, Hydrobase, LPO)

et utiliseront les forçages de surface NCEP et ECMWF. Trois méthodologies visant à estimer la circulation à partir des observations seront mises en œuvre sur l'Atlantique Nord.

#### ***Méthodes diagnostiques (2002-2007)***

Les déplacements des flotteurs **Argo** seront utilisés comme niveau de référence pour l'intégration de l'équation du vent thermique. Les vitesses obtenues seront corrigées à partir de l'altimétrie. Nous estimerons alors la fonction de courant barotrope par analyse objective. Ces calculs permettront :

- de suivre les variations de la MOC barocline et totale en temps peu différé
- d'effectuer des comparaisons avec les résultats de modélisation Drakkar et d'assimilation Mercator
- d'analyser les différentes contributions aux variations récentes de la MOC (en relation avec Ovide)

#### ***Modèles en mode diagnostique, "robust-diagnostic" et prognostique***

Le modèle ROMS sera mis en œuvre dans les différentes configurations testées de 1/2° à 1/4° pour la comparaison :

- des différentes méthodes : CT (constant traceur), RD (robust diagnostic), et PR (prognostique court) ;
- des différents champs TS : Levitus, Hydrobase, et ARIVO sur les champs annuels et pentadaux
- des différents forçages issus des réanalyses NCEP et ECMWF (bien que ceux-ci aient très peu d'influence sur des périodes pentadales, ils pourraient en avoir un peu plus sur des périodes annuelles).

### **Méthodes inverses**

Les mêmes analyses seront effectuées en parallèle avec le modèle inverse configuré par C. Grit et qui devrait être repris par T. Reynaud en 2008. On se limitera aux climatologies en z, les champs pentadaux de Levitus et ARIVO, et les champs annuels ARIVO. On mènera ensuite les analyses de sensibilité au vent utilisé, et peut-être également aux forçages de surface suivant le temps disponible.

### **2.2.2 Variations de la circulation océanique globale de 1950 à nos jours**

Les champs T-S utilisés sont les suivants :

- champs pentadaux Levitus WOD2004 1955-59 à 1994-98 1° 28 niveaux 0-3000m
- champs annuels ARIVO 2002-2007
- champs annuels ARIVO 1980-2007
- champs pentadaux ARIVO 1980-2007

Forçages de surface NCEP et ECMWF

### **Méthodes diagnostiques (2002-2007)**

Les méthodes développées sur l'Atlantique Nord (utilisation des trajectoire flotteurs Argo et altimétrie + champs T,S) seront étendues à l'océan global. Les principaux diagnostics porteront sur :

- Les variations de transport barotrope/barocline des grands courants (bords ouest, ACC), PHT, THC
- L'estimation des parts barotrope / barocline de la variabilité "mésoséchelle"

### **Modèle ORCA 0.5 Drakkar en mode "robust diagnostic"**

La prise en main du modèle ORCA05 issu du projet Drakkar sera faite fin 2007 - début 2008. Elle débutera certainement par une analyse de sensibilité de cette configuration à différentes paramétrisations (notamment Gent et McWilliams) qui conditionnent une circulation avec ou sans tourbillons, qui sera menée sur la nouvelle machine de calcul régionale Caparmor (en collaboration avec A-M Treguier). Début 2008, l'option "robust diagnostic" sera mise en oeuvre et testée avec des champs de rappel en moyenne annuelle et en cycle saisonnier, afin de comparer les résultats et d'évaluer le temps d'ajustement de la circulation. Les simulations correspondantes seront ensuite effectuées pour toute la période des champs pentadaux de Levitus et ARIVO, puis des champs annuels ARIVO. On pourra ainsi évaluer l'impact du robust diagnostic sur la circulation et ses variations, par rapport aux simulations Drakkar identiques en terme de paramétrisations et forçages.

### **2.2.3 Diagnostics de synthèse**

On comparera les différentes méthodes sur plusieurs diagnostics classiques de la circulation générale et de son impact potentiel sur le climat. Dans un premier temps, on analysera les moyennes des transports de chaleur et de masse (cellule méridienne, gyres barotropes) en



fonction de la latitude, et leur décomposition en partie barotrope et barocline. Mais on s'attachera surtout aux variations de ces diagnostics depuis 1950 à travers les différents champs et leurs périodes respectives. On peut s'attendre dès maintenant à 2 périodes de variations : à partir des champs pentadaux, en relation avec l'AMO sur les 50 dernières ; à partir des champs annuels depuis 2002, en relation avec la NAO.

