

Comptes rendus de
l'Académie des
sciences. Série 2,
Sciences de la terre et
des planètes / dir. publ.
Paul Germain

Académie des sciences (France). Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2, Sciences de la terre et des planètes / dir. publ. Paul Germain. 1994-2001.

1/ Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :

*La réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source.

*La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

Cliquer [ici](#) pour accéder aux tarifs et à la licence

2/ Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

3/ Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

*des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

*des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

4/ Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

5/ Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

6/ L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

7/ Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter reutilisation@bnf.fr.

Simulation couplée océan-atmosphère de la variabilité du climat

Eric Guilyardi, Gurvan Madec, Laurent Terray, Michel Déqué, Marc Pontaud,
Maurice Imbard, David Stephenson, Marie-Angèle Filiberti, Daniel Cariolle,
Pascale Delecluse et Olivier Thual

C.R. Acad. Sci. Paris,
t. 320, série II a,
p. 683 à 690,
1995

E. G., L. T., M. P., D. S. et O. T. :
Climate Modelling
and Global Change Project,
CERFACS, 42, avenue Gustave-Coriolis,
31057 Toulouse Cedex, France ;

G. M., M. I., M.-A. F. et P. D. :
Laboratoire d'Océanographie
DYnamique et de Climatologie,
Unité Mixte de Recherche
CNRS-UPMC-ORSTOM,
Université Pierre-et-Marie-Curie,
Case 100, 4, place Jussieu,
75252 Paris Cedex 05, France ;

M. D. et D. C. : Météo-France,
Centre National de Recherches
Météorologiques,
42, avenue Gustave-Coriolis,
31057 Toulouse Cedex, France.

Résumé Une première simulation numérique climatique de 50 ans du système global océan-atmosphère, à l'aide de modèles de circulation générale couplés, est présentée. Le seul forçage du système est le flux solaire incident au sommet de l'atmosphère. Après un choc initial modéré, qui conduit à un réchauffement tropical, les flux à l'interface océan-atmosphère se stabilisent. La dérive globale océanique en température et salinité reste relativement faible (+ 0,4°C/siècle et + 0,04 g/kg/siècle). Malgré certains biais systématiques, la robustesse et la stabilité du modèle sont un gage de qualité pour les études futures.

Mots-clés : Atmosphère, Océan, Couplage, Simulation numérique, Circulation générale.

Abstract Coupled ocean-atmosphere simulation of climate variability

A 50-year climatic numerical simulation with a global coupled ocean-atmosphere general circulation model (CGCM) is presented. The only forcing is the input of solar radiation at the top of the atmosphere. After an initial tropical warming, air-sea fluxes reach a global balance at the interface. Average oceanic temperature and salinity drifts are relatively weak (+0.4°C/century and +0.04 g/kg/century). Despite some systematic biases, the model robustness and stability are quite promising for future studies.

Keywords: Atmosphere, Ocean, Coupling, Numerical simulation, General circulation.

Abridged English Version

IN order to simulate the main features of the global climate, and its variability, a climate model must interactively represent atmosphere, ocean and cryosphere. With the advent of supercomputers, improved understanding of global climate processes and computationally efficient general circulation models (GCMs), global coupled models are now used for multidecadal climate integrations where the atmospheric and oceanic GCMs can be run synchronously (*i.e.* atmosphere and ocean communicate once each model day). The ARPEGE-OPA coupled model is a first contribution of the French climate community to this international research effort.

The atmospheric component is the climate version of the ARPEGE/IFS forecast model,

developed jointly by Météo-France and the European Centre for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF). The model and its validation are described by Déqué *et al.* (1994). A triangular spectral T21 truncation has been used for horizontal resolution corresponding to a 5.6° grid size. The model has 30 vertical levels and a good resolution in the stratosphere. The radiation scheme is described in Geleyn and Hollingsworth (1979). The deep convection uses a mass-flux scheme described by Bougeault (1985) while the shallow convection is parameterized with a modified Richardson number scheme described by Geleyn (1987). The exchange and drag coefficients for heat and momentum are computed according to Louis *et al.* (1982). Convective and

Note

présentée par
Jean-Claude André.

remise le 5 mars 1995,
acceptée le 13 mars 1995.

stratiform cloudiness are calculated using the precipitation rates and the humidity profile.

The oceanic component is the global version (Madec *et al.*, private communication) of the OPA GCM developed at the Laboratoire d'Océanographie Dynamique et de Climatologie (LODYC) (Delecluse *et al.*, 1993). The horizontal mesh is orthogonal and curvilinear on the sphere. It is not a geographical mesh as, in the Northern hemisphere, its point of convergence has been shifted onto Asia (Madec and Imbard, 1995). Its space resolution is roughly equivalent to a geographic mesh of 2 by 1.5°. It has 31 vertical levels and a turbulent kinetic energy scheme in the order of 1.5 is used for the vertical diffusion (Blanke and Delecluse, 1993).

