

Les courants de l'Atlantique Nord – le projet OVIDE

North Atlantic Ocean circulation : the OVIDE project

HERLÉ MERCIER, PASCALE LHERMINIER, CLAIRE GOURCUFF

Laboratoire de Physique des Océans
CNRS IFREMER UBO
BP 70 29280 Plouzané, France

Tél : +33 (0)2 98 22 42 86, Fax : +33 (0)2 98 22 44 96, e-mail : Herle.Mercier@ifremer.fr

The OVIDE project studies the variability of the north Atlantic subpolar gyre circulation based on repeated hydrography and current measurements, satellite observations, diagnostic and prognostic models. Here, we present an analysis of volume and heat transports between Greenland and Portugal from the 2002 OVIDE data. The results are compared to a previous analysis based on 1997 data (4x project). We focus on the thermohaline circulation. The thermohaline circulation, deep western boundary current and heat flux variability are correlated.

■ INTRODUCTION

La branche supérieure de la circulation thermohaline en Atlantique Nord transporte de l'eau subtropicale relativement chaude et salée vers le nord. Cette eau est progressivement refroidie et transformée en eau modale subpolaire et en eau profonde par convection hivernale en mers du Labrador, Groenland et Norvège. La branche inférieure de la circulation thermohaline transporte ces eaux denses nouvellement formées vers le sud. La circulation thermohaline est associée avec le transport de chaleur vers le nord en Atlantique Nord et sa variabilité pourrait être reliée à la variabilité du climat européen.

L'eau subtropicale est transportée vers le nord par le Courant Nord Atlantique. Sa variabilité a été indirectement étudiée par Bryden et al. [1] qui trouvent aux latitudes subtropicales une décroissance d'environ 6 Sv ($1\text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) du transport d'eau dense vers le sud depuis 1957, en accord avec des mesures directes de courant dans le courant profond de bord ouest au large du Groenland [2]. Selon Bryden et al. [1] cette diminution de transport est compensée par un transport vers le sud plus important dans la thermocline, conduisant indirectement à conclure à une diminution du transport du Courant Nord Atlantique.

Ces changements ne sont pas facilement identifiables à partir des données existantes au nord de 50°N quand l'on considère à la fois l'ampleur de la variabilité saisonnière à interannuelle et la relation complexe entre le gyre subtropical et le Courant Nord Atlantique. Curry et McCartney [3] montrent que la variabilité à basse fréquence du Courant Nord Atlantique est relativement bien capturée par un indice de transport basé sur une anomalie d'énergie potentielle entre les Bermudes et la mer du Labrador. Cet indice relie la variabilité combinée des transports des gyres subtropical et subpolaire en réponse à l'oscillation nord atlantique sur des échelles de temps décennales et montre un maximum au début des années 1990 et un minimum dans les années 1960. Suivant la même idée, Hakkinen et Rhines [4] ont calculé un indice de transport pour le gyre subpolaire qui montre un affaiblissement de la circulation de surface dans ce gyre à la

fin des années 1990 en relation avec la variabilité de l'oscillation nord atlantique.

La variabilité de la circulation thermohaline est le résultat de la variabilité des différentes composantes citées ci-dessus.

Le projet OVIDE (Observatoire de la Variabilité Interannuelle à DEcennale) répète tous les deux ans depuis 2002 une section hydrographique entre le Groenland et le Portugal (Figure 1). C'est une contribution au projet international CLIVAR. La section OVIDE intersecte les principaux courants contribuant à la circulation thermohaline en Atlantique Nord. Nous présentons ici à titre d'illustration des courants de l'Atlantique Nord les résultats obtenus lors de la campagne de 2002 ainsi qu'une comparaison avec les estimations de transports à travers la section 4x réalisée en 1997 le long d'un parcours proche de celui d'OVIDE (Figure 1).

