

AO INSU 2012

Section « Océan-Atmosphère »

Dossier scientifique

Nota :

*Ce dossier ne devra pas excéder **15 pages** (a priori plus court dans le cas d'une Lettre d'Intention) et sera à télécharger via le formulaire informatique destiné à synthétiser le projet : <http://appeldoffres2012.insu.cnrs.fr>*

Nom du porteur du projet : V. Thierry

Titre du projet : OVIDE-FOX : Projet **OVIDE** : Déploiements de Flotteur Argo équipés de capteurs d'Oxygène et d'XBT en Atlantique Nord

Résumé : Ce projet GMMC s'inscrit dans le cadre du projet OVIDE (LEFE-IDAO). Il a pour objectif de compléter le réseau d'observations sur lequel s'appuie le projet pour atteindre ses objectifs. Il s'agit de déployer 13 flotteurs profileurs Argo au cours de la campagne CATARINA qui aura lieu en juin-juillet 2012 le long de la radiale OVIDE et de valider ces données. Certains (10) des flotteurs profileurs seront équipés de capteurs d'oxygène (financement déjà acquis). Le projet a également pour objectif de faire déployer 192 sondes XBT par le Nuka Arctica et le Reykjafoss, entre les îles Shetland et le cap Farewell et entre Terre-Neuve et l'Irlande. Les données sont destinées à être utilisées dans des études sur les propriétés des masses d'eaux dans le gyre subpolaire, à être utilisées pour fournir des indicateurs de l'état de l'océan dans le cadre du groupe de travail sur l'hydrographie (WGOH) mené dans le cadre de ICES (International Council for the Exploration of the Sea), à être utilisées pour l'estimation des courants profonds (atlas ANDRO). L'ensemble des données de profil recueillies dans le cadre du projet OVIDE sont transmises en temps réel à Coriolis.

Programme de travail : (1) Déploiement de 13 flotteurs équipés de capteurs d'oxygène en juin-juillet 2012 au cours de la campagne CATARINA (2) Contrôle qualité temps différé réalisé au moins 1 an et demi après la mise à l'eau des flotteurs (3) Réalisation et validation de quatre sections XBTs à HR (ou quasi-HR) tant sur le Reykjafoss (AX02) que sur le Nuka Arctica (AX01) (4) Analyses scientifiques des données Argo et XBTs après vérification de leur qualité

Retombées scientifiques : Surveillance de la variabilité du gyre subpolaire de l'Atlantique Nord et compréhension des mécanismes de variabilité ; Maintien d'un jeu de données in situ en Atlantique Nord (Argo, XBT) ; Validation temps différé de ces données.

Intérêt scientifique et état de l'art

(Place du projet d'équipement dans le contexte régional, national, européen, international, spécifier la contribution éventuelle à un programme international)

Cette demande fait partie intégrante du projet OVIDE qui a obtenu un financement de 3 ans sur la période 2011-2013 par le programme LEFE. Par conséquent, nous ne reprendrons pas

ici toute la justification scientifique du projet. Par ailleurs, une demande similaire a été faite en 2009 pour le déploiement de flotteurs profileurs équipés de capteurs d'oxygène en 2010. Nous avons donc repris cette précédente demande en la mettant à jour. Les motivations scientifiques n'ayant pas fortement changées, les mises à jour concernent essentiellement les résultats scientifiques (Argo, XBT) et le travail sur le contrôle qualité des données d'oxygène.

1. Le projet OVIDE

Le projet OVIDE contribue depuis 2002 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 transports des principaux courants ;
- les eaux modales subpolaires, afin de comprendre la variabilité de leur formation et leur association aux transferts de chaleur océan-atmosphère ;

Le projet a réalisé en juin-juillet 2002, 2004, 2006, 2008 et 2010 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 entre OVIDE 2002 et l'occupation de la radiale en 1997 par le NOCS. Les résultats des radiales 2004 et 2006 confirment une importante variabilité, alors qu'une étude menée à partir du modèle CLIPPER n'en explique qu'une partie.

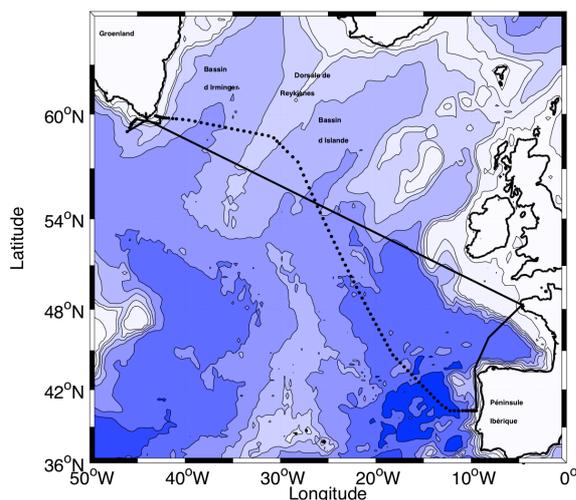


Figure 1 : Position des stations de la campagne OVIDE entre le Groenland et le Portugal.

Le projet s'appuie aussi sur les observations de dénivellation de la surface de la mer par altimétrie, sur le réseau de profileurs dérivants ARGO et sur les bases de données de forçages issues des modèles des centres météorologiques. Par ailleurs, des observations faites à partir de deux lignes de navigation par navires de commerce (SURATLANTE, 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). L'ensemble de ces données confirme les tendances précédemment observées de réchauffement et de salinification des eaux d'origine subtropicale (au sens large – les eaux modales subpolaires deviennent moins denses). La tendance au refroidissement et désalinification des eaux originaires des mers du Groenland et de Norvège semble s'être inversée en 2006.

Un programme d'analyse des données incluant la mise en oeuvre de modèles inverses et l'assimilation de données dans des modèles aux équations primitives (NEMO 1/3°) est en cours. Les simulations numériques diagnostiques (assimilation) ou pronostiques (DRAKKAR) sont essentielles pour la détermination des échelles de temps de la variabilité observée. 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 ont été mouillées en juin 2004 sur le plateau et la pente groenlandaise pour étudier la variabilité du transport du courant est Groenlandais et du courant côtier associé. Elles ont été relevées avec succès en 2006 et analysées depuis.

2. Les flotteurs profileurs Argo

Historique des déploiements et objet de la demande

Depuis 2002, 90 flotteurs ont été déployés en Atlantique Nord dans le cadre du projet OVIDE. Le tableau ci-dessous précise le nombre de flotteurs déployés par année et le contexte des déploiements. L'objet de la demande est d'obtenir 13 flotteurs profileurs Argo pour les déployer en Atlantique Nord au cours de la campagne espagnole CATARINA qui réalisera en juin-juillet 2012 la radiale OVIDE.

