ANALYSE DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE INTERANNUELLE À INTERDÉCENNALE À L'AIDE DU NIVEAU DE LA MER

Thierry Huck, Eduardo Costa, Sabrina Speich, Alain Colin de Verdière, Olivier Arzel
Laboratoire de Physique des Océans (UMR 6523), Brest
Anny Cazenave, Christian Le Provost, Cécile Cabanes
Laboratoire d'Études en Géophysique et Océanographie Spatiales (UMR 5566), Toulouse

1 Introduction

Quel sera le climat en Europe dans quelques années ? L'hiver sera-t-il plutôt froid et sec ou doux et pluvieux ? La prévision de ces différents régimes de temps passe par le suivi des anomalies de température et de niveau de la mer dans l'Atlantique Nord, l'océan étant la véritable mémoire du climat. Or les mécanismes régissant la propagation de ces structures de grande échelle sont encore très mal compris, d'autant plus que seules l'évolution de la température de surface océanique et de la pression atmosphérique au niveau de la mer sont relativement bien documentées. La nouveauté ici est d'associer les données altimétriques satellitaires (Topex-Poseidon), de couverture spatiale quasi-globale, et les longues séries temporelles marégraphiques, en relation avec les données hydrographiques (température, salinité), afin de reconstruire par méthodes statistiques le champ du niveau de la mer au cours du dernier siècle. Ces indications indispensables sur le contenu thermique et la dynamique de l'océan nous aideront à analyser la variabilité interannuelle à interdécennale dans différentes régions du globe (Atlantique Nord, Pacifique Nord, Courant Antarctique Circumpolaire) et à déterminer les processus physiques régissant ces variations climatiques, par comparaison aux signatures des mécanismes déjà identifiés dans des modèles numériques. Cette approche se démarque foncièrement de la démarche directe souvent poursuivie à l'aide des modèles couplés réalistes du climat. Seule l'identification des mécanismes physiques prépondérants et leur meilleure représentation dans les modèles permettra d'envisager pour le futur une capacité de prédiction du climat en Europe à plusieurs années. Ce travail s'inscrit dans le cadre du programme international CLIVAR (*Climate Variability and Predictability*).

2 Objectifs

- Développer et adapter des méthodes d'interpolation de façon à produire une base de données du niveau de la mer sur une grille regulière pendant une centaine d'années. Cette climatologie du niveau de la mer sera accessible gratuitement sur internet, pour en faire une référence mondiale contribuant au rayonnement de nos laboratoires.
- Mieux documenter la variabilité climatique globale et spécifique à certaines régions (Atlantique, Pacifique, courant antarctique), notamment établir une description statistique des principales caractéristiques physiques des séries reconstruites (cycle annuel, tendance, spectre, modes décennaux), en relation avec les variations hydrographiques.
- Contribuer à la compréhension des mécanismes thermodynamiques régissant le niveau de la mer et sa variabilité, en complétant avec des aspects dynamiques les études menées sur la propagation basse fréquence d'anomalies de température de surface océanique (e.g. le long du Gulf Stream, dans le courant circumpolaire antarctique).
- Reproduire, comprendre, comparer et valider les signatures des mécanismes de variabilité interannuelle à interdécennale reproduits dans les modéles numériques.

3 Reconstruction et description de la variabilité du niveau de la mer

Le *Permanent Service for Mean Sea Level* (UK) met gratuitement à disposition des données de marégraphe (auxquelles contribue le LEGOS) que nous serviront comme base de données historiques. Leur utilisation à des fins océanographiques nécessite une attention toute particulière (Cazenave *et al.* 1999). Les données altimétriques (Topex-Poseidon principalement) pourvoiront une base d'EOFs (fonctions empiriques orthogonales) dans une grille spatiale globale et régulière mais de durée moindre (Cabanes *et al.* 2001). Au moins deux méthodes récentes d'interpolation seront utilisées et comparées pour reconstruire les premières composantes principales du niveau de la mer (Mann *et al.* 1998, Smith *et al.* 1996), voire d'autres si possible (interpolation optimale ou par réseaux de neurones, *kriging* : Biau *et al.* 1999, Zorita et von Storch 1999). Ces résultats statistiques seront comparés aux reconstructions "physiques" du niveau de la mer en cours au LEGOS à l'aide des donnés hydrographiques historiques depuis 1950 (Levitus). Les analyses suivantes pourront alors être réalisées :

- Description statistique des principales caractéristiques physiques des séries reconstruites (cycle annuel, tendance) et de la variabilité interannuelle à interdécennale du niveau de la mer par la *Multi-Singular Spectrum Analysis* (Costa et Vautard 1997).
- Description de la variabilité décennale couplée niveau de la mer – température de la surface de l'océan par la méthode *Extended Canonical Correlation Analysis* (ECCA) (Costa et Colin de Verdière 2000).
- Description de la variabilité décennale couplée océan-atmosphère par ECCA.