The ARPEGE and OPA models have been coupled with the OASIS coupler developed at the Centre Européen de Recherche et Formation Avancée en Calcul Scientifique (CERFACS) (Terray, 1994) for a 50-year-period. The coupled model is only forced by seasonally varying insolation. The coupler ensures the time synchronization between the two models and performs the spatial interpolations from one grid to another. The three programs run in parallel and exchange coupling fields once per day, averaging out the diurnal cycle. Sea Surface Temperature (SST) and Sea Ice Extent are given to the AGCM and surface fluxes of heat, momentum and fresh water to the OGCM. Flux correction techniques have been used by several modelling groups in order to reduce climatic drift in long-term simulations (Meehl, 1994). In this work, the coupled model is kept free from any adjustment to ensure the coherence of the global system. The ocean initial state comes from an uncoupled simulation where the ocean was forced by climatological air-sea fluxes and constrained to the Levitus climatology (1982) for temperature and salinity. The constraint is released as soon as the coupled integration begins. The initial atmospheric state is a January 1st of an integration of the atmosphere model forced by observed SST over the 1979-1988 period.

The variation of the zonal SST field shows an initial tropical warming (within a few

months) leading to a stable mean state after 10 years (figure 1). The warm waters, initially located in the western Pacific, spread over the entire equatorial belt due to a feedback process between the tropical SST zonal gradient and the trade wind system (figure 2). The mid-latitudes reach a stable state within 2 years while high latitudes present the same biases as most coupled models: warming in Antarctica with total melting of the sea-ice within 25 years and cooling in Arctica. Thus, the stability of the coupled model at the air-sea interface after 50 years is very promising. Furthermore, the global oceanic secular drift is relatively small, +0.4°C/century (equivalent to a net heat flux of 2.5 W m⁻²) and 0.04 g/kg/century (equivalent to a net water flux of 0.07 mm day⁻¹).

The zonal mean atmospheric temperature mirrors the SST pattern: warming in the tropics (2°C), cold bias in Arctica and a warm one in Antarctica (figure 3 a, c). The meridional circulation becomes more symmetric: the Inter Tropical Convergence Zone (ITCZ) is shifted southward as is the rain belt associated with the Indian monsoon. The jet streams location is correct but the intensity of stratospheric jets has increased by 10 m s⁻¹ due to a stronger meridional SST gradient.

The thermohaline circulation is well maintained in the ocean. In the tropics, the equatorial upwelling is too weak in agreement with weak trade winds. In the tropical ocean, the simulated thermocline is tight and shows a marked "W" structure (figure 3 b, d). These features are usually not represented by coupled models which have a smooth and diffuse thermocline. Their presence, due to the vertical diffusion scheme, demonstrates the model potential and is very encouraging for future climate studies.

The first global 50-year simulation with the ARPEGE-OPA coupled model reveals interesting characteristics such as the stability of the air-sea interface, the weak oceanic secular drift and a good representation of the oceanic tropical thermal structure. The model can now be used for sensitivity studies and the model physics is being improved to make more realistic climate simulations.

1. INTRODUCTION

L'étude du climat nécessite la prise en compte globale de ses composantes principales, atmosphère, océan et cryosphère, et de leurs interactions. La complexité du système rend nécessaire l'approche par simulation numérique, qui permet une étude expérimentale de la sensibilité climatique. Pour comprendre la variabilité du climat actuel et tenter de prévoir son évolution à moyen terme (de la saison au siècle), il faut donc modéliser correctement les différentes composantes, ainsi que leurs couplages et rétroactions. L'avènement des supercalculateurs, une meilleure compréhension des phénomènes climatiques globaux et l'optimisation des modèles numériques ont permis la mise au point des modèles de circulation générale (MCG) atmosphériques (MCGA) et océaniques (MCGO). Développés initialement de façon indépendante, ces MCG sont aujourd'hui « couplés » et des modèles climatiques de plus en plus détaillés voient le jour. Le modèle couplé ARPEGE-OPA est une première contribution de la communauté climatique française à cet effort de recherche international.