Une partie des flotteurs (10/13) seront équipés de capteurs d'oxygène (optode Aanderaa 4330) calibrés. Les capteurs ont été achetés via le projet CREST ARGO (Centre Régional d'Expertise Scientifique et Technique ARGO) qui est un projet financé dans le cadre du CPER Bretagne 2008-2013.

Campagne	Année	Nbre	Remarques
OVIDE	2002	18	Déploiements d'opportunités Flotteurs Gyroscope
OVIDE	2004	10	Déploiements d'opportunités Flotteurs Gyroscope
Campagne anglaise sur le DISCOVERY	2005	2	Déploiements des 2 premiers prototypes de PROVOR-CTS3
OVIDE	2006	16	PROVOR-CTS3 fournis via l'AO 2005 du GMMC
OVIDE	2008	16	PROVOR fournis via l'AO 2005 du GMMC. 2 de ces flotteurs sont équipés de capteurs d'oxygène
OVIDE	2010	15	PROVOR fournis via l'AO 2005 du GMMC. Tous les flotteurs sont équipés de capteurs d'oxygène
Campagnes allemandes et anglaise	2011	13	Déploiements d'opportunités Tous les flotteurs sont équipés de capteurs d'oxygène

Intérêt scientifique et résultats obtenus grâce aux flotteurs précédemment déployés

L'intérêt scientifique des données Argo n'est plus à démontrer. En Atlantique Nord, les données Argo ont été utilisées pour établir un bilan de chaleur dans la couche de mélange du bassin d'Islande (de Boisséson et al 2010). L'étude montre qu'outre les flux air-mer, l'advection et le mélange turbulent à la base de la couche de mélange sont des processus importants dans l'établissement des propriétés de la couche mélange. Dans cette région, l'analyse conjointe des données Argo et des données hydrographiques de campagnes à la mer a permis la mise en évidence du réchauffement et de la salinisation des eaux modales situées sur la dorsale de Reykjanes depuis le milieu des années 90 (Thierry et al, 2008). Enfin, la reprise de la convection profonde dans le gyre subpolaire de l'Atlantique Nord lors de l'hiver 2007-2008 (Våge et al, 2009) a été observée et quantifiée grâce aux données Argo. Les données Argo complètent les données des campagnes OVIDE puisqu'elles permettent de recueillir des informations sur les conditions hydrologiques de l'Atlantique Nord les années impaires (quand la section n'est pas réalisée) et à toutes les saisons (la campagne OVIDE n'est réalisée qu'en été). Ces données sont donc utilisées pour reconstruire (Forget et al, 2008a,b) ou valider (Ferron, 2011) l'hydrologie et la circulation océanique en Atlantique Nord par assimilation variationnelle.

Finalement les données Argo sont utilisées par d'autres chercheurs du Laboratoire de Physique des Océans pour estimer le champ de vitesse en profondeur à partir des déplacements des flotteurs (Atlas ANDRO de Michel Ollitrault) et reconstruire les champs T et S en Atlantique Nord (projet ARIVO). Les champs ainsi reconstruits ont été utilisés pour analyser les structures de variabilité grande échelle à échelle saisonnière et interannuelle (von Schuckmann et al. 2009). Ils sont également utilisés chaque année dans le cadre du groupe de travail en hydrographie océanique (WGOH) du Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM/ICES) pour décrire l'état de l'océan (Hughes et al, 2010). L'analyse des résidus d'analyse (différence entre champ reconstruit et donnée initiale) permet également de contrôler la qualité des données (Gaillard et al 2009).

Oxygène

En dehors de la couche euphotique, la teneur en oxygène dans l'océan est un équilibre entre apport d'oxygène par ventilation, transport d'oxygène par la circulation océanique et consommation par respiration. L'oxygène contient donc une information sur l'âge des masses d'eau car il n'y a aucune source d'oxygène dans l'océan intérieur. C'est pourquoi l'analyse de la distribution d'oxygène dans l'océan est utilisée depuis des années pour déduire les schémas de circulation et les taux de mélange. Les gradients horizontaux d'oxygène donnent en effet des indications sur les déplacements de masses d'eau, les concentrations dépendant principalement des processus biogéochimiques. C'est également un paramètre important pour l'étude de la convection en Atlantique Nord et la formation des eaux intermédiaires (eaux modales) et profondes (Körtzinger et al. 2004, 2005). Dans des régions faiblement stratifiées comme la mer du Labrador par exemple, l'oxygène permet de déterminer précisément la profondeur de la couche de mélange. Par ailleurs, des simulations numériques indiquent que la teneur en oxygène de l'océan devrait répondre de manière très sensible au réchauffement global de l'océan. L'amplitude de la décroissance de la teneur en oxygène de l'océan devrait être 3 ou 4 fois supérieure à celle prévue sur la base de la solubilité seule (Bopp et al., 2002 ; Plattner et al., 2002 ; Manning and Keeling, 2006). En effet, dans un contexte de réchauffement global, le dégazage d'oxygène dû à un effet

combiné de la physique et de la biologie (Grüber et al 2001) s'ajoute au dégazage dû à l'augmentation de température. En conséquence, on s'attend à une décroissance significative de la teneur en oxygène par l'océan en réponse au réchauffement global. Vu la précision à laquelle les données d'oxygène sont mesurées, le rapport signal sur bruit est favorable et fait de l'oxygène un excellent candidat pour être un indicateur du changement climatique dans l'océan. C'est pourquoi, la mise en place d'un réseau mondial de l'oxygène dissous dans l'océan apparaît comme une nécessité par la communauté internationale (Claustre et al 2010, Gruber et al 2007).

C'est dans ce contexte que nous souhaitons équiper les flotteurs profileurs déployés dans le cadre du projet OVIDE de capteurs d'oxygène.

D'une part, l'oxygène est un paramètre important du projet OVIDE pour comprendre les processus de formation et de ventilation des eaux intermédiaires et profondes, surveiller et comprendre la variabilité des propriétés des masses d'eaux (et notamment des eaux modales ; Johnson and Grüber, 2007) et de la circulation océanique, pour définir des indicateurs de la variabilité climatique de l'océan. Une première étude menée à partir des données d'oxygène mesurées lors des campagnes OVIDE et les données de l'atlas WOA2009 a permis d'estimer les flux d'oxygène à l'interface air-mer entre la section OVIDE et les seuils Islande-Ecosse et Groenland-Islande. Le flux a été partitionné en une composante biologique, une composante physique due aux effets de solubilité et une composante physique due au mélange et à la dynamique de la couche de mélange. L'étude révèle l'importance de ce dernier terme (Maze et al 2011).

D'autre part, cette activité s'inscrit dans une dynamique régionale (projet CPER Argo financé dans le cadre du Contrat Plan Etat Région Bretagne), nationale (SO Argo France, PPR PABIM2), européenne (Euro-Argo) et internationale (Argo) visant à démontrer la faisabilité et l'intérêt d'équiper des flotteurs Argo de capteurs d'oxygène en particulier et plus généralement de capteurs biogéochimiques.