L'analyse de ces reconstructions le long de la radiale Ovide Portugal-Groenland permettra également de valider nos champs de vitesse, mais également de remettre les sections répétées tous les 2 ans dans un contexte spatio-temporel plus large.

Finalement, une fois la synthèse de ces variations effectuées, on pourra s'attacher à mieux comprendre les causes des modifications observées, en termes de variations des forçages locaux ou distants par exemple.

### **2.3 Assimilation**

Le travail sera réalisé en trois étapes principales :

Etapes 1 : Fin des expériences jumelles avec observations bruitées. Adoption d'une stratégie d'assimilation pour cycler les fenêtres: longueur de la fenêtre (1 mois, 3 mois, 6 mois seront testés sur une période d'une année), recouvrement partiel des cycles.

Etapes 2 : Début des expériences avec observations réelles. L'assimilation commencera par la période 2000-2001 ou seule la SSH sera assimilée. Les observations in-situ (flotteurs, campagne d'hydrologie) seront conservées comme observations indépendantes pour tester l'efficacité de la méthode et la cohérence des résultats vis-à-vis des expériences jumelles.

Etapes 3 : Poursuite des expériences avec observations réelles sur les années postérieures à 2001. Les données in situ du réseau Argo seront assimilées conjointement aux observations altimétriques. Les radiales hydrologiques serviront d'observations indépendantes. La cohérence des résultats vis-à-vis des expériences jumelles sera étudiée. L'apport du réseau Argo sera quantifié par une expérience jumelle ou seule l'altimétrie est assimilée.

### **Calendrier des actions**

<b>Propriétés T-S</b>		
Champs annuels Atlantique Nord 1980-2007	F. Gaillard	2008
Champs mensuels océan global 2002-2007	K. Von Schuckmann, F. Gaillard	2008 Maj 2009
Champs océan global 1980-2007	F. Gaillard	2009
Correction de l'inertie thermique	F. Gaillard	2008
<b>Circulation Océanique</b>		
Meth. Diagnostiques	C. Cabanes	Atl. N : 2008 – Tr1-2 Global : 2008 – Tr3-4
Modèles	T. Huck	Atl. N : 2008-Tr1-2 Global : 2009
Inversions	T.Huck/T. Reynaud	Atl. N : 2008
<b>Assimilation 4DVar</b>		
Expériences jumelles	B. Ferron	2008 – Tr1

Observations réelles : 2000-2001. SSH, Argo en validation	B. Ferron	2008 – Tr2-4
Obs réelles 2002-2007 : ARGO+SSH	B. Ferron	2009

### 3 Sujet de thèse ou de post-doc pour lequel un parrainage est demandé

(titre, encadrant, laboratoire, descriptif du sujet en 1 page maximum)

...

### 4 Pour les PPRs uniquement : méthode de coordination du consortium

....

### 5 Références bibliographiques de l'équipe proposante

(limitées au 5 dernières années et sur le sujet de la demande)

