

RÉSUMÉ

Les variations de la circulation thermohaline sont un sujet d'intérêt majeur depuis une décennie, avec à la clé la détection d'une influence des activités humaines sur le climat. Or cette circulation reste assez mal connue même en moyenne (variations de plus de 50% entre modèles) et ses variations encore moins, une tendance issue de 5 points de mesure en 50 ans 24N dans l'Atlantique faisant la une de Nature ! On se propose ici de 1) développer une méthodologie permettant de reconstituer cette circulation à partir des données in situ de température et salinité depuis 1950, 2) synthétiser différentes méthodes très variées de reconstructions des variations de la circulation océanique à grande échelle sur des indicateurs bien documentés ou observés, notamment le transport de chaleur, afin de déterminer des incertitudes sur ces estimations, 3) étudier les mécanismes modulant les variations interannuelles à décennales de cette circulation et des indicateurs associés.

1. INTRODUCTION

Avant de vouloir prévoir l'évolution de la circulation océanique dans le cadre du réchauffement climatique, on cherche ici à documenter ses variations passées à partir des observations in-situ (bouteilles, CTD, XBT, flotteurs profilers). Idée générale : champ de densité (i.e. température et salinité) fournit circulation barocline par vent thermique ; tension de vent donne mode barotrope.

2 étapes :

- construction de champs T et S sur périodes réduites suivant densité de données : années, pentades ;
- utilisation de ces champs pour déterminer une circulation grande-échelle 'diagnostique'.

2. DONNÉES

WOD2004 anomalies pentadales de température et salinité de 1955-59 à 1994-98 (Levitus et al. 2005a, Boyer et al. 2005) : global 1°, 28 niveaux 0-3000 m, complétées jusqu'au fond par les données de la climatologie moyenne.

Inconvénients : pas de mise à jour régulière, faible résolution verticale (500m à partir de 2000m), lissage spatial O(1000km).

HB Analyses pentadales de T et S de 1955-59 à 2000-2004 réalisées au LPO par P. Bellec et T. Huck à partir des données et programmes Hydrobase (R. Curry, WHOI) : Atlantique 80S-80N 1°, 85 niveaux de la surface au fond, gridding et interpolation isopycnale (Lozier et al. 1994, 1995).

Inconvénients : mise à jour des données récentes...

LPO Analyses annuelles de 1990 à 2005 (Melet et Gaillard 2006) : Atlantique 20S-70N, grille 1/2° Mercator, 59 niveaux de 0-2000m, données Coriolis et LPO, analyse objective des anomalies par rapport aux moyennes mensuelles (Autret et Gaillard 2005 pour Coriolis).

Inconvénients : pas mal de nettoyage (XBT avant 1998, profilers Solo...)

Vent Réanalyses ECMWF ERA40 (1958-2001) et NCEP (1948-) donnent des résultats comparables.

Flux de chaleur et d'eau douce climatologiques mais peu d'influence, sauf peut-être en prognostic.

3. MODÈLE

Modèle ROMS (Shchepetkin et McWilliams 2005, version UCLA/IRD) pour l'Atlantique Nord (10N-66N), 50 niveaux s :

- coordonnée verticale $\sigma = z/H(x,y)$ ⇒ lissage de la topographie (contrainte sur $\nabla h/h$, $h_{min}=50$ à 200 m) influence position des veines de courants profonds de bord ouest ;

- plusieurs résolutions horizontales testées, de 1° à 1/4°, on retient 1/2° comme compromis résultats-temps calcul.

3 méthodes sont comparées :

CT traceurs constants → ajustement dynamique en O(1 mois)

RD *robust diagnostic* = rappel des champs TS 3D en 30 jours → ajustement dynamique en quelques mois, moyenne sur 1 ans

PR *short prognostic*, intégration libre du champ TS initial sur 30 jours, puis moyenne sur 15 jours (Ezer et Mellor 1994)

4. RÉSULTATS

Moyenne annuelle vs. cycle saisonnier

On a vérifié que la moyenne annuelle de la circulation = circulation calculée sur la moyenne annuelle des champs, à quelques % sur le transport de chaleur (Böning et Hermann 1994, Grit et Mercier 2004).

Sensibilité au vent

Peu d'influence des variations du forçage par le vent sur la variabilité basse-fréquence (déjà imprimées dans structure thermohaline) : un vent climatique suffit !