Contrôle qualité en temps différé et validation des données

Depuis que les premiers déploiements ont été effectués, l'équipe proposante a acquis une grande connaissance sur le fonctionnement des flotteurs profileurs (et en particulier des flotteurs PROVOR), sur les problèmes connus des capteurs et des plateformes ainsi que sur les méthodes de correction des données de pression ou de salinité (Wong et al. 2003, Boehme et Send, 2005, Owens et Wong 2009). Nous avons aussi participé activement aux différentes réunions Argo sur le QC temps différé. Enfin, à l'occasion du contrôle des données des flotteurs déployés lors des campagnes OVIDE et dans le cadre du projet GYROSCOPE, nous avons eu de nombreux échanges avec le centre de données Coriolis :

- via la fourniture de programmes
- pour signaler des erreurs ou des anomalies
- pour fournir des données corrigées en temps différé

Des rapports résumant le contrôle qualité effectué sur les flotteurs Argo déployés dans le cadre du projet Ovide sont mis en ligne sur le site web suivant :

http://www.ifremer.fr/lpo/ovide/data/argo_profiling_floats.htm

Tous les flotteurs (sauf 1) déployés avant 2010 ont été contrôlés. Les flotteurs de 2010 seront contrôlés dans l'année ainsi que les flotteurs plus anciens qui étaient actifs au moment du dernier contrôle.

Depuis 2008, nous avons travaillé activement à l'établissement d'une procédure de contrôle qualité des données d'oxygène. Ce travail a été effectué dans le cadre des PPR PABIM et PABIM2. En collaboration avec Denis Gilbert (MPO, Canada) et Taiyo Kobayashi (JAMSTEC, Japon) et la communauté Argo, nous avons d'abord établi un protocole de gestion des données d'oxygène (Thierry et al 2010) commun à tous les centres de données Argo (DAC). Ce protocole a été validé et accepté par Argo international et assure une cohérence de la gestion de ces données par chaque DAC. En mai 2011, nous avons organisé à Brest une réunion internationale sur cette thématique. L'objectif de la réunion était de discuter comment les personnes utilisant ces données ont identifié les erreurs dans leurs données d'oxygène et les erreurs inhérentes à chaque type de capteur et comment elles ont corrigé ces erreurs. Le meeting a permis de définir la procédure de calibration avant déploiement, de rappeler la nécessité de faire des mesures de référence (prélèvements Winkler) lors du déploiement des flotteurs et de décrire les différentes procédures pour corriger les données a posteriori (<http://wwz.ifremer.fr/lpo/SO-Argo-France/Argo-oxygen-meeting>).

Un profil d'oxygène de référence a été acquis pour chacun des flotteurs déployés dans le cadre du projet OVIDE. Celui-ci sera utilisé pour corriger les données d'oxygène des flotteurs déjà à l'eau. Les figures 2 à 5 illustrent comment ces données de référence sont utilisées pour corriger les données d'un flotteur déployé en Mer d'Irmingier en 2010. Dans ce cas, la correction est constante (24 $\mu\text{mol/kg}$) sur la verticale car la température et la concentration en oxygène varient peu entre 0 et 2000 m de profondeur.

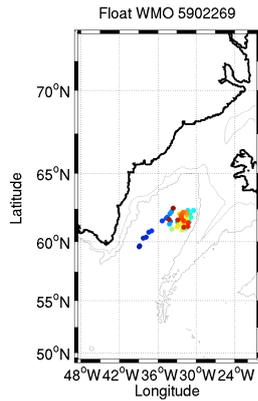


Figure 2 : Position du flotteur 5902269 déployé en Mer d'Irminger en Juin-Juillet 2010 au cours de la campagne OVIDE 2010.

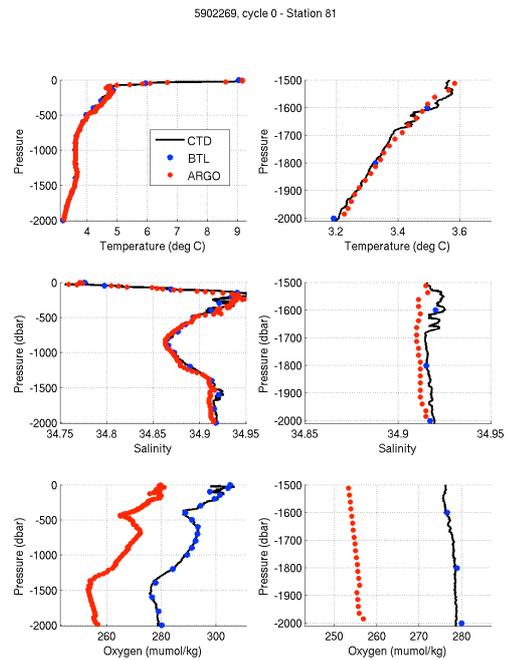


Figure 3 : Comparaison du premier profil ascendant du flotteur (3 jours après déploiement) au profil calibré CTD02 réalisé au moment du déploiement. (Haut) Température en °C. (Milieu) Salinité. (Bas) Oxygène en $\mu\text{mol/kg}$. Le flotteur sous-estime la concentration en oxygène. Le biais est estimé à 24 $\mu\text{mol/kg}$.

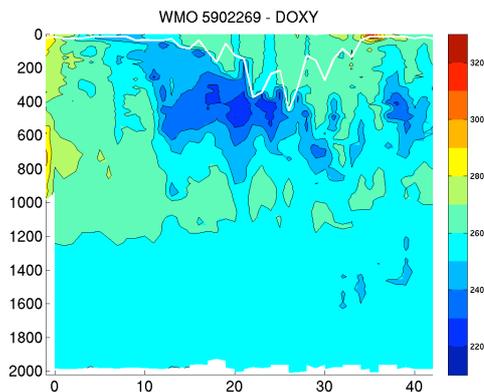


Figure 4 : Section d'oxygène (non corrigée) le long de la trajectoire du flotteur. La courbe blanche représente la profondeur de la couche de mélange.

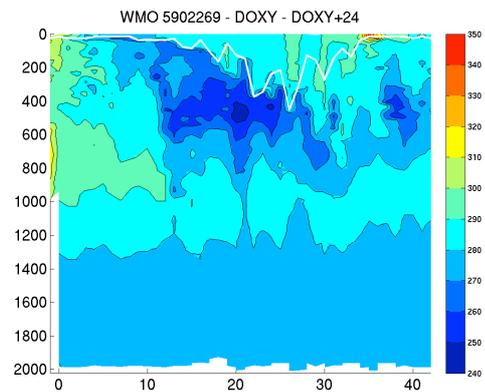


Figure 5 : Section d'oxygène corrigée de 24 $\mu\text{mol/kg}$ le long de la trajectoire du flotteur. La courbe blanche représente la profondeur de la couche de mélange.

