

# Assimilation des données océaniques globales en temps quasi-réel dans ECCO

I. Fukumori(1) and the ECCO Consortium  
NASA/JPL, USA  
Ichiro Fukumori - E-mail : fukumori@jpl.nasa.gov

L'assimilation de données est la combinaison d'observations et de modèles. En combinant les deux, les observations corrigent les erreurs du modèle et les modèles permettent d'extrapoler des observations dans l'espace/le temps et entre différentes variables. Dans le contexte de l'estimation, la combinaison est donc généralement plus exacte et plus complète que les observations ou les modèles pris séparément.

En sciences de la Terre, l'assimilation des données atmosphériques est bien connue. Elle a été principalement développée pour la prévision numérique du temps, mais l'analyse résultante fournit également un moyen d'étudier la circulation atmosphérique et de déterminer son impact sur d'autres composantes du système climatique terrestre.

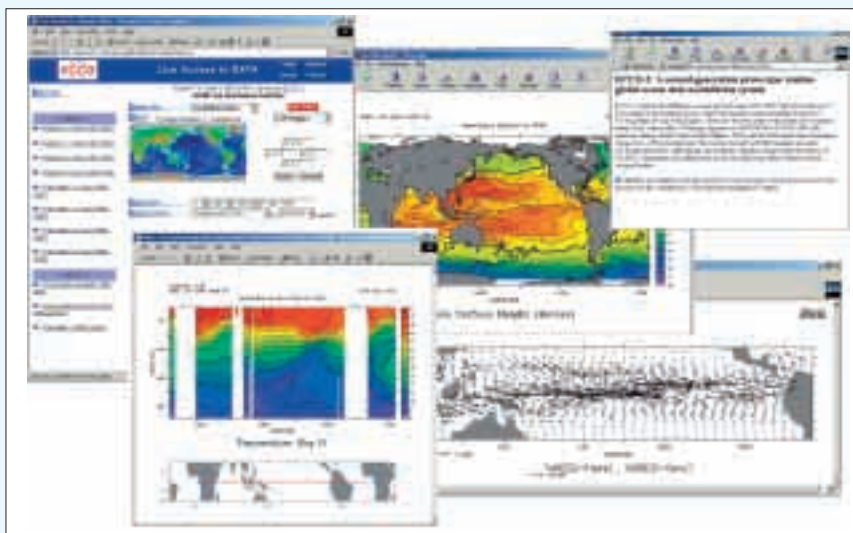
L'assimilation de données est également de plus en plus utilisée en océanographie. Cette tendance a été largement motivée par l'altimétrie satellitaire en raison de la nature de ses mesures. D'une part, des observations suffisantes sont nécessaires pour que l'assimilation ait un impact sur les modèles. D'autre part, l'assimilation se justifie notamment lorsque les observations ne permettent pas à elles seules d'appréhender la totalité du système. L'altimétrie satellitaire fournit le plus gros volume d'observations de la circulation océanique, mais elle ne mesure pas directement la circulation en profondeur.

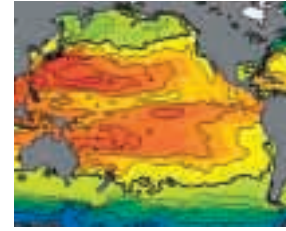
Le consortium ECCO (Estimating the Circulation and Climate of the Ocean) a effectué une série d'assimilations pour étudier la circulation océanique [Stammer et

al. 2002]. Les résultats de ces analyses sont disponibles sur le Live Access Server d'ECCO à l'adresse <http://www.ecco-group.org/las/>. Les utilisateurs peuvent y télécharger ou tracer diverses propriétés des produits d'assimilation (figure 1). Le téléchargement direct de portions plus importantes des produits, tel que par *rsync* est également possible.