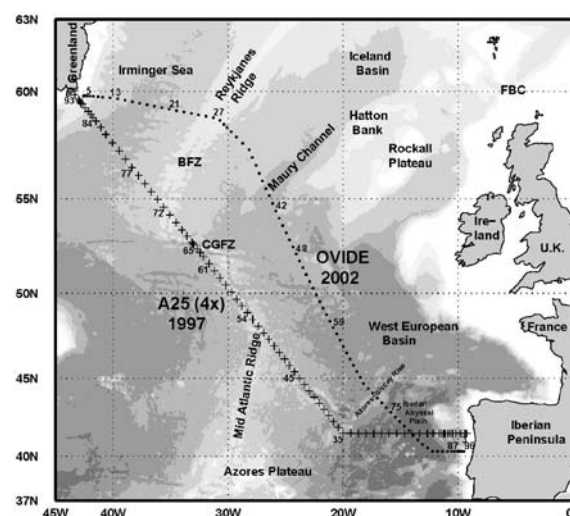


Figure 1 : Trajets des sections hydrographiques OVIDE et 4x réalisées respectivement en 2002 et 1997. Les points et les croix représentent les stations de mesure.

II ■ DONNÉES ET MÉTHODE

Nous utilisons les sections hydrographiques 4x et OVIDE réalisées respectivement en 1997 et 2002 (Figure 1). Chacune des sections est constituée de stations hydrographiques qui ont permis la mesure de la température et de la salinité de l'eau de mer de la surface jusqu'au fond en fonction de la pression. Ces données sont soigneusement calibrées pour obtenir une précision de 0.002°C en température, 1dbar en pression et 0.003 en salinité. Ces informations permettent de calculer la densité de l'eau de mer et son gradient horizontal le long de la section qui est relié au cisaillement vertical de la composante horizontale du courant (équilibres géostrophique et hydrostatique). Pour connaître la vitesse absolue du courant il faut une référence qui est obtenue en combinant cette information avec celle obtenue par un courantomètre acoustique Doppler mesurant la vitesse absolue du courant dans les couches de surface. La combinaison d'information est réalisée par une méthode de moindres carrés généralisés contrainte par une conservation de la masse de côte à côte incluant la composante forcée par le vent.

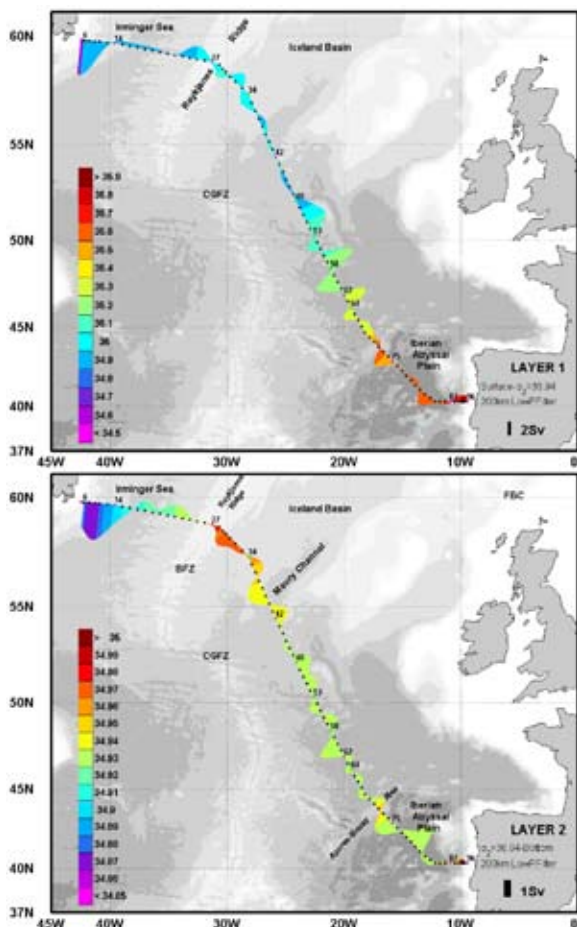


Figure 2 : Transport de volume perpendiculaire à la section OVIDE 2002. L'échelle des transports est indiquée en bas à droite. L'échelle de couleur décrit la moyenne de la salinité des masses d'eau entre la surface et le fond. En haut couches de surface ; en bas couches de fond.