A la différence des années précédentes, une calibration multipoint (en température et oxygène) sera réalisée sur les capteurs d'oxygène qui équiperont les flotteurs profileurs

demandés dans ce projet. Nous disposons de 15 capteurs d'oxygène qui seront calibrés en septembre 2011 dans le seul laboratoire (CSIRO, Australie) proposant cette prestation. Parmi ces 15 capteurs, 5 sont mis dans le pot commun du GMMC pour d'autres PI intéressés par la mesure d'oxygène.

Marvin Matout (contrat d'apprentissage pour une licence pro) a travaillé pendant 1 an sur la qualification de l'optode Aanderaa. De nombreux tests ont été effectués au premier semestre 2011 pour évaluer la précision des mesures, comprendre la réponse dynamique du capteur d'oxygène et valider le protocole de recette des flotteurs équipés de capteurs d'oxygène au bassin d'essai d'Ifremer (voir rapports de M. Matout). Les résultats du stage ont été présentés au meeting argo-oxygène de Brest. Nous avons par ailleurs montré qu'il n'était pas nécessaire de revoir le protocole d'acquisition des données par le flotteur PROVOR.

Mathieu Le Steun (CDD CNRS) a travaillé à l'adaptation de l'outil d'analyse objective ISAS (Gaillard et al, 2009) pour interpoler les données d'oxygène sur une grille régulière et détecter, par comparaison aux données voisines et à une climatologie de référence, les données suspectes. Ce travail doit-être finalisé pour rendre l'outil pleinement opérationnel.

L'ensemble de ces travaux sont menés en collaboration avec Denis Gilbert de l'Institut Maurice Lamontagne (MPO, Canada) qui est un des co-auteur du livre blanc sur le développement d'un réseau Argo-O2 (Grüber et al, 2007).

Contribution au réseau Argo

Les flotteurs seront déployés le long de la section OVIDE au cours de la campagne CATARINA en juin-juillet 2012 (<http://catarina.iim.csic.es/?q=en/node/12>). La programmation des flotteurs suivra les recommandations Argo : profondeur de parking à 1000m, profils T/S entre 0-2000m, cycle de 10 jours. La position et la trajectoire des flotteurs déployés en 2004, 2006, 2008, 2010 et 2011 sont indiqués sur la **Figure 6**.

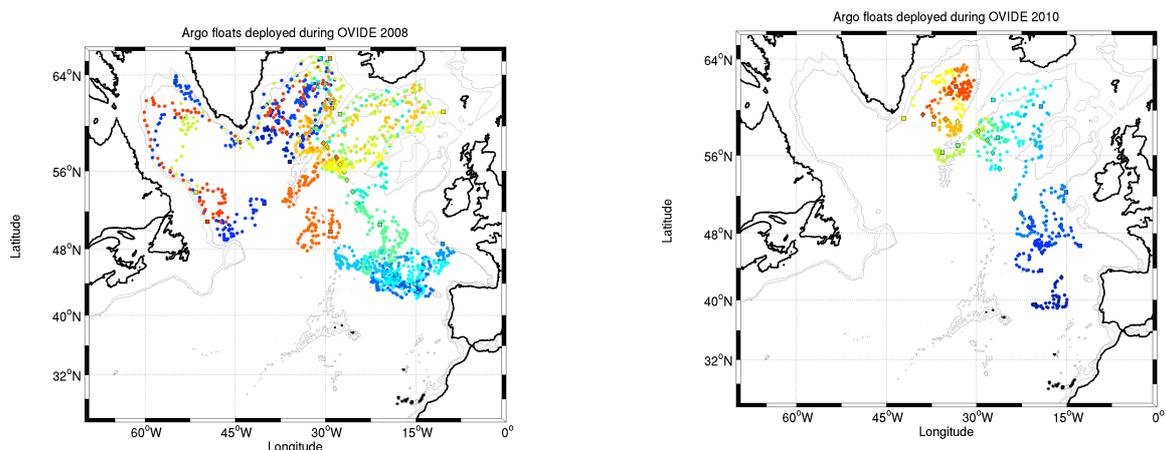
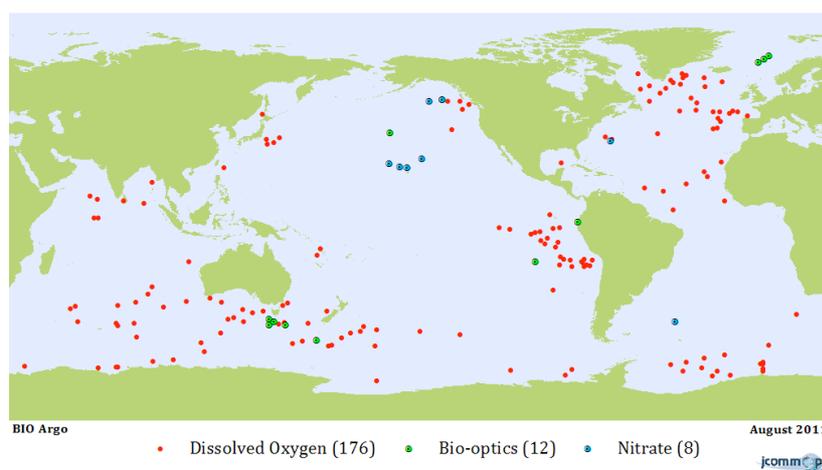
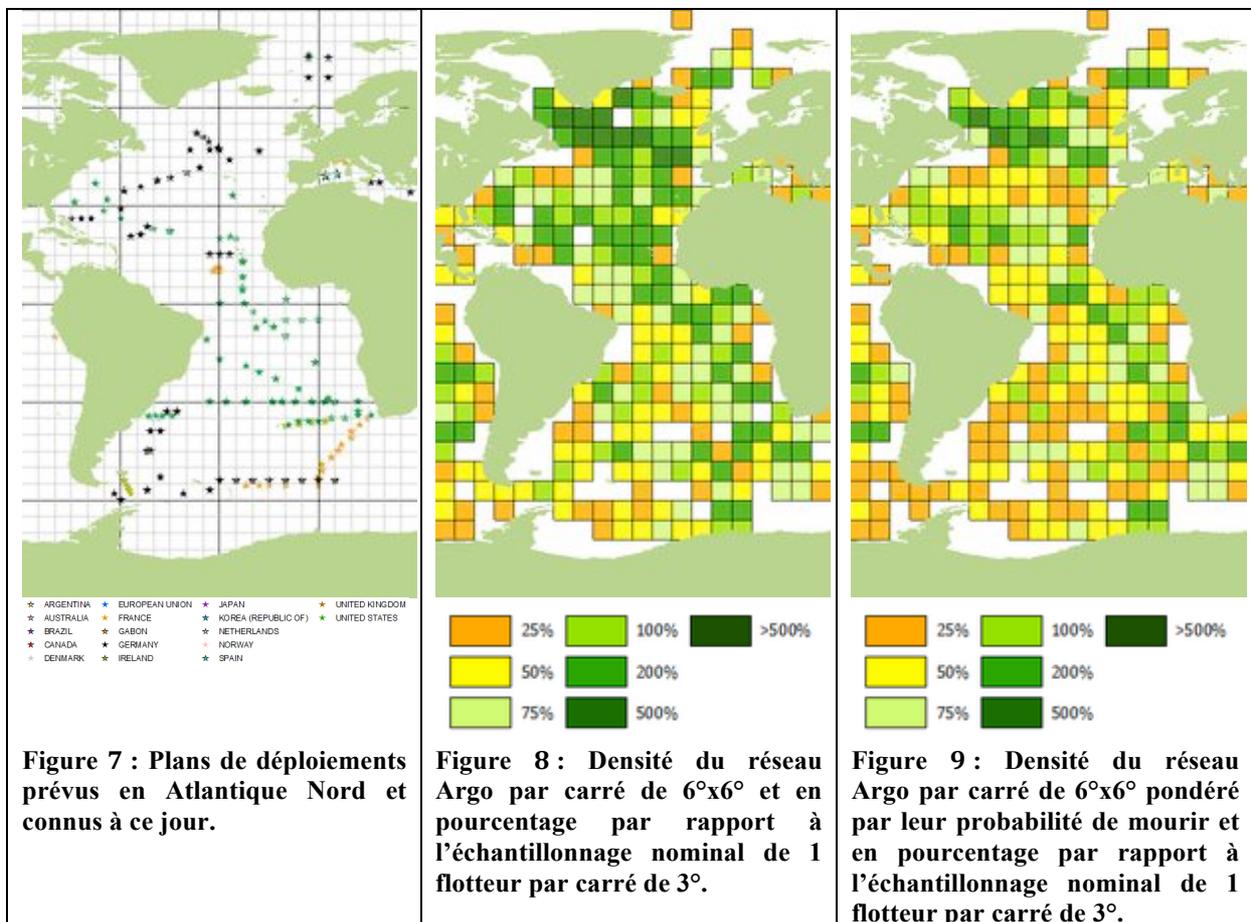