Sensibilité à la profondeur des variations thermohalines

⇒ 0-2000m (Argo) très comparable à 0-3000m

⇒ 0-1000m (XBT) dégrade sensiblement la variabilité

Transport de chaleur moyen

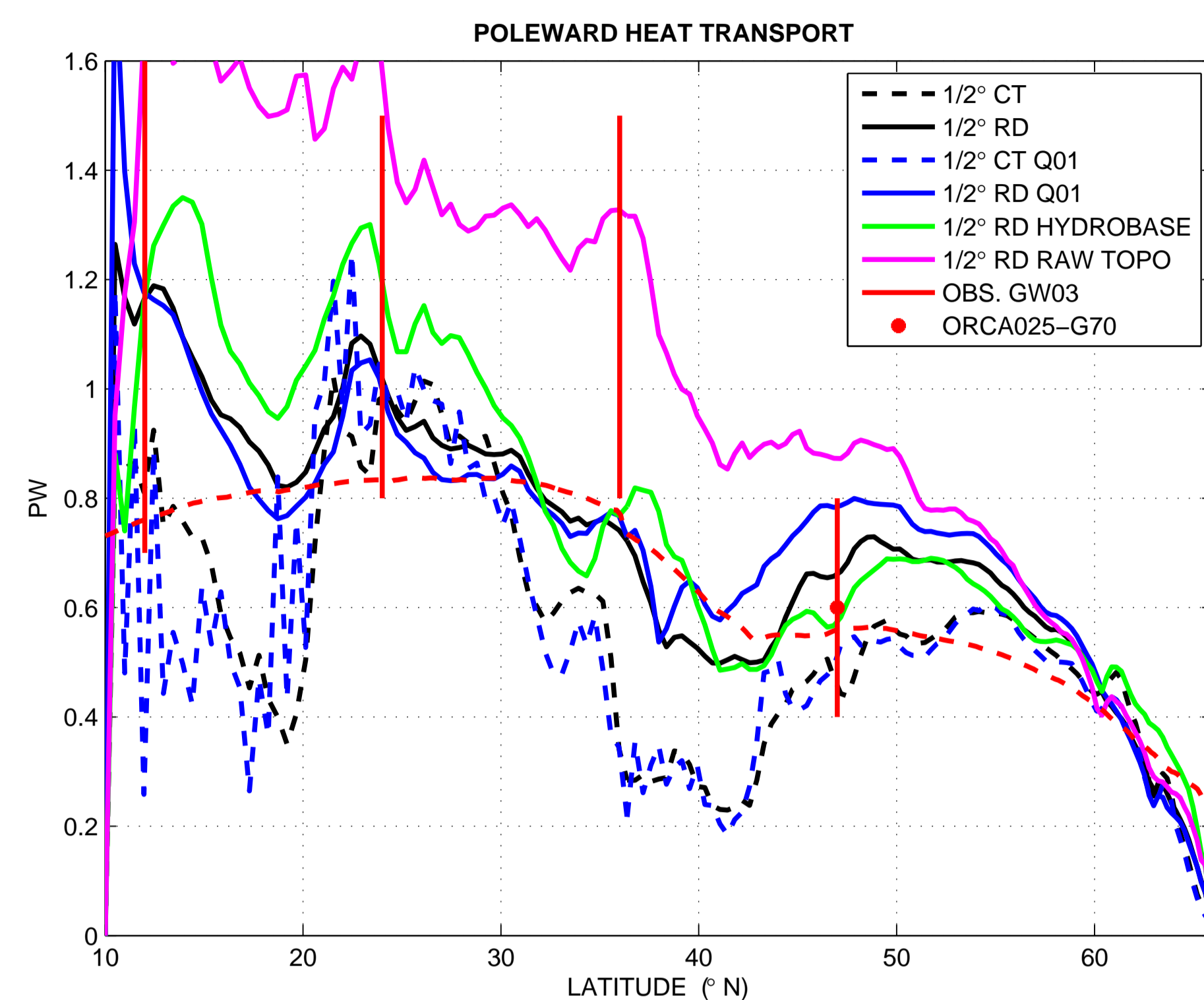


FIGURE 1: Transport de chaleur moyen pour différentes configurations ROMS Atlantique Nord et différentes climatologies : WOD2004 par défaut, Q01 (Boyer et al. 2005), et pour la simulation forcée ORCA025-G70 issue de Drakkar (valeurs incorrectes au dessus de 40N).