III ■ TRANSPORTS DE VOLUME EN 2002

Les transports de volume perpendiculaires à la section OVIDE 2002 et intégrés dans deux couches séparées par l'isopycne 36.94 (référéncée à 2000 db) sont présentés en Figure 2. La salinité permet d'identifier les masses d'eau qui dominent la colonne d'eau les salinités les plus faibles indiquant une origine subpolaire et les plus fortes une influence marquée d'eau d'origine subtropicale ou de l'eau méditerranéenne.

La circulation dans la mer d'Irminger est faiblement cyclonique dans les deux couches et caractérisée par un export net d'eau subpolaire vers le sud. Dans la couche de fond on notera le courant profond de bord ouest issu des échanges au Détroit du Danemark le long des côtes du Groenland. A l'est de la dorsale de Reykjanes, la circulation des couches de surface devient plus turbulente avec une influence de plus en plus marquée des eaux subtropicales au fur et à mesure que l'on se déplace vers le sud-est. Le Courant Nord Atlantique est formé de plusieurs branches visibles entre les stations 47 et 70 et son transport net est vers le nord. En profondeur on notera les courants profonds de bord le long de la dorsale de Reykjanes et du Chenal de Maury qui transportent de l'eau en provenance des seuils entre l'Islande et l'Ecosse. Au sud-est l'eau profonde est relativement moins salée ce qui dénote une influence d'une masse d'eau d'origine antarctique.

IV ■ VARIABILITE DE LA CIRCULATION THERMOHALINE ENTRE 1997 ET 2002

L'amplitude de la circulation thermohaline est estimée comme le maximum, en partant de la surface, de l'intégrale en fonction de la densité du transport cumulé zonalement le long de la section (Figure 3). On observe une nette diminution de la circulation thermohaline entre août 1997 et juin 2002 (Tableau 1). Les variations sont corrélées à la variabilité du transport de chaleur qui augmente avec l'amplitude de la circulation thermohaline, ainsi qu'à celles du transport du courant profond de bord ouest au large du Groenland qui est la somme des composantes venant de Détroit du Danemark et des seuils entre l'Islande et l'Ecosse.

Tableau 1 : estimation de l'amplitude de la circulation thermohaline, du transport de chaleur et du transport du courant profond de bord ouest (DWBC) dans le bassin d'Irminger à partir des données 4x et OVIDE.

	THC (Sv)	Transp. chaleur (PW)	DWBC (Sv)
4x août 1997	19.0 ± 0.8	0.66 ± 0.04	-11.3
OVIDE juin 2002	16.4 ± 0.8	0.43 ± 0.06	- 9.2

Nous avons vérifié que le résultat n'est que très peu affecté par la variabilité inter-annuelle et saisonnière du transport d'Ekman (transport directement par le vent et qui est de

l'ordre de 1 à 2 Sv). Les échelles de temps associées à ces variations sont étudiées à partir de l'altimétrie et du modèle à haute résolution ($1/6^\circ$) de l'Atlantique CLIPPER (voir [5]). Cette dernière étude montre une diminution qualitativement comparable de l'amplitude de la circulation thermohaline entre 1997 et 2002 et suggère que cette diminution pourrait correspondre à une tendance ayant commencé au milieu des années 1990. Les résultats de Marsh et al. [6] obtenus à partir du modèle numérique d'océan montrent aussi une diminution de la circulation thermohaline entre 1997 et 2002 associée à une diminution du transport de chaleur vers le nord de 0.7 à 0.4 PW similaire à nos observations.

V ■ CONCLUSIONS

Il est encore difficile d'analyser les résultats sur la variabilité de la circulation thermohaline au regard des estimations de transports dans le détroit du Danemark qui n'ont pas encore été publiées intégralement. Macrander et al. [7] nous apprennent cependant que les échanges au détroit du Danemark présentent une variabilité de 0.7 Sv qui pourrait expliquer 2 Sv de variabilité à Cap Farewell, mais aucune de ces observations ne montre de tendance à long terme. Il nous est à l'heure actuelle aussi difficile de trancher entre la stabilité défendue par R. Lumpkin (communication personnelle 2006) et la tendance à l'affaiblissement récemment publiée par Bryden et al. [2]. L'analyse des observations à venir et les travaux de modélisation permettront non seulement d'affiner notre analyse.