Figure 6 : Trajectoires des flotteurs Argo déployés au cours des campagnes OVIDE 2008 et OVIDE 2010.

L'Atlantique Nord est une zone déjà fortement échantillonnée (**Figure 8**). Nous pensons

néanmoins qu'il est important de continuer les déploiements dans cette région dynamiquement importante et de surveiller la variabilité à échelle de temps interannuelle à décennale (voir justification du projet OVIDE). Par ailleurs, même si l'échantillonnage de la région est supérieur à l'échantillonnage nominal Argo, l'information fournie ne sera pas redondante à cause de la complexité dynamique de la région (zones frontales, courants de bords, etc). Par ailleurs, la densité pondérée par la probabilité de mourir indique que l'an prochain l'échantillonnage au nord de l'Atlantique Nord passe en dessous de l'échantillonnage nominal de 1 flotteur par carré de 3° (Figure 9).

Concernant l'oxygène, nous souhaitons bénéficier de l'échantillonnage relativement important de la zone pour compléter les déploiements et avoir une bonne couverture spatiale et temporelle. Cela facilitera les analyses scientifiques et la démonstration de l'utilité de ces données ainsi que le QC des données par comparaison avec les flotteurs voisins.



3. Observations par sondes XBT des profils de température

Contexte et objet de la demande

Dans le cadre de la contribution aux réseaux d'observations océaniques, les sondes XBTs continuent à être utilisées, mais dans un mode qui a été modifié depuis le colloque OceanObs de 2010. Il s'agit de passer à un échantillonnage plus dense spatialement (résolvant les plus gros tourbillons) le long de sections traversant tout l'océan, et réalisées sur une base saisonnière. Nous avons adopté ce mode d'échantillonnage partiel sur la ligne AX02 (Islande à Terre-Neuve) de 1993 à 2000, et plus récemment depuis mars 2011, ainsi que sur la ligne AX01 (sud Groenland au nord de l'Écosse), d'abord en mer d'Irminger depuis le printemps 2008, puis le long de toutes les sections depuis mars 2011. Ces essais sont encore couronnés d'un succès partiel, du fait en particulier de pertes importantes de données sur AX02 (et d'une résolution spatiale un peu inférieure aux recommandations), et d'autre part, de résolution un peu trop faible de nuit sur AX01. Ce dernier point est en voie d'être corrigé par l'installation qui vient d'être faite d'un lanceur 'automatique' de la NOAA/AOML sur cette ligne (première section devant être réalisée du 24 au 28 septembre).

L'objet de la demande est d'obtenir 96 XBT en 2012 et 96 XBT en 2013 pour les déployer sur la ligne AX02 (Islande à Terre-Neuve) et sur la ligne AX01 (sud Groenland au nord de l'Écosse). Quelques XBT seront déployés au cours de la campagne CATARINA en 2012 pour faire des comparaisons avec les données CTD.

Intérêt scientifique et résultats obtenus précédemment

Les données des sondes XBT devraient pouvoir être utilisées (conjointement aux données du TSG, par exemple) pour essayer d'identifier la signature en subsurface (en T) des fronts de surface et essayer d'en établir des signatures saisonnières (Després et al., 2011a, b). On a ainsi noté une atténuation des fronts T de surface par rapport aux fronts de salinité (en particulier en été), mais avec une signature de fronts géostrophiques en T qui reste marquée en subsurface (voir aussi le rapport de stage de L3 d'Andréa Massad, qui a examiné les deux sections de mars 2011 et une section de juin 2011). Ces données devraient aussi donner une idée de la variabilité des épaisseurs de couche mélangée (voir par exemple les sections de mars, figure ci-dessous, au cours d'un des rares événements de mélange de l'hiver dernier ; mais, on peut aussi regarder au printemps la stratification de subsurface de T, pour se faire une idée de la formation d'eaux modales dans ces couches, selon la méthode de Thierry et al. (2009). Il y a, en particulier sur la ride de Reykjanes, une couverture en données de sondes XBTs assez bonne depuis 1985, qui devrait apporter un éclairage complémentaire sur la variabilité interannuelle des épaisseurs de couche mélangées dans cette région.