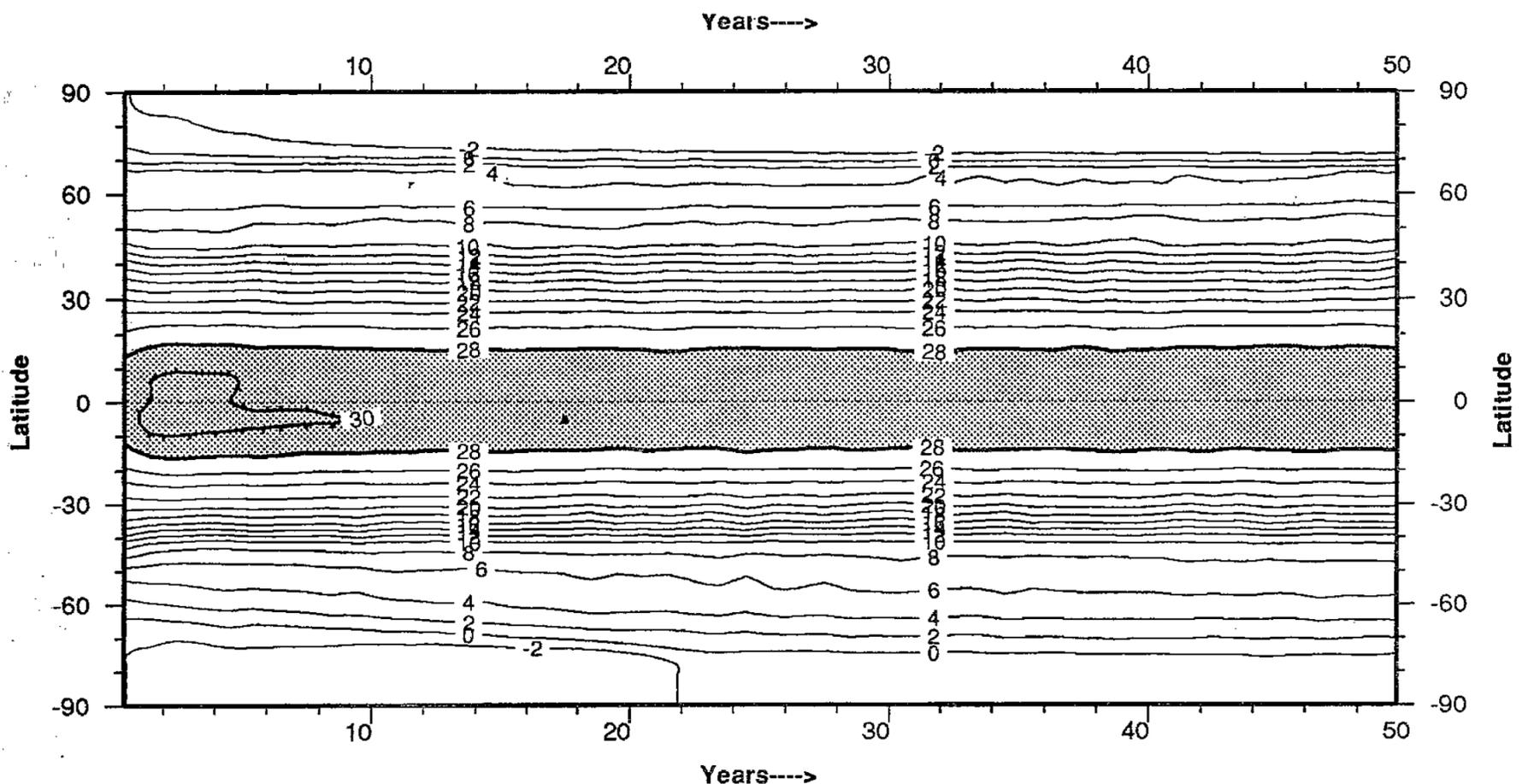
2. LE MODÈLE COUPLÉ ARPEGE-OPA

a. Le modèle ARPEGE

Le MCGA ARPEGE, développé à Météo-France à partir du modèle de prévision ARPEGE/IFS, est un modèle spectral de génération avancée (Déqué *et al.*, 1994). Une troncature triangulaire spectrale T21 est utilisée ici, ce qui correspond à une résolution horizontale équivalente de $5,6^\circ$. Le modèle a 30 niveaux sur la verticale et une bonne résolution dans la stratosphère. Le schéma de radiation est issu de Geleyn et Hollingsworth (1979). Les nuages convectifs et stratiformes sont calculés à partir du taux de précipitation et d'un profil d'humidité critique. La convection profonde utilise le schéma de flux de masse décrit par Bougeault (1985) et la convection peu profonde est paramétrisée à l'aide d'une modification du nombre de Richardson (Geleyn, 1987). Les coefficients d'échange et de frottement pour la chaleur et la quantité de mouvement sont calculés selon les formules de Louis *et al.* (1982) et la température du sol est calculée par un schéma à deux niveaux (Déqué *et al.*, 1994).

Figure 1 Variation de la température de surface de la mer ($^\circ\text{C}$) en moyenne annuelle et zonale sur les 50 années de simulation. Les valeurs supérieures à 28°C sont en grisé et l'intervalle de contour est de 2°C .