⇒ champs de vitesse bruités pour traceurs constants vs. robust diagnostic.

Variations du transport de chaleur

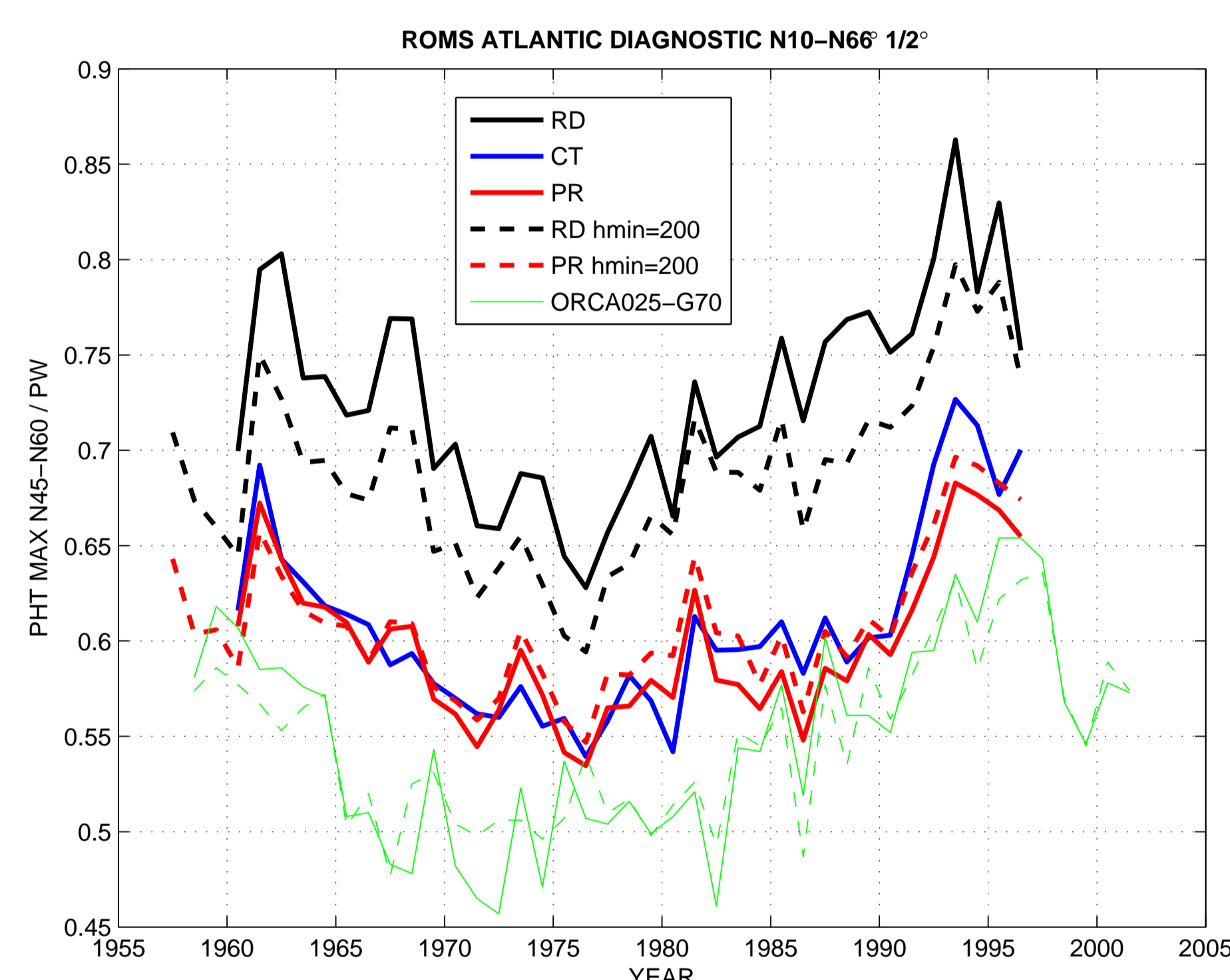


FIGURE 2: Transport de chaleur maximum entre 45N et 60N dans le gyre subtropical, pour la configuration ROMS Atlantique Nord 1/2° en mode robust-diagnostic (RD), constant-tracer (CT) et prognostic court (PR), et 2 lissages de la topographie ($h_{min}=50$ et $h_{min}=200$). La comparaison avec le transport 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 multidéennales.