#### Revue de rang A

- Arzel, O., A. Colin de Verdière, and **T. Huck**, 2007: On the origin of interdecadal oscillations in a coupled ocean-atmosphere model. *Tellus A*, **59**, 367-383.
- Arzel, O., and **T. Huck**, 2003: Decadal oscillations in a simplified coupled model due to unstable interactions between zonal winds and ocean gyres. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, **37**, 245-270.
- Arzel, O., **T. Huck** and A. Colin de Verdière, 2006: The different nature of the interdecadal variability of the thermohaline circulation under mixed and flux boundary conditions. *Journal of Physical Oceanography*, **36**, 1703-1718.
- Ben Jelloul, M., and **T. Huck**, 2005: Low-frequency basin modes in a two-layer quasi-geostrophic model in the presence of a mean gyre flow. *Journal of Physical Oceanography*, **35**, 2167-2186.
- Cabanes C.**, **T. Huck**, and A. Colin de Verdière, 2006: Contribution of wind forcing and surface heating to interannual sea level variations in the Atlantic Ocean, *Journal of Physical Oceanography*, **36**, doi: 10.1175/JPO2935.1.
- Cabanes C.**, T. Lee, L.-L. Fu., 2007: Mechanisms of Interannual Variations of the Meridional Overturning Circulation of the North Atlantic Ocean, *Journal of Physical Oceanography*, in press.
- Ferron, B.** and J. Marotzke, 2003: Impact of 4D-variational assimilation of WOCE hydrography on the meridional circulation of the Indian Ocean, *Deep-Sea Res. II*, **50**, 2005-2021.
- Forget, G., **B. Ferron**, and H. Mercier, 2007: Combining ARGO profiles with a general circulation model in the North Atlantic. Part1: estimation of hydrographic and circulation anomalies from synthetic profiles over a year, *Ocean Modelling*, sous presse.
- Forget, G., **B. Ferron**, H. Mercier, 2007: Combining ARGO profiles with a general circulation model in the North Atlantic. Part 2: realistic transports and improved hydrography, between spring 2002 and spring 2003, *Ocean Modelling*, sous presse

- Gaillard, F.**, E. Autret, V.Thierry, P. Galaup, C. Coatanoan, and T. Loubrieu , 2007 : An operational system for real time and delayed mode quality control of Argo profiles. Submitted to JOAT (en revision)
- Gaillard, F.**, H. Mercier and C. Kermabon, 2005: A synthesis of POMME physical data set: one year monitoring of the upper layer. *J. Geophys. Res.*, 110, C07S07, doi:10.1029/2004JC002764
- Huck, T.**, A. Colin de Verdière, R. Schopp, P. Estrade, 2007: Variations of the Atlantic large-scale ocean circulation and heat transport since 1955 from in-situ temperature and salinity data. en préparation pour GRL.
- Rémy, E., **F. Gaillard** and J. Verron, 2002: Variational assimilation of ocean tomographic data: twin experiments in a quasi-geostrophic model. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 128, part A, 583, 1739-1758.
- Sévellec, F., M. Ben Jelloul, and **T. Huck**, 2007: Optimal surface salinity perturbation influencing the thermohaline circulation. *Journal of Physical Oceanography*, in press.

### **Newsletter MERCATOR, CORIOLIS, CLIVAR**

- Gabaldon, J., **F. Gaillard** and T. Carval, 2002: Temperature profiles contained in the Coriolis database during its two first years (2000-2001). *CLIVAR Exchanges*, 25.
- Autret, E., **F. Gaillard**, 2004 : Les analyses Coriolis et le suivi climatologique : mise en œuvre sur l'Atlantique Nord. *La lettre Mercator*, 11.
- Gaillard, F.** and E. Autret, 2005 : Coriolis real-time analysis system : validation over the North-Atlantic. *Coriolis* , newsletter 1.
- Autret, E. and **F. Gaillard**, 2006 : Use of the analysis system for monitoring the ARGO sensors drifts. *Coriolis newsletter* , 2.
- Mathias, D., G. Reverdin, **F. Gaillard** and Y. Gouriou, 2006: Correction of thermosalinigraph data. *Coriolis newsletter* , 3.
- Galaup, P., **F. Gaillard**, E. Autret, V. Thierry and C. Coatanoan, 2006: Consistency of the Argo dataset in the North-Atlantic. *Coriolis newsletter* , 3.

### **Rapports Coriolis, GMMC et MERSEA**

- Billant, A., C. Grit, **F. Gaillard**, J.-M. Pinot: Analyse des profils collectés par les PROVOR CT-F entre mars 2000 et avril 2001 et propositions d'évolution. *Rapport LPO 01-04*. 2001.
- Autret, E. and **F. Gaillard**: Diagnostics on residuals and sensor drifts estimates. *MERSEA Del. 3.6.4*. Ref : IFR-STR-003. Janvier 2006.
- Galaup, P. **F. Gaillard** and V. Thierry: Comparison of ARGO profilers corrections with calibrations. *MERSEA Del 3.6.6*. Ref: CNRS-STR-002, février 2006;
- Gaillard, F.** et E. Autret : Climatologie et statistique de l'Atlantique Nord. *Projet GMMC 2003*. Septembre 2006.
- Reverdin, G., **F. Gaillard**, S. Contardo, D. Mathias, Y. Gouriou, D. Dagherne: Qualification des mesures navire: salinité de surface. *Rapport Coriolis cordo-07-023*, 68pp. Octobre 2006
- Gaillard, F.**: Collection of new climatologies and statistics over the Atlantic, identification of key data for the physical parameters. *MESEA Del. 5.4.2 (D8.1.2)* Ref: [MERSEA-WP05-IFR-STR-0022-00A, April 2007.

