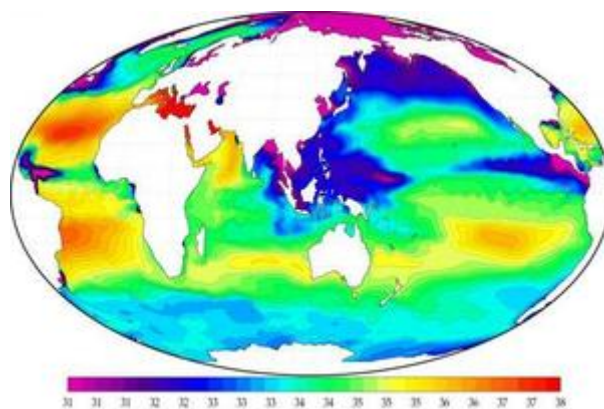


Retour vers le futur

M breves-de-maths.fr/retour-vers-le-futur/

16/10/2013

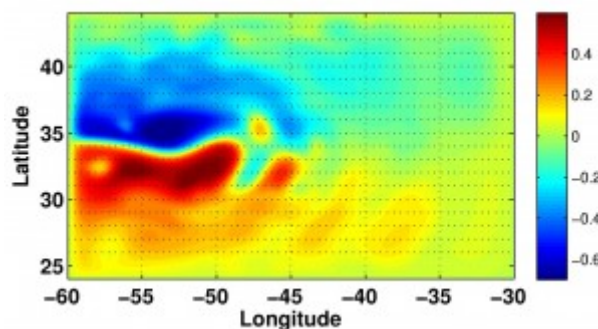
L'**assimilation de données** est l'ensemble des techniques qui permettent de combiner l'information mathématique contenue dans les **équations d'un modèle** et l'information physique provenant des **observations**. Une des applications principales concerne les écoulements géophysiques (océan, atmosphère, etc.). Comme cela a été expliqué dans une autre brève, les équations sous-jacentes sont chaotiques, c'est-à-dire très sensibles à la **condition initiale** (effet papillon de Lorenz). Pour décrire l'écoulement sur une longue période de temps, il convient donc de connaître très précisément cette condition initiale, ce que les mesures ne permettent pas directement.



Salinité de surface de l'océan simulée par NEMO.

On utilise les observations obtenues sur un certain intervalle de temps $[0, T]$ pour reconstituer une condition initiale telle que le modèle passe le plus près possible de ces observations. L'approche usuelle repose sur la minimisation de l'écart entre les observations et les résultats du modèle. Mais il existe des alternatives efficaces pour identifier cette condition initiale.

Le terme anglais **nudge** signifie au sens propre *donner un coup de coude* et au sens figuré *encourager* ou *pousser*. Par exemple, en océanographie ou en météorologie, il faut pousser la solution des équations des fluides géophysiques pour l'accorder aux résultats des observations (mesures de vent, de température, d'humidité, de pression, de salinité, etc.).



État réel de la pression à la surface de l'océan.

L'idée consiste à ajouter aux équations un terme de rappel entre les observations et les quantités correspondantes impliquées dans le modèle. Ce terme de *nudging* vise à construire un compromis entre **modèle et observations**. Cette approche se relie à la théorie des observateurs introduite par Luenberger pour les systèmes dynamiques. On peut démontrer que cet observateur est *asymptotique*. Ceci signifie que l'état du modèle s'approche de la réalité expérimentale quand le temps tend vers l'infini.

Mais dans la réalité, on ne peut pas se permettre d'attendre un temps long pour avoir cette concordance. C'est pour cela qu'on a mis au point le ***back and forth nudging***. Cette méthode fait appel à la notion de réversibilité des équations, c'est-à-dire à la possibilité de les résoudre aussi bien en avançant qu'en remontant le sens du temps. Ce dernier point est indispensable pour remonter à la condition initiale. Par exemple, les équations des ondes sont réversibles, mais celles

modélisant la diffusion de la chaleur ne le sont pas. Les équations des fluides géophysiques ne sont pas réversibles, mais, ô joie, le terme de *nudging* permet de stabiliser la résolution rétrograde de ces équations (celle qui remonte le temps). En pratique, on part d'une certaine condition initiale, on résout les équations du modèle avec le terme de *nudging* de $t = 0$ jusqu'à $t = T > 0$, puis on effectue une résolution rétrograde avec le *nudging* en partant de la solution obtenue à $t = T$: on obtient à la fin de la résolution rétrograde une nouvelle estimation de la condition initiale à $t = 0$. On répète ce processus jusqu'à convergence, ce qui dans la pratique est obtenu en quelques itérations. Cette méthode présente l'avantage d'être très simple à mettre en œuvre et très rapide.

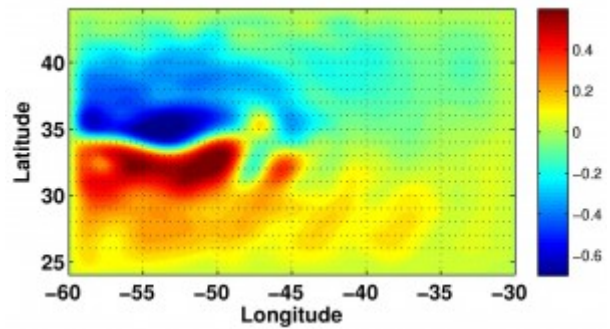
Cet algorithme a fait ses preuves sur des modèles allant des équations de Lorenz à un vrai modèle complet d'océan (voir figures). Il ne demande plus qu'à être testé dans des centres opérationnels de prévision météorologique ou océanographique.

Brève rédigée par Jacques Blum et Didier Auroux (LJAD, Université Nice-Sophia Antipolis et CNRS).

Pour en savoir plus :

- Les brèves connexes sur la météo, l'effet papillon et les courants marins.
- L'effet papillon, Etienne Ghys, Image des Mathématiques (12 novembre 2007).
- J. Blum, F.-X. Le Dimet, I.M. Navon (2009), Data Assimilation for Geophysical Fluids in Handbook of Numerical Analysis, Vol.14, Temam and Tribbia Editors, North-Holland.

Crédits images : Projet Nucleus for European Modelling of the Ocean (NEMO) ; Giovanni Ruggiero (LJAD, Université Nice-Sophia Antipolis et CNRS).



Etat identifié
par le Back and Forth Nudging.