L'une des analyses d'ECCO est un système d'assimilation de données océaniques quasi-mondiales en temps quasi-réel, appelé ECCO-2. Les analyses du système d'assimilation de données océaniques en temps quasi-réel d'ECCO-2 ont été régulièrement complétées tous les 10 jours environ depuis octobre 2002 et sont disponibles pour la période allant de 1993 à aujourd'hui. Les derniers résultats peuvent être obtenus sur le serveur de données ECCO mentionné ci-dessus. Les images de la dernière analyse peuvent également être observées sur le site <http://ecco.jpl.nasa.gov/external/> comme illustré à la figure 2.

Figure 1. Live Access Server d'ECCO (<http://www.ecco-group.org/las>) et exemples de graphiques qui peuvent être réalisés : température de surface de la mer, température de section zonale, et courants de surface à l'approche du pic de l'événement El Niño de 1997-98





L'analyse en temps quasi-réel constitue un outil d'observation de la circulation océanique, similaire à l'assimilation de données atmosphériques pour l'atmosphère et contribue aux objectifs de l'Expérience mondiale d'assimilation des données océaniques (Godae) qui vise à "fournir des informations régulières étendues sur l'état des océans."

L'analyse ECCO-2 est basée sur le modèle de circulation générale du Massachusetts Institute of Technology [MITgcm; Marshall et al., 1997]. ECCO-2 utilise un modèle de circulation à relativement haute résolution avec une résolution horizontale de 1° resserré à 1/3° dans les tropiques et 46 niveaux sur la verticale (couches de 10 m dans les 150 m supérieurs). L'analyse assimile l'altimétrie satellitaire (Topex/Poséidon et Jason-1) et les profils de température du Système mondial de télécommunication (SMT).

L'un des caractères distinctifs de l'assimilation ECCO est son évolution temporelle physiquement cohérente. Par exemple, des bilans de chaleur et d'eau douce (sel) peuvent être bouclés par des processus physiques explicites pour l'évolution temporelle de la circulation. Un tel bouclage est particulièrement utile pour diagnostiquer des processus qui sous-tendent les changements temporels estimés.

Cette cohérence est obtenue par l'assimilation de l'estimation des sources d'erreur en plus des erreurs de l'état du modèle qui en résultent [cf. Fukumori, 2004]. La première est ce qui est appelé les variables de contrôle de l'assimilation et, par exemple, les erreurs dans le forçage du vent, les flux de chaleur et d'eau douce et les paramètres de mélange. La deuxième inclut les erreurs de vitesse du modèle, la température et la salinité qui définissent l'état de l'océan modélisé.

L'assimilation des produits ECCO et ses outils sont utilisés pour analyser différents aspects de la circulation océanique et pour étudier l'impact de l'océan sur d'autres processus. (Voir <http://www.ecco-group.org/publications.html> pour une liste complète des études.) Par exemple, Fukumori et al. [2004] a employé l'adjonction d'un traceur passif simulé en utilisant des estimations ECCO-2 pour identifier l'origine et le trajet de l'eau de surface dans l'océan Pacifique tropical est (zone Niño3 ; 150°~90°W 5°S~5°N) qui jouent un rôle majeur dans le phénomène El Niño. En particulier, la figure 3 illustre la position de cette masse d'eau le long de l'Équateur un an avant d'atteindre Niño3. La différence de distribution reflète le flux zonal "normal" et l'upwelling pendant une année sans El Niño (3a) et l'étalement ("sloshing") zonal de la couche supérieure chaude lors d'une année El Niño (3b). Les fluctuations dans la circulation paraissent