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

### 1. Chercheurs et ingénieurs impliqués (avec indication du % de temps consacré au projet)

		%ETP 2008	% ETP 2009
F. Gaillard	CR-Ifremer	70	70
B. Ferron	CR-CNRS	60	60
T. Huck	CR-CNRS	100	100
C. Cabanes	Post-Doc CNES	100	
K. Von Schuckmann	Post-Doc Ifremer	100	
T. Reynaud	IR Ifremer	30	30
C. Kermabon	IE Ifremer	50	50
C. Lagadec	Technicien Ifremer	50	50
J. P. Gouillou	Ingénieur Ifremer	30	
R. Charraudeau	Ingenieur-CDD	30	
X1	Stagiaire Ifremer	50	
X2	Stagiaire Ifremer	30	
YY	Post-Doc		100
ZZ	Ingénieur-CDD		100
Total ETP		700	360+200

### 2. Equipement disponible pour la réalisation du projet

*(indiquer aussi les heures de calcul demandées à IDRIS ou à un autre centre de calcul pour la réalisation du projet).*

Le système d'analyse des champs T et S (ISAS-V4) tourne sur les PC linux de l'équipe LPO impliquée ainsi que sur le calculateur du pôle de calcul brestois.

Les travaux reposant sur ROMs et les modèles inverses sont réalisés sur les PC linux de l'équipe LPO impliquée ainsi que sur le calculateur du pôle de calcul brestois.

Le système variationnel tourne sur NEC-SX8 de l'IDRIS (960h attribuées en 2007; un montant égal ou supérieur sera demandé en 2008 et 2009). Diagnostics des analyses réalisés en local sur PC linux.

Le LPO met à disposition de ce projet un parc de 10 PC-Linux.

Le LPO met à disposition les capteurs et le petit équipement électronique pour les essais.

## DEMANDE BUDGÉTAIRE

### **Fonctionnement :**

Publications, petits logiciels, documentation : 5 k€ en 2009

### **Missions (A détailler et justifier):**

Par an :

- 3 missions internationales: 9k€
- 3 missions France (réunion GMMC): 3k€

### **Equipements**

- Maintient à niveau du parc de 10 PC linux
- Accroissement du volume de stockage (Champs globaux T, S, altimétrie, SST, Météo sur la période 1950-2008)
- Clé matlab Simulink pour étude des fonctions de transfert du capteur de conductivité

Total : 8 k€ en 2008

### **Total général des crédits demandés (HT)**

	2008	2009	Total
Fonctionnement		5 k€	5 k€
Missions	12 k€	12 k€	24 k€
Equipement	8 k€		6 k€
Total	20 k€	17 k€	37 k€

### **Autres financements attribués ou demandés qui concourent à la réalisation des mêmes objectifs que la proposition**

- LEFE-ASSIM (B. Ferron) 2007: 3k€, 2008: projet terminé pas de demande complémentaire
- LEFE-EVE/IDAO : 2006-2007 : REConstitution de la circulation océanique grande échelle dans l'Atlantique. 2008 : projet terminé pas de demande complémentaire
- Le projet MERSEA finance en partie le CDD de R. Charraudeau (Projet terminé le 30/03/2008)
- TOCAD présente une légère intersection avec le projet CNES/TOSCA GLOSCAL de calval SMOS coordonné par F. Gaillard (2006-2009) qui en utilise les champs de SST et SSS.

### **Prévisions 2008-2009 :**

- Une demande complémentaire LEFE sera incluse dans le dossier OVIDE pour l'exploitation scientifique des assimilations.
- Une demande ANR sera déposée en 2008 sur l'analyse de la variabilité, elle comprendra le financement du Post-Doc non identifié en 2009