Transitions WOD2004 HB LPO

⇒ Discontinuité marquée des champs : moyennes annuelles vs. pentadales, résolution, méthode et lissage

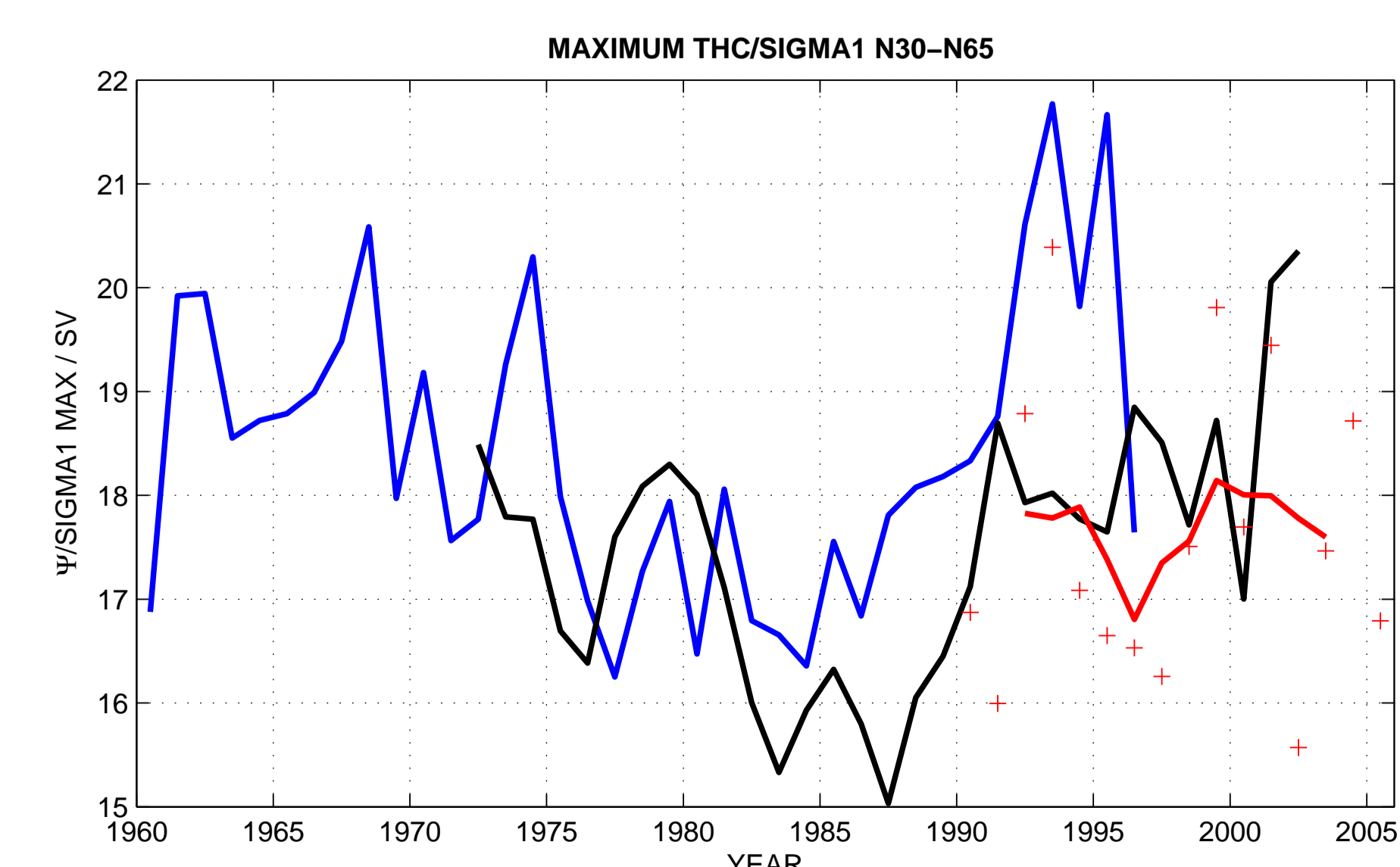
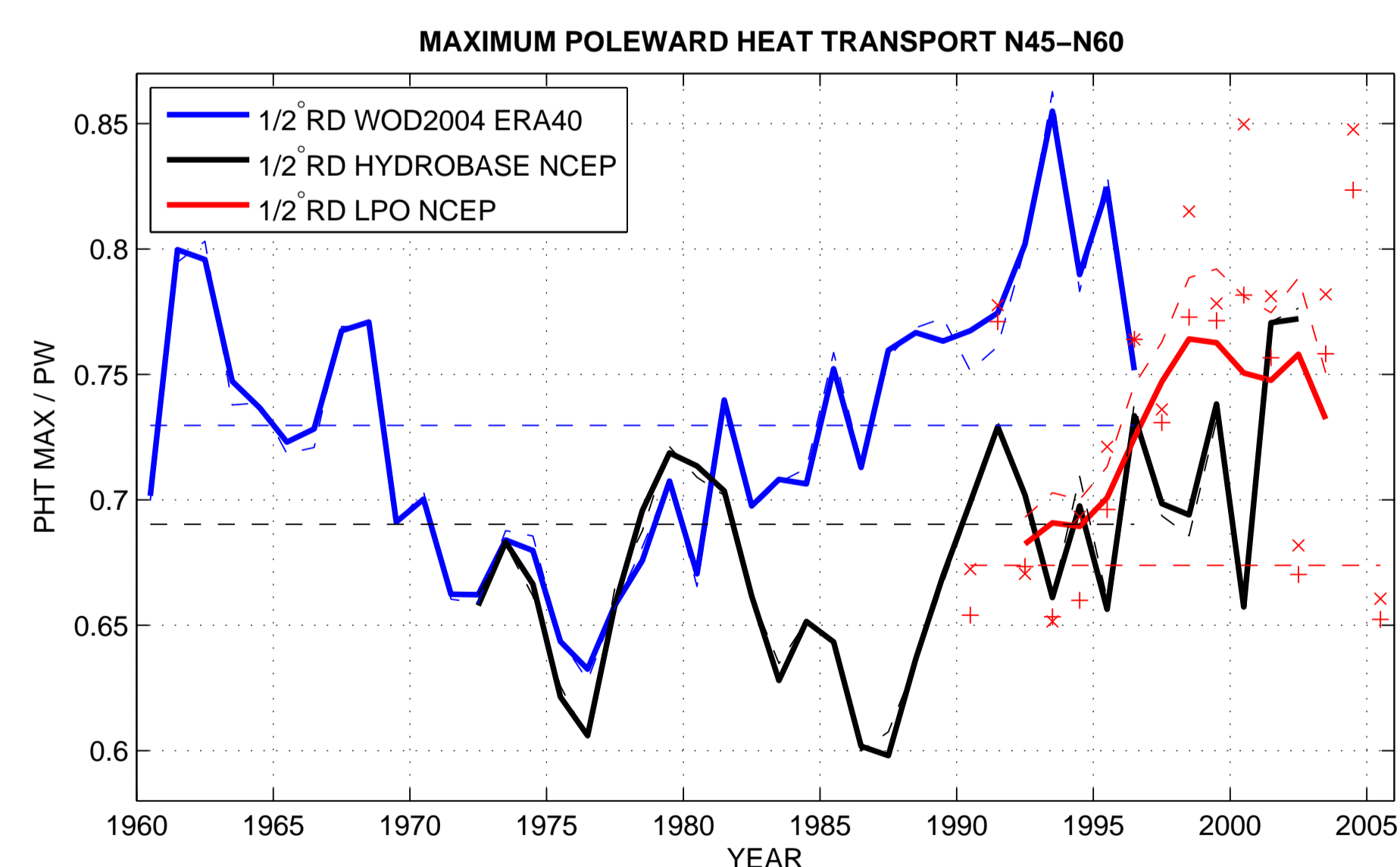


FIGURE 3: Transport de chaleur maximum entre 45N et 60N, et maximum de la cellule de circulation thermohaline en coordonnée isopycnale entre 30N et 65N, pour différents champs annuels de T et S : WOA2004, Hydrobase et LPO (ARIVO).