4 Interprétation et mécanismes de variabilité

Dans un premier temps, on s'attachera à bien comprendre les contributions thermodynamiques (effet stérique, en cours au LEGOS) et dynamiques aux variations du niveau de la mer, à l'aide des données hydrographiques et de modèles numériques (avec surface libre). De nombreux mécanismes ont été proposés pour expliquer la variabilité du climat sur des périodes interannuelles à interdécennales, à partir d'observations et de modèles numériques réalistes : aucun ne fait néanmoins l'unanimité pour expliquer tel ou tel mode observé. Pour faciliter la détermination des mécanismes physiques prépondérants, nous nous proposons de suivre une démarche originale "inverse", c'est-à-dire à documenter la signature de différents mécanismes proposés dans la littérature sur des variables observables (température et salinité de surface, niveau de la mer, pression atmosphérique) à partir de modèles numériques, afin d'identifier les sources de variabilité dans les observations : variabilité générée par la circulation océanique turbulente forcée par le vent (Speich *et al.* 1995, Speich et Ghil 1996, entre autres), interactions entre les tourbillons subtropicaux et les vents (Latif et Barnett 1994, Grötzner *et al.* 1998, Cessi 2000, Huck et Arzel en préparation), instabilité de la circulation thermohaline (Huck *et al.* 1999, 2001, Colin de Verdière et Huck 1999, 2000, Huck et Vallis 2000), mode couplé moyenne latitude (White *et al.* 1998, Goodman et Marshall 1999, Talley 1999, Colin de Verdière et Blanc 2000).

5 Budget pour 3 ans

salaire stagiaire ou postdoc (9 mois) : 300 kF
serveur de données : 120 kF
stations de travail (PC) : 40 kF
équipement informatique divers, logiciels : 20 kF

documentation, livres : 10 kF
frais de publications : 40 kF
missions de collaboration, participation à conférences et meeting : 90 kF
Total = 620 kF

6 Références

Biau, G., E. Zorita, H. von Storch, et H. Wackernagel, 1999 : Estimation of precipitation by kriging in the EOF space of the sea level pressure field. *J. Climate*, **12**, 1070-1085.

Cazenave, A., K. Dominh, F. Ponchaut, L. Soudarin, J. F. Cretaux, et C. Le Provost, 1999 : Sea level changes from Topex-Poseidon altimetry and tide gauges, and vertical crustal motions from DORIS. *Geophys. Res. Let.*, **26**, 2077-2080.

Cabanes, C., A. Cazenave, et C. Le Provost, 2001 : Sea level change from Topex-Poseidon altimetry for 1993-1999 and possible warming of the southern oceans. *Geophys. Res. Let.*, **28**, 9-12.

Cessi, P., 2000 : Thermal feedback on wind-stress as a contributing cause of climate variability. *J. Climate*, **13**, 232-244.

Colin de Verdière, A., et T. Huck, 1999 : Baroclinic instability : an oceanic wavemaker for interdecadal variability. *J. Phys. Oceanogr.*, **29**, 893-910.

Colin de Verdière, A., et T. Huck, 2000 : A 2 degree of freedom dynamical system for interdecadal oscillations of the ocean-atmosphere. *J. Climate*, **13**, 2801-2817.

Colin de Verdière, A., et M. L. Blanc, 2000 : Thermal resonance of the atmosphere to SST anomalies. Implications for the Antarctic circumpolar wave. *Tellus*, in press.

Costa, E. D., et R. Vautard, 1997 : A qualitatively realistic low-order model of the extratropical low-frequency variability built from long records of potential vorticity. *J. Atmos. Sci.*, **54**, 1064-1083.

Costa, E. D. et A. Colin de Verdière, 2000 : Extended Canonical Correlation Analysis of North Atlantic SST and SLP. soumis à *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*.

Goodman, J., and J. Marshall, 1999 : A model of decadal middle-latitude atmosphere-ocean coupled modes. *J. Climate*, **12**, 621-641.

Grötzner, A., M. Latif, et T. P. Barnett, 1998 : A decadal climate cycle in the North Atlantic Ocean as simulated by the ECHO coupled GCM. *J. Climate*, **11**, 831-847.

Huck, T., A. Colin de Verdière, et A. J. Weaver, 1999 : Interdecadal variability of the thermohaline circulation in box-ocean models forced by fixed surface fluxes. *J. Phys. Oceanogr.*, **29**, 865-892.

Huck, T., et G. K. Vallis, 2000 : The use of tangent linear model for predicting oscillations of the three-dimensional thermohaline circulation. *Tellus*, in press.

Latif, M., et T. P. Barnett, 1994 : Causes of decadal climate variability over the North Pacific and North America. *Science*, **266**, 634-637.

Mann, M. E., R. S. Bradley et M. K. Hughes, 1998 : Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature*, **392**, 779-787.

Smith, T. M., R. W. Reynolds, R. E. Livezey, et D. C. Stokes, 1996 : Reconstruction of historical sea surface temperature using empirical orthogonal functions. *J. Climate*, **9**, 1403-1420.

Speich, S., H. Dijkstra, et M. Ghil, 1995 : Successive bifurcations in a shallow-water model applied to the wind-driven ocean circulation. *Nonlin. Proc. Geophys.*, **2**, 241-268.

Speich, S., et M. Ghil, 1996 : Interannual variability of the mid-latitude oceans : a new source of climate variability ? *Sistema Terra*, **3**(3), 33-35.

Talley, L. D., 1999 : Simple coupled midlatitude climate models. *J. Phys. Oceanogr.*, **29**, 2016-2037.

White, W. B., S.-C. Chen, et R. G. Peterson, 1998 : The Antarctic Circumpolar Wave : A Beta effect in ocean-atmosphere coupling over the Southern Ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, **28**, 2345-2361.

Zorita, E., et H. von Storch, 1999 : The analog method as a simple statistical downscaling technique : comparasion with more complicated methods. *J. Climate*, **12**, 2474-2489.