Anomalies annuelles de température et salinité dans l'Atlantique Nord à partir de profils flotteurs et CTD récents et historiques : méthodologie et analyse

Thierry Huck <thuck@univ-brest.fr>, Fabienne Gaillard,
avec la collaboration de Bernard Le Cann, Herlé Mercier et Virginie Thierry
et le support technique de Catherine Lagadec, Thierry Reynaud et Patrice Bellec
Laboratoire de Physique des Océans (UMR 6523 CNRS IFREMER UBO), Brest, France

OBJECTIFS

- déterminer un cycle saisonnier climatologique moyen de l'Atlantique Nord (et sa période : 1961-1990 ou 1970-2000 ?) qui puisse servir de référence pour calculer des anomalies
- déterminer une méthodologie satisfaisante pour calculer des anomalies annuelles de température et salinité à partir des données CTD et flotteurs
- valider et éventuellement valoriser les données flotteurs acquises lors de la dérive en immersion
- documenter la variabilité interannuelle des propriétés thermohalines de l'Atlantique Nord : entre autre quantifier le réchauffement et la désalinisation de l'Atlantique Nord, le réchauffement et la salinisation de l'eau méditerranéenne, et surveiller l'évolution des eaux centrales comme précurseur des eaux profondes nord-atlantique
- estimer la représentativité climatique des produits opérationnels Coriolis et Mercator : analyses objectives et prévisions
- mettre à disposition des climatologies de température et salinité de l'Atlantique Nord, bien documentées, avec les outils permettant d'adapter le produit à des besoins spécifiques, à partir des données du centre Coriolis

1. INTRODUCTION

On doit reconnaître aujourd'hui la difficulté et l'importance scientifique de bien documenter les changements de propriétés de masses d'eau dans le cadre du réchauffement climatique avant de pouvoir les comprendre. Nombres de travaux récents mettent en évidence des changements significatifs au cours des 50 dernières années : réchauffement des eaux de surface (Levitus et al. 2000) et intermédiaires (Gille 2002) ; désalinisation dans le nord de l'Atlantique Nord (Antonov et al. 2002, Dickson et al. 2002) ; attribution de l'augmentation du niveau de la mer à l'effet stérique et à la fonte des glaces (Cabanes et al. 2001, Miller et Douglas 2004) ; salinisation et réchauffement des eaux méditerranéennes (Potter et Lozier 2004). On voit donc tout l'intérêt de déterminer des champs d'anomalies annuelles de température et salinité pour pouvoir suivre en temps réel leurs propriétés.

Or le manque de données est un problème crucial pour l'océanographie : les 50000 profils collectés en 2003 grâce aux flotteurs profileurs sont un maximum alors que plus de 1000 profils de température, pression et humidité sont collectés quotidiennement par radiosondage dans l'atmosphère (ballon-sonde). Les flotteurs profileurs deviennent la source majeure de mesures in-situ dans l'océan, avec une densité maximale dans l'Atlantique Nord. C'est donc la région où il est le plus approprié de chercher à utiliser ces mesures pour un suivi climatique de la structure thermohaline.

Les produits actuellement disponibles en anomalies annuelles ou interannuelles (World Ocean Atlas 1998, anomalies de températures annuelles 1945-1998 sur 14 niveaux de 0 à 500 m, et par pentades 1945-49 à 1992-96 sur 28 niveaux de 0 à 3000 m - S. Levitus, NOAA-NODC) ne nous permettent pas d'utiliser des résultats mis à jour régulièrement pour l'interprétation des campagnes de mesures récentes et à venir (OVIDE, EMA).

Dans la plupart des travaux d'analyse, de quantification et d'interprétation des changements climatiques interannuels, voire mésoéchelles, le besoin d'une climatologie fiable (incluant le cycle saisonnier) et évoluant dans le temps (dans le cadre du réchauffement global) se fait sentir : inversion des données hydrographiques annuelles dans l'Atlantique Nord (Grit et Mercier 2004) ; comparaisons de moyennes annuelles pour les flotteurs et les prévisions de Mercator (Autret et Gaillard 2004) ; suivi des propriétés des eaux modales (Thierry et Hascouet 2004) ; comparaison de la section Ovide (Portugal-Groenland) à une climatologie historique moyenne (Auffret et Huck 2003 - voir Figure 1).

Afin d'éviter de dupliquer ce travail qui est rarement un objectif en soi, il serait largement profitable de mutualiser les expertises et les méthodes afin de générer un produit bien mûri, bien documenté, avec tous les outils ayant servi à son élaboration et disponible rapidement pour la communauté scientifique. Libre ensuite à chacun de l'adapter spécifiquement à son besoin particulier, l'infrastructure logicielle et donnée étant ainsi mutualisée.