Contrôle qualité temps différé des données

Les informations issues des profils de sondes XBTs sont confrontées bien évidemment à des difficultés concernant la qualification des données (en particulier, dans les conditions difficiles dans lesquelles les données sont recueillies), mais aussi à des biais assez systématiques (tant pour T qu'en estimation d'immersion), qui viennent des configurations

utilisées. On a tendance à utiliser des comparaisons effectuées lors de campagnes océanographiques pour préciser ces biais (Reverdin et al., 2009), mais aussi des approches statistiques de comparaison un peu plus globales (Hamon et al., 2011). Les deux approches mettent en évidence des biais tant en estimation d'immersion qu'en T, qui semblent dépendre (en tout cas pour le premier) de la température (ou viscosité) des eaux traversées par la sonde lors de sa descente (mais aussi, peut-être des conditions de lancer et de chute dans l'eau et des états de mer...). Lors des dernières campagnes Ovide, quelques sondes ont été lancées au voisinage 'temporel' de stations CTD, qui permettraient de commenter la partie moins documentée récemment des eaux froides (sauf peut-être par les collègues japonais Kizu et al. (2011)). Nous souhaitons poursuivre ces comparaisons ponctuelles sur la campagne Catarina de 2012 et analyser de façon critique les résultats des campagnes précédentes (ainsi que dans le pôle chaud des campagnes PIRATA dans le Golfe de Guinée).

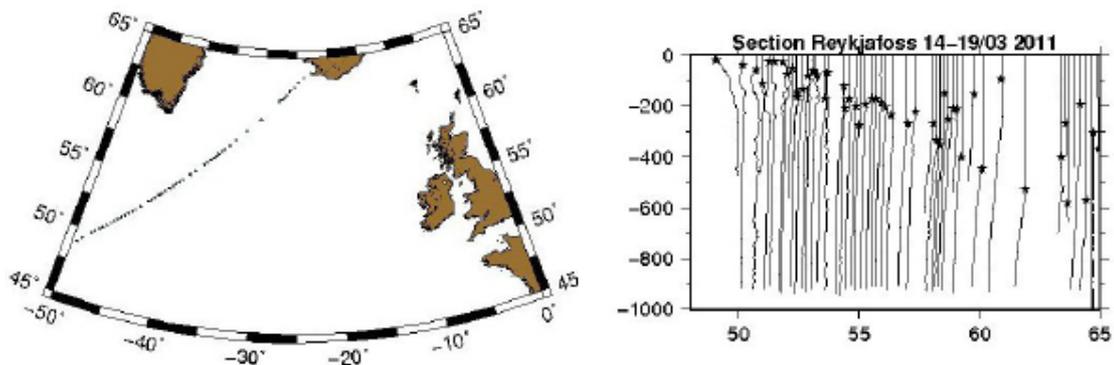


Figure 11: Section XBT de mars sur le Reykjafoss (AX02). Les portions 'correctes' de profils XBTs sont présentées à droite avec les estimations 'instantanées de HML (niveau où T change d'au moins 0.1°C par rapport à la surface) (*), avec positions des tirs à gauche (sur le flanc ouest de la ride de Reykjanes). La portion mal échantillonnée entre 63°N et 60°N correspond au passage d'une forte tempête (et deux jours de navigation du bateau)

Références :

- Böhme L. and U. Send, 2005 : Objective analysis of hydrographic data for referencing profiling float salinities in highly variable environments. *Deep-Sea Res. II*, 52, 651-664.
- de Boissésou E., V. Thierry, H. Mercier and G. Caniaux, 2010: Mixed layer heat budget in the Iceland Basin from Argo. *J. Geophys. Res. Oceans*, doi:10.1029/2010JC006283
- Bopp, L., C. LeQuéré, M. Heimann, A. C. Manning, and P. Monfray (2002) Climate-induced oceanic oxygen fluxes: Implications for the contemporary carbon budget, *Global Biogeochem. Cycles*, 16, 1022, doi:10.1029/2001GB001445.
- Claustre, H. and co-authors, 2010: Bio-optical Profiling Floats as New Observational Tools for Biogeochemical and Ecosystem Studies. *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society* J. Hall, D. E. Harrison, and D. Stammer, Eds., ESA Publication.
- Després, A., G. Reverdin, et F. D'Ovidio, 2011. Mechanisms and spatial variability of meso scale frontogenesis in the northwestern North Atlantic Subpolar gyre. *Ocean Modelling*, 39, 97-113, doi:10.1016/j.ocemod.2010.12.005.
- Després, A., G. Reverdin, et F. D'Ovidio, 2011. Summer-time modification of surface fronts in the North Atlantic subpolar gyre. *J. Geophys. Res.*, in Press.

- Ferron, B., 2011: A 4D variational approach applied to an eddy permitting North Atlantic configuration: synthetic and real data assimilation of altimeter observations. *Ocean Modelling* 39 (2011) 370–385.
- Forget, G., H. Mercier, B. Ferron, 2008: Combining Argo Profiles with a general circulation model in the North Atlantic. Part 1: Realistic transports and improved hydrography, between spring 2002 and spring 2003. *Ocean Modelling*, 20 (1), 17-34.
- Forget, G., H. Mercier, B. Ferron, 2008: Combining Argo Profiles with a general circulation model in the North Atlantic. Part 2: Estimation of hydrographic and circulation anomalies from synthetic profiles, over a year. *Ocean Modelling*, 20 (1), 1-16.
- Grüber, N., E. Gloor, S.-M. Fan, and J. L. Sarmiento (2001), Air-sea fluxes of oxygen estimated from bulk data: Implications for the marine and atmospheric oxygen cycles, *Global Biogeochem. Cycles*, 15, 783–804.
- Grüber N., S. C. Doney, S. R. Emerson, D. Gilbert, T. Kobayashi, A. Körtzinger, G. C. Johnson, K. S. Johnson, S. C. Riser, and O. Ulloa, 2007: The Argo-Oxygen program – A white paper.
- Gaillard, F., E. Autret, V. Thierry, P. Galaup, C. Coatanoan, and T. Loubrieu, 2009: Quality Control of Large Argo Datasets. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 26, 337-351.
- Hamon, M., G. Reverdin and P.Y. le Traon. Empirical correction on XBT fall rate and its impact on heat content analysis. Submitted to *J. Geophys. Res.*
- Maze G., V. Thierry, H. Mercier, F. Perez, P. Morin, L. Memery, 2011 : Mass, nutrients and oxygen budgets for the North Eastern Atlantic Ocean. In preparaton.
- Johnson, G. C. and N. Gruber (2007). Decadal water mass variations along 20°W in the northeastern Atlantic Ocean. *Prog. Oceanogr.*, 73, 277-295, doi:10.1016/j.pocean.2006.03.022.
- Körtzinger, A., J. Schimanski, and U. Send (2005). High-quality oxygen measurements from profiling floats: A promising new technique, *J. Atm. Ocean. Techn.* 22, 302-308.
- Körtzinger, A., J. Schimanski, U. Send, and D.W.R. Wallace (2004). The ocean takes a deep breath. *Science* 306: 1337.
- Lherminier P., H. Mercier, C. Gourcuff, M. Alvarez, S. Bacon, C. Kermabon, 2007: Transports across the 2002 Greenland-Portugal OVIDE section and comparison with 1997. *J. Geophys. Res.*, 112(C7), C07003, doi:10.1029/2006JC003716.
- Manning, A. C., and R. F. Keeling (2006), Global oceanic and land biotic carbon sinks from the Scripps atmospheric oxygen flask sampling network, *Tellus, Ser. B.*, 58, 95–116.
- Owens, W.B., A. Wong, 2009: An improved calibration method for the drift of the conductivity sensor on autonomous CTD profiling floats by θ -S climatology. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 56 (3), 450-457.
- Reverdin, G., F. Marin, B. Bourlès, and P. L'Herminier, 2009, XBT temperature errors during French research cruises (1999-2008). *J. Atmos. Oceanogr. Tech.*, 2009 early online release, posted May 2009 DOI: 10.1175/2009JTECHO655.1.
- Reverdin, G., 2010. North Atlantic subpolar gyre surface variability (1895-2009). *J. Climate*, 17, 4571-4584. Doi:10.1175/2010JCLI3493.1
- Thierry, V., E. de Boissésou and H. Mercier, 2008: Interannual variability of the Subpolar Mode Water properties over the Reykjanes Ridge during 1990-2006. *Journal of Geophysical Research*, 113, C04016, doi:10.1029/2007JC004443.
- Vage, K., R. S. Pickart, V. Thierry, G. Reverdin, C. M. Lee, B. Petrie, T. A. Agnew, A. Wong, and M. H. Ribergaard, 2009: Surprising return of deep convection to the subpolar North Atlantic Ocean in winter 2007-2008. *Nature Geoscience*, 2, 67-72.