VI ■ REFERENCES

- [1] BACON S. (1998) — Decadal variability in the outflow from the Nordic seas to the deep Atlantic Ocean. *Nature*. **394** : 871-874
- [2] BRYDEN H., LONGWORTH H. R., CUNNINGHAM S. A. (2005) — Atlantic meridional overturning circulation at 25°N. *Nature*. **438** : 655-657, doi10.1038/nature.04385
- [3] CURRY R. G., MCCARTNEY M. S. (2001) — Ocean gyre circulation changes associated with the north Atlantic oscillation. *J. Phys. Oceanogr.* **31** : 3374-3400
- [4] HÄKKINEN S., RHINES P. B. (2004) — Decline of subpolar North Atlantic. *Science*. **304** : 555-559
- [5] TREGUIER A. M., GOURCUFF, LHERMINIER P., MERCIER H., BARNIER B., MADEC G., MOLINES J., PENDUFF T., CZESCHEL C., BÖNING C. (2006) — Internal and forced variability along a section between Greenland and Portugal in the CLIPPER Atlantic model. *Oceans Dynamics*. doi 10.0007,s10236-006-0069-y

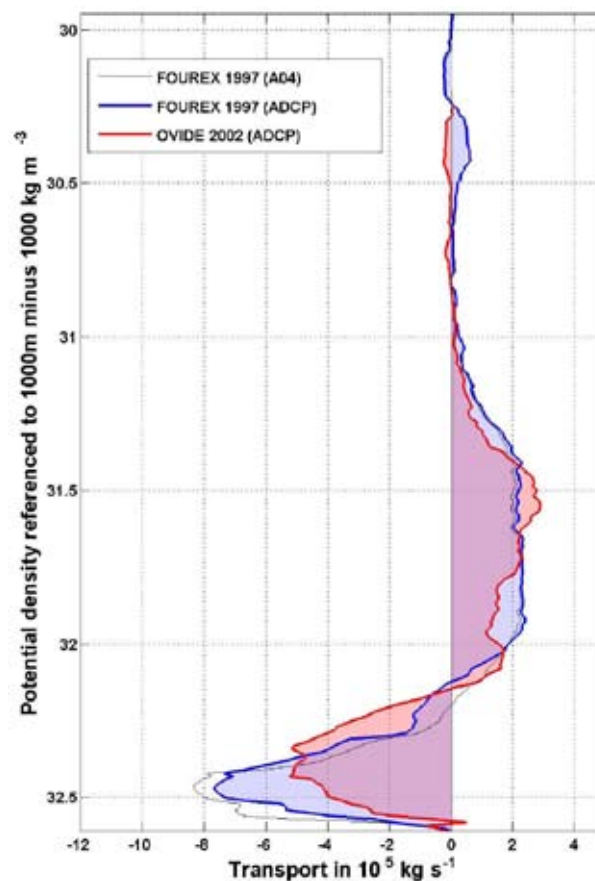


Figure 3 : Transport de volume intégré entre le Groenland et le Portugal et dans des classes d'anomalies de densité de 0.1 kg m^{-3} pour 4x (1997) et OVIDE (2002). Pour l'étude présentée ici seules les courbes faisant référence à une contraintes par mesure acoustique Doppler (ADCP) sont à prendre en compte.

- [6] MARSH R., DE CUEVAS B. A., COWARD A. C., BRYDEN H. L., ALVAREZ M. (2005) — Thermohaline circulation at three key sections in the North Atlantic over 1985-2002. *Geophys. Res. Lett.* **32** : doi :10.1029/2004GL022281
- [7] MACRANDER A., SEND U., VALDIMARSON H., JONSSON S., KÅSE R. H. (2005) — Interannual changes in the overflows from the Nordic Seas into the Atlantic Ocean through Denmark Strait. *Geophys. Res. Lett.* **32** : doi 10.1029/2004GL021463