5. CONCLUSIONS

- Quantification des variations basse-fréquence de la circulation générale (5 SV pour la THC) et du transport de chaleur associé (20%), en relation avec l'Oscillation Atlantique Multidéennale (AMO)
- Difficulté à bien reproduire les transports de masse par calsses de profondeur observés à 24N par exemple (lissage des données, lissage de la topographie...)
- Incertitude sur les transports de chaleur absolus : résolution et topographie du modèle prépondérantes
- Variations BF peu sensibles à la méthode de construction des champs TS (Levitus, Hydrobase, Arivo), et très peu sensibles aux variations du champ de vent (imprimés dans la structure thermohaline) → *produit issu des données in-situ*
- ⇒ Nécessité de construction de séries de champs homogènes sur toute une période (même résolution, méthode, données...)

6. PERSPECTIVES

- Utilisation des champs TS récents générés dans le cadre d'ARIVO (F. Gaillard) : données hydrobase, nettoyage des profils Argo biaisés en cours...
- Méthodes inverses (Mercier et al. 1993, Grit et Mercier 2004) : encore peu avancée, cette partie devrait aboutir en 2008.
- Comparaison entre les différentes méthodes : diagnostiques (C. Cabanes), inverses, assimilation 4DVAR (B. Ferron), modèles forcés (Drakkar), réanalyses (MERA11), ...
- Le projet continue dans le cadre d'une réponse à l'AO GMMC 2007 Euro-Argo (TOCAD, F. Gaillard), et sera certainement resoumis à LEFE en 2008.
- L'évolution majeure sera le passage en configuration globale avec OPA ORCA05 issu de Drakkar en mode robust-diagnostic, avec la perspective de prendre en compte le cycle saisonnier.

RÉFÉRENCES

- Autret, E., F. Gaillard, 2005: Système opérationnel d'analyse des champs de température et de salinité mis en oeuvre au centre de données CORIOLIS : Version V3.03. configuration GLOBAL05 V1.0. Rapport interne Coriolis Ifremer, 73 p.
- Böning, C. W., P. Hermann, 1994 : Annual Cycle of Poleward Heat Transport in the Ocean: Results from High-Resolution Modeling of the North and Equatorial Atlantic. *J. Phys. Oceanogr.*, **24**, 91-107.
- Boyer, T. P., S. Levitus, J. I. Antonov, R. A. Locarnini, H. E. Garcia, 2005: Linear trends in salinity for the World Ocean 1955-1998. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, 1, L01604.
- Boyer, T., S. Levitus, H. Garcia, R. Locarnini, C. Stephens, J. Antonov, 2005 : Objective Analyses of Annual, Seasonal, and Monthly Temperature and Salinity for the World Ocean on a 1/4degree Grid. *Int. J. Climatol.*, **25**, 931-945.
- Ezer, T., G. L. Mellor, 1994: Diagnostic and prognostic calculations of the North Atlantic circulation and sea level using a sigma coordinate ocean model. *J. Geophys. Res.*, **99**, C7, 14,159-14,172 (94JC00859).
- Grit, C., 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, 2005a: Warming of the world ocean, 1955-2003. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, 2, L02604, <http://dx.doi.org/10.1029/2004GL021592>.
- Lozier, M. S., M. S. McCartney, W. B. Owens, 1994 : Anomalous Anomalies in Averaged Hydrographic Data. *J. Phys. Oceanogr.*, **24**, 2624-2638.
- Lozier, M. S., W. B. Owens, R. G. Curry, 1995 : The climatology of the North Atlantic. *Prog. Oceanogr.*, **36**, 1-44.
- Melet, A., 2006: Etude de la variabilité interannuelle de l'Atlantique Nord. Stage Final Ingénieur, Ecole Centrale de Lyon, 104pp, encadré par F. Gaillard au LPO.
- Mercier, H., M. Ollivraut, P. Y. Le Traon, 1993 : An inverse model of the North Atlantic general circulation using lagrangian float data. *J. Phys. Oceanogr.*, **23**, 689-715.
- Shchepetkin, A., J. C. McWilliams, 2005 : The Regional Oceanic Modeling System: A split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate ocean model. *Ocean Modelling*, **9**, 347-404.