- Von Schuckmann, K., F. Gaillard, and P. Y. Le Traon, 2009: Global hydrographic variability patterns during 2003-2008. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 114, 17.
- Wong A. P. S., G. C. Johnson and W. B. Owens, 2003: Delayed-mode calibration of autonomous CTD profiling float salinity data by θ/S climatology. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 20, 308-318.

Plan de recherche et calendrier de réalisation

- Déploiement de 13 flotteurs équipés de capteurs d'oxygène en juin-juillet 2012 au cours de la campagne CATARINA (<http://catarina.iim.csic.es/?q=en/node/12>)
- Contrôle qualité temps différé réalisé au moins 1 an et demi après la mise à l'eau des flotteurs
- Réalisation et validation de quatre sections XBTs à HR (ou quasi-HR) tant sur le Reykjafoss (AX02) que sur le Nuka Arctica (AX01) (sur le Nuka Arctica, sous le contrôle de l'équipage, et en s'attendant à des pertes importantes de données, du fait du mauvais temps en hiver, en particulier ; et sur le Reykjafoss, lors des embarquements d'observateurs, et en utilisant le lanceur automatique de sondes de la NOAA/AOML)
- Analyses scientifiques des données Argo et XBTs après vérification de leur qualité

Résultats attendus

- Etude de la convection dans le gyre subpolaire
- Suivi de la variabilité interannuelle des propriétés des eaux modales dans le bassin d'Islande, sur la dorsale de Reykjanes et dans la mer du Labrador
- Reconstruction de la circulation à travers la section OVIDE avec les données Argo et l'altimétrie et étude de la variabilité interannuelle à décennale (étude suggérée par le CS lors de l'évaluation du projet en 2009 mais qui n'a pas encore pu être réalisée)
- Etude de la circulation autour de la dorsale et des zones de passage au-dessus de la dorsale
- Etude de la thermocline et de la zone de minimum d'oxygène
- Analyse conjointe des variabilités des couches mélangées hivernales et formation d'eau modale, en particulier sur la ride de Reykjanes, à partir des observations par sondes XBTs depuis le milieu des années 1980s sur ces deux lignes de navigation, et comparaison à l'analyse faite par Thierry et al. (2008) à partir de profils CTDs lors de campagnes de fin de printemps ou par les profileurs du réseau ARGO.
- Analyse des différences entre XBTs et CTDs dans les eaux froides ou intermédiaires du gyre subpolaire, lors des campagnes Ovide de 2006, 2008 et 2010, et de la campagne Catarina de 2012. Vérification sur ces quelques exemples des analyses 'statistiques' faites par M. Hamon (Hamon et al., 2011) ou plus anciennes par G. Reverdin (Reverdin et al., 2009)

Ressources nécessaires à la réalisation du projet

- ♦ Equipements disponibles : 10 optodes Aanderaa 4330 calibrés
- ♦ Fonctionnement¹ :

¹

A détailler et justifier poste par poste pour toute la durée du projet. Ceci inclut notamment fournitures,

2012	
Transport des sondes	1 k€
	<i>Sous-total 2012</i>
	1 k€
2013	
2 publications	4 k€
Transport des sondes	1 k€
	<i>Sous-total 2013</i>
	5 k€
	Total
	6 k€

♦ Missions²

2012	
1 mission France, GMMC Toulouse	1 k€
	<i>Sous-total 2012</i>
	1 k€
2013	
1 mission France, GMMC Toulouse	1 k€
	<i>Sous-total 2013</i>
	1 k€
	Total
	2 k€

♦ Equipement³

2012	
10 flotteurs profileurs équipés de capteurs d'oxygène	10 PROVOR-DO
3 flotteurs ARVOR	3 ARVOR
96 XBT	96 XBT
	<i>Sous-total 2012</i>
	13 flotteurs et 96 XBT
2013	
96 XBT	96 XBT
	<i>Sous-total 2013</i>
	96 XBT
	Total
	13 flotteurs et 192 XBT

publications, petit équipement, ...

² A détailler et justifier poste par poste pour toute la durée du projet

³ Supérieur à 10-15k€. Outre la justification et les caractéristiques techniques, produire l'échéancier du déploiement et les devis ; préciser le coût du fonctionnement induit (nombre des éventuelles nouvelles personnes ITA/mois associées au projet).

- ♦ Demandes de label pour ressources complémentaires

Co-financements acquis ou soumis (hors INSU)

Le budget, désormais consolidé, doit détailler les différentes contributions des organismes ou agences ; le support pouvant être d'origine régionale, nationale ou européenne. La compilation des ressources acquises et des ressources soumises est à reporter dans le formulaire informatique.

Projet CREST Argo du CPER Bretagne : 80 k€/an pour l'achat de capteurs O2 (15).