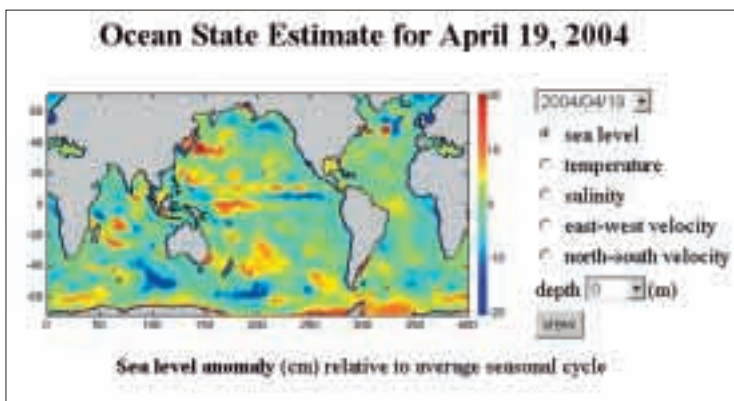


Figure 2. tracé d'une analyse en temps quasi-réel de ECCO-2 sur le site <http://ecco.jpl.nasa.gov/external>. Anomalies de sub-surface de la mer par rapport à un cycle saisonnier moyen, illustrant l'état de l'océan en temps quasi-réel.

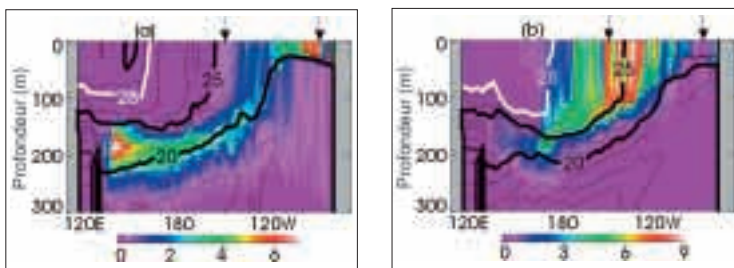


Figure 3. Distribution zonale des eaux le long de l'équateur un an avant leur arrivée en surface dans la région Niño3 (150°W~90°W, 5°S~5°N); (a), eaux de Niño3 de décembre 2000 en décembre 1999, (b) eaux de Niño3 de décembre 1997 en décembre 1996. La région colorée représente la fraction de l'eau (en unité arbitraire du traceur) qui sera dans la couche de surface de Niño3 (flèche) un an plus tard. Les contours indiquent la température. [d'après Fukumori et al. 2004.]

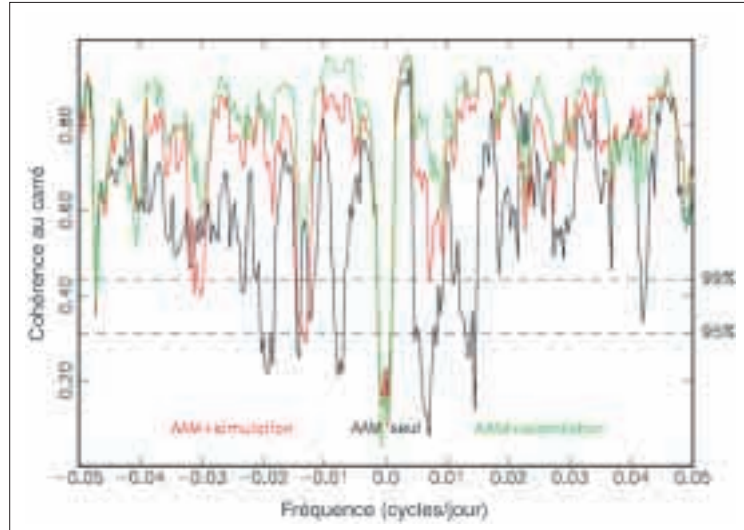
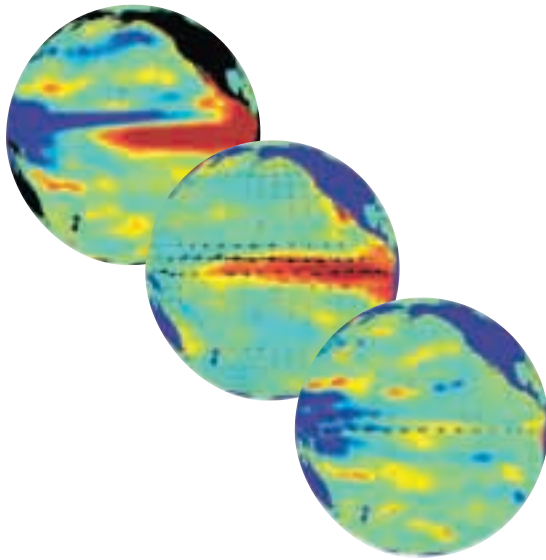