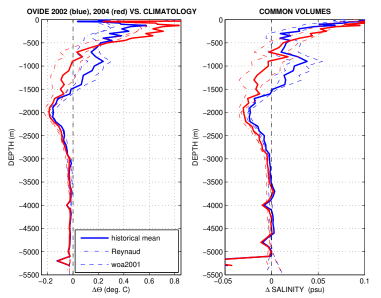

Figure 1: *Afin de quantifier grossièrement les changements majeurs des propriétés hydrologiques (température, salinité, densité) des masses d'eau échantillonnées par la radiale hydrographique Ovide du Groenland au Portugal, nous avons construit une référence historique de la section Ovide : pour chaque station hydrologique réalisée, nous avons sélectionné dans la base de données ayant servi à construire la climatologie de Thierry Reynaud (Reynaud et al. 1998) tous les profils hydrologiques réalisés entre 1961 et 1990 à moins de 100 km et moyenné leurs propriétés, en fonction de la profondeur mais aussi en fonction de la densité potentielle. Nous avons pu alors comparer les sections Ovide à une climatologie moyenne datée autour de 1975. Les changements de propriétés moyens sont remarquables : un réchauffement et une salinification des eaux au dessus de 1500 m, particulièrement marqué au niveau de l'eau méditerranéenne (Potter et Lozier 2003). Au contraire les eaux autour de 2000 m (eau de la mer du Labrador) se sont refroidies et ont vu leur salinité diminuer.*

2. PROJET

En réponse à la section 2.3.1 (Coriolis-données) de l'appel d'offre, nous nous proposons de construire des champs d'anomalies annuelles de température et de salinité sur l'Atlantique Nord à partir de toutes les données CTD et de flotteurs profileurs disponibles.

Les problèmes fondamentaux viennent de la faible densité de données, de la prédominance d'un cycle saisonnier d'amplitude très supérieure aux variations interannuelles, et d'un bruit également très important du aux tourbillons meso-échelles omniprésents dans l'océan. Des solutions devront être cherchées, implémentées, testées et comparées pour traiter ces problèmes.

L'objectif est dans un premier temps de determiner une période et un cycle saisonnier de reference à une résolution de l'ordre du degré de longitude et de latitude pour l'Atlantique Nord, par rapport auquel seront calculées toutes les anomalies annuelles ou interannuelles.

Deux méthodes seront menées en parallèle pour la coordonnée verticale : profondeur et densités potentielles référencées au différents niveaux standards. Non seulement les moyennes seront calculées mais également au moins les variances. La réflexion sur la méthodologie représentera une grande part du travail, et plusieurs méthodes seront testées afin d'appréhender precisement leurs avantages et inconvenients : binnage spatio-temporelle, analyse objective, ...

Problèmes de filtrage

• cycle saisonnier

Dans un premier temps, on pourra utiliser la climatologie de T. Reynaud pour calculer les anomalies de chaque profil par rapport au cycle saisonnier moyen. Dans un deuxieme temps, on pourra améliorer le cycle saisonnier moyen à partir de toutes les données récentes suivant la période de référence choisie. Plusieurs méthodes seront comparées : un cycle saisonnier issu de moyenne des données de chaque mois ou saison, ou un cycle saisonnier optimal déterminé par régression de toutes les mesures sur un signal périodique (annuel) ou bi-périodique (semi-annuel).

• tourbillons méso-échelles

Les tourbillons (cycloniques, anticycloniques, meddies) sont omniprésents dans l'océan. D'une certaine manière, une moyenne temporelle doit les prendre en compte. Pourtant on ne veut pas donner trop de poids à des mesures de flotteurs qui seraient piégés dans certaines structures cohérentes sur une longue période. Il sera donc nécessaire de réfléchir à la manière de les prendre en compte sans leur donner trop de poids, en limitant par exemple le nombre de profils utilisés pour une certaine échelle spatiale (10 à 100 km ?) et temporelle (1 semaine à 1 mois ?).

Méthodes

Une étape fondamentale sera la mise au point d'une méthodologie approuvée grâce à la participation de nombreuses personnes ayant des expertises et objectifs très différents. Les méthodes classiques de binnage spatio-temporelle et d'analyses objectives seront comparées, éventuellement sur des cas synthétiques, afin de déterminer leurs points forts et faibles. Il est envisageable de traiter différemment température et salinité vu leur densité de mesure très différente par le passé. Enfin, suivant le nombre de données disponibles pour le siècle dernier, des anomalies sur des périodes interannuelles peuvent être plus représentatives que des anomalies annuelles.

Utilisation des mesures de flotteurs en dérive

Des mesures de température sont effectuées régulièrement par les flotteurs en dérive. A ce jour, ces mesures sont stockées et transmises mais pas encore utilisées. Nous validerons ces mesures par rapport aux profils les plus proches (montée précédente, descente et montée) des flotteurs afin de voir si ces mesures méritent d'être utilisées dans la détermination des anomalies annuelles, et si elles apportent un lissage temporel intéressant.

3. APPLICATIONS

Dans le cadre du projet Ovide (Observatoire de la Variabilité Interannuelle à Décennale du gyre subpolaire de l'Atlantique Nord et des mers nordiques) associant une section hydrographique répétée tous les 2 ans entre le Groenland et le Portugal et des approches d'analyse des observations et de modélisation réaliste (Drakkar), de nombreux travaux utiliseront ces produits et participeront activement à leur élaboration : bilan de transports par méthode inverse (H. Mercier et P. Lherminier), suivi des propriétés des masses d'eau (T. Huck) et des eaux modales (V. Thierry). En effet un contexte spatio-temporel beaucoup plus large que la seule section est essentiel pour l'interprétation des données, ainsi que le filtrage des structures méso-échelles (Figure 2).