Valorisation des travaux antérieurs

Références bibliographiques

- de Boissésou E., V. Thierry, H. Mercier and G. Caniaux, 2010: Mixed layer heat budget in the Iceland Basin from Argo. *J. Geophys. Res. Oceans*, doi:10.1029/2010JC006283
- Després, A., G. Reverdin, et F. D'Ovidio, 2011. Mechanisms and spatial variability of meso scale frontogenesis in the northwestern North Atlantic Subpolar gyre. *Ocean Modelling*, 39, 97-113, doi:10.1016/j.ocemod.2010.12.005.
- Després, A., G. Reverdin, et F. D'Ovidio, 2011. Summer-time modification of surface fronts in the North Atlantic subpolar gyre. *J. Geophys. Res.*, in Press.
- Freeland H. J., Dean Roemmich, Silvia L. Garzoli, Pierre-Yves Le Traon, Muthalagu Ravichandran, Stephen Riser, Virginie Thierry, Susan Wijffels, Mathieu Belbéoch, John Gould, Fiona Grant, Mark Ignazewski, Brian King , Birgit Klein, Kjell Arne Mork, Breck Owens, Sylvie Pouliquen, Andreas Sterl, Toshio Suga, Moon-Sik Suk, Philip Sutton, Ariel Troisi, Pedro Joaquin Vélez-Belchi, and Jianping Xu, 2009. Argo – A decade of progress. Community white paper for the Ocean Obs 2009 conference. Venice.
- Gaillard, F., E. Autret, V. Thierry, P. Galaup, C. Coatanoan, and T. Loubrieu, 2009: Quality Control of Large Argo Datasets. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 26, 337-351.
- Hamon, M., G. Reverdin and P.Y. le Traon. Empirical correction on XBT fall rate and its impact on heat content analysis. Submitted to *J. Geophys. Res.*
- Reverdin, G., F. Marin, B. Bourlès, and P. L'Herminier, 2009, XBT temperature errors during French research cruises (1999-2008). *J. Atmos. Oceanogr. Tech.*, 2009 early online release, posted May 2009 DOI: 10.1175/2009JTECHO655.1.
- Reverdin, G., 2010. North Atlantic subpolar gyre surface variability (1895-2009). *J. Climate*, 17, 4571-4584. Doi:10.1175/2010JCLI3493.1
- Roemmich, M. Belbeoch, P.J.V. Belchi, H. Freeland, W.J. Gould, F. Grant, M. Ignaszewski, B. King, B. Klein, K.A. Mork, W.B. Owens, S. Pouliquen, M. Ravichandran, S. Riser, A. Sterl, T. Suga, M.-S. Suk, P. Sutton, V. Thierry, P.-Y. LeTraon, S. Wijffels, J. Xu, 2009: Argo: the challenge of continuing 10 years of progress. *Oceanography Magazine*, vol 22, 3, 46-55.
- Thierry, V., E. de Boissésou and H. Mercier, 2008: Interannual variability of the Subpolar Mode Water properties over the Reykjanes Ridge during 1990-2006. *Journal of Geophysical Research*, 113, C04016, doi:10.1029/2007JC004443.
- Vage, K., R. S. Pickart, V. Thierry, G. Reverdin, C. M. Lee, B. Petrie, T. A. Agnew, A. Wong, and M. H. Ribergaard, 2009: Surprising return of deep convection to the subpolar North

Atlantic Ocean in winter 2007-2008. *Nature Geoscience*, 2, 67-72.

Autres publications

Coatanoan C. V. Thierry, 2009. Progress in Argo Delayed Mode Quality Control. Coriolis News Letter n°5. January.

D'Ortenzio F., Thierry V., Eldin G., Claustre H., Testor P., Coatanoan C., Tedetti, M., Guinet C., Poteau A., Prieur L., Lefevre D., Bourrin F., Carval T., Goutx M., Garçon V., Thouron D., Lacombe M., Lherminier P., Loisiel H., Mortier L., Antoine D., 2010 : White book on oceanic autonomous platforms for biogeochemical studies: instrumentation and measure (PABIM). Version 1.3.

D'Ortenzio, Claustre H., Niewiadomska K., Poteau A., Prieur L. Antoine D., Eldin G., Garçon V., Thouron D., Thierry V., Lherminier P., Testor P., Mortier, L., Guinet C., Tedtti M., Lefevre D., Loisiel H., Coatanoan C., Carval T. and de Boyer Montégut C. : Biogeochemical Autonomous Platform: Instrumentation and measures (PABIM project), Mercator Newsletter n°35, Octobre 2009.

Rapports

Massad A., 2011 : Les fronts de surface dans le gyre subpolaire : localisation et structure verticale, Stage L3, Paris VI sous la direction de G. Reverdin.

Matout M., 2010: Recettes bassin des PROVOR-DO: synthèse des comportements des optodes. Rapp. Interne LPO LPO_GT10_07.

Matout M., 2010: Synthèse n°2: autres réflexions concernant les optodes. Rapp. Interne LPO, LPO_GT10_12

Matout M., 2011: Manipulation au bassin d'essai. Rapp. Interne LPO LPO_GT11_06

Matout M., 2011: Améliorer les performances de l'optode mesurant l'oxygène dissous sur des profileurs dérivants. Contrat d'apprentissage. Laboratoire de Physique des Océans – Licence Professionnelle "Gestion de la Production Industrielle, Capteurs, Instrumentation et Métrologie", 70pp.

Thierry V. and S. Le Reste, 2009: Surface pressure in the Argo fleet of the Coriolis DAC. CREST Argo projet. LPO report 09-05.

Thierry V., D. Gilbert and T. Kobayashi, May 2010: Processing Argo Oxygen Data at the DAC level. Available on <http://www.argodatamgt.org>.

Liste des contrats obtenus au cours des quatre dernières années

Projet	Programme	Année	Crédits obtenus	Résultats
OVIDE-FOX	GMMC	2007	13k 16 PROVOR 150 XBT	Les résultats sont résumés dans cette demande
PPR PABIM	GMMC	2007	30 k€	Livre blanc PABIM d'Oretnzio et al 2010
OVIDE-FOX	GMMC	2009	10k€ 16 PROVOR 192 XBT	Les résultats sont résumés dans cette demande

OVIDE	LEFE	2010	12 k€/an sur 3 ans (2011-2013)	Les résultats sont présentés dans la demande OVIDE de l'an dernier Voir aussi : http://www.ifremer.fr/lpo/ovide
PPR PABIM2	GMMC	2010	34,8k€ demandé	

Temps personnel

Laboratoire	Nom	Titre	% de temps	Commentaires
LPO	Virginie Thierry	CR1	50 %	Analyse scientifique des données Argo, validation <i>(travail également effectué dans le cadre du projet OVIDE et CREST Argo)</i>
LPO	Cathy Lagadec	Ingénieur	50 %	Validation des données
LPO	Guillaume Maze	Post-doc	100 % (fin de contrat en juillet 2012)	Analyse scientifique des données d'oxygène, validation <i>(travail également effectué dans le cadre du projet CREST Argo)</i>
LPO	Herlé Mercier	DR CNRS	10 %	Analyse scientifique des données (PI OVIDE)
LOCEAN	Gilles Reverdin	DR CNRS	20 %	Analyse scientifique des données XBT, validation