Figure 4. Cohérence entre excitation observée et modélisée de l'oscillation de la Terre (mouvement polaire); modèle atmosphérique NCep (AAM, noir), simulation ECCO-2 plus atmosphère NCep (rouge), assimilation ECCO-2 plus atmosphère NCep (vert).

agiter la masse d'eau et altérer significativement son trajet, montrant combien il est important de résoudre la variabilité temporelle océanique.

Les produits d'assimilation sont également utiles au-delà du cadre traditionnel de l'océanographie. Par exemple, Gross et al. [2003] ont employé l'analyse pour évaluer l'impact de la circulation océanique sur le mouvement des pôles, c'est-à-dire l'oscillation de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de l'écliptique. La figure 4 montre la cohérence entre l'excitation observée du mouvement polaire et celle qui est due aux changements de circulation atmosphérique et océanique tels qu'estimés par l'analyse

atmosphérique des National Centers for Environmental Prediction (NCep) et l'analyse de l'océan ECCO-2, respectivement. La prise en compte de la circulation océanique (rouge) améliore significativement la cohérence par rapport à celle résultant de l'atmosphère seule (noir) à presque toutes les fréquences. En outre, l'assimilation de l'océan (vert) améliore encore la cohérence illustrant l'impact de l'assimilation des données océaniques dans l'optimisation des estimations de la circulation océanique. La navigation satellitaire utilise des estimations du mouvement polaire et bénéficie donc des prévisions ainsi que des systèmes d'analyse de l'océan en temps quasi-réel tels que ECCO-2.

Nous encourageons l'exploitation de ces produits ECCO ainsi que d'autres dans différentes études. Des améliorations du système d'assimilation sont également introduites et seront disponibles en temps utile. Ces améliorations incluent un système à plus haute résolution (résolution globale  $1/4^{\circ}$ - $1/6^{\circ}$ ) et une expansion de la série de contrôles d'assimilation.

#### Remerciements

Ce travail est une contribution du Consortium for Estimating the Circulation and Climate of the Ocean (ECCO) financé par le US National Oceanographic Partnership Program.

Le Consortium "Estimating the Circulation and Climate of the Ocean" (<http://www.ecco-group.org>) est constitué de groupes de la Scripps Institution of Oceanography, du Massachusetts Institute of Technology, et du Jet Propulsion Laboratory.

#### Références bibliographiques

Fukumori, I., T. Lee, B. Cheng, and D. Menemenlis, 2004 : The origin, pathway, and destination of Niño3 water estimated by a simulated passive tracer and its adjoint, *J. Phys. Oceanogr.*, 34 (3), 582-604.

Fukumori, I., 2004: Budget closures in data assimilation: Physical consistency and model error source modeling, (soumis). (également disponible dans le rapport ECCO n° 26 sur le site <http://www.ecco-group.org/reports.html>)

Gross, R.S., I. Fukumori, and D. Menemenlis, 2003: Atmospheric and oceanic excitation of the Earth's wobbles during 1980-2000, *J. Geophys. Res.*, 108 (B8), art n° 2370.

Marshall, J. C., A. Adcroft, C. Hill, L. Perelman, and C. Heisey, 1997 : A finite-volume, incompressible Navier Stokes model for studies of the ocean on parallel computers, *J. Geophys. Res.*, 102, 5753-5766.

Stammer, D., C. Wunsch, I. Fukumori, and J. Marshall, 2002 : State Estimation in Modern Oceanographic Research, *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, 83 (27), 289 et 294-295.