Dans le cadre du programme POMME et du projet EMA (Eau Méditeranneénne en Atlantique), B. Le Cann est plus précisemment intéréssé par la zone de l'Atlantique Nord-Est de moyenne latitude (25-60°N,30-0°W), et par l'évolutions des propriétés TS dans l'Eau Meditérranéenne, l'Eau Centrale et le Golfe de Gascogne. Il insistera sur la prise en compte de la moyenne échelle et l'étude de la variance TS.

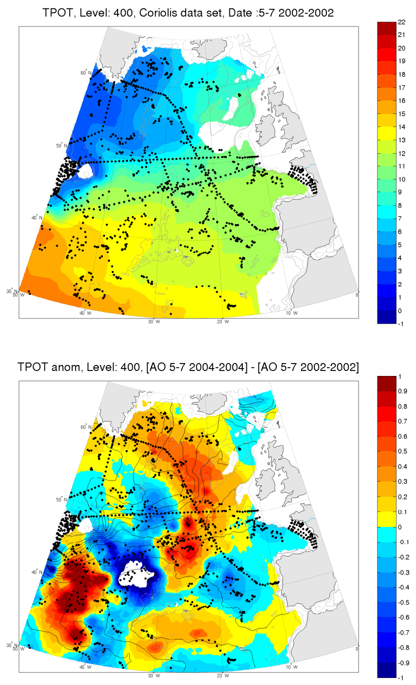

Figure 2: *(a) Carte horizontale de température potentielle à 400 m reconstruite par analyse objective sur la période mai-juillet 2002. (b) Différence entre les températures potentielles à 400 m reconstruites par analyse objective sur la période mai-juillet 2004 et la période mai-juillet 2002 (V. Thierry).*

Etalonnage des produits Coriolis

Des produits opérationnels sont générés régulièrement à partir des données dans le cadre de Coriolis et des modèles de prévision par Mercator. Eventuellement des produits issus de réanalyses seront également fournis par Mercator. Une comparaison de ces produits avec les anomalies annuelles générées en temps différé uniquement à partir des mesures in-situ permettra de les étalonner et d'estimer leur capacité à fournir une information climatologique (tout-à-fait différente et sans rapport à leur intérêt synoptique).

REFERENCES

Antonov, J. I., S. Levitus, et T. P. Boyer, 2002 : Steric sea level variations during 1957-1994: Importance of salinity. J. Geophys. Res., 107, 10.

Auffret, O., 2003 : Analyse de données hydrographiques dans l'Atlantique Nord - Caractérisation et représentativité des variations temporelles des propriétés des masses d'eau et de la circulation océanique. Rapport de stage d'ingénieur (sous la direction de T. Huck, CNRS-LPO), ISEB, Brest, France, 29pp.

Autret, E., et F. Gaillard, 2004 : Synthèse des données sur l'Atlantique par analyse objective. Réunion Argo-France, 12 mars 2004, Brest.

Cabanes, C., A. Cazenave, et C. Le Provost, 2001 : Sea level rise during past 40 years determined from satellite and in situ observations. Science, 294, 840-842.

Dickson, B., I. Yashayaev, J. Meincke, B. Turrell, S. Dye, et J. Holfort, 2002 : Rapid freshening of the deep North Atlantic Ocean over the past four decades. Nature, 416, 832-837.

Gille, S., 2002: Warming of the Southern Ocean Sincei the 1950s. Science, 295, 1275-1277.

Grit, C., et H. Mercier, 2004 : Circulation et variabilité en Atlantique Nord par inversion. Réunion Argo-France, 12 mars 2004, Brest.

Levitus, S., J. I. Antonov, T. P. Boyer, et C. Stephens, 2000 : Warming of the world ocean. Science, 287, 2225-2229.

Lozier, M. S., M. S. McCartney, et W. B. Owens, 1994 : Anomalous Anomalies in Averaged Hydrographic Data. J. Phys. Oceanogr., 24, 2624-2638.

Lozier, M. S., W. B. Owens, et R. G. Curry, 1995 : The climatology of the North Atlantic. Prog. Oceanogr., 36, 1-44.

Miller, L., et B. C. Douglas, 2004 : Mass and volume contributions to twentieth-century global sea level rise. Nature, 428, 406-409.

Potter, R. A., et M. S. Lozier, 2004 : On the warming and salinification of the Mediterranean outflow waters in the North Atlantic. Geophys. Res. Let., 31, , 1, L01202, doi: 10.1029/2003GL018161.

Reynaud, T., P. Legrand, H. Mercier, et B. Barnier, 1998 : A new analysis of hydrographic data in the Atlantic and its application to an inverse modelling study. International WOCE Newsletter, 32, 29-31.

Thierry, V., et T. Hascouet, 2004 : Eaux Modales Sub-polaires en Atlantique Nord à partir des données ARGO. Réunion Argo-France, 12 mars 2004, Brest.