Latitude-time diagram of the yearly and zonally averaged sea surface temperature over the 50 simulated years. Values greater than 28°C are shaded and contour interval is 2°C .



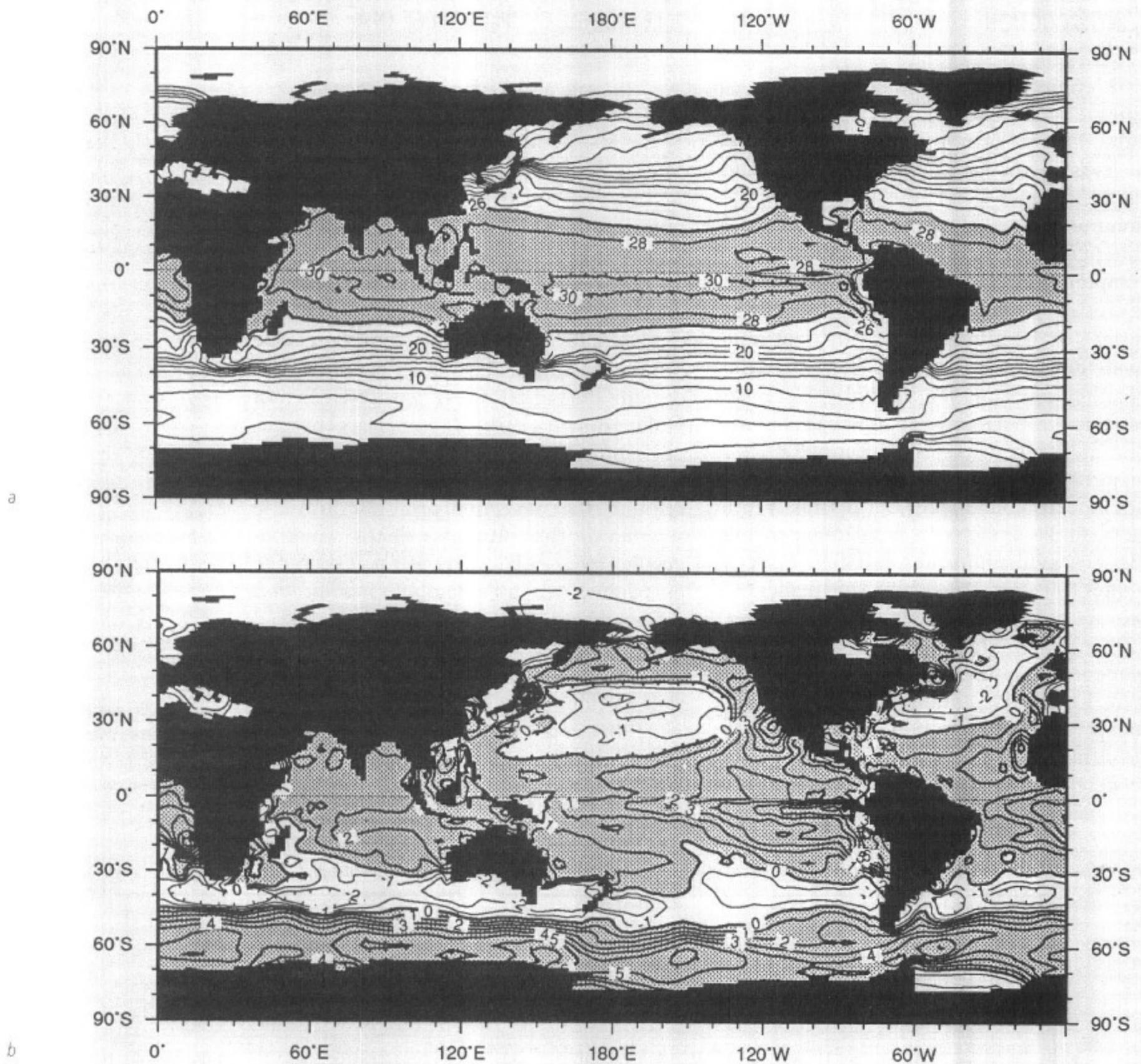


Figure 2 Légende page suivante.

Caption on following page.

b. Le modèle OPA

Le MCGO OPA a été développé par Madec *et al.* (communication personnelle) à partir du code de calcul OPA du Laboratoire d'Océanographie Dynamique et de Climatologie (LODYC) (Delecluse *et al.*, 1993). C'est un modèle aux différences finies qui résout les équations primitives de la circulation océanique. Le maillage horizontal est formé

par une grille curviligne orthogonale sur la sphère, qui n'est pas géographique car, au Nord, son point de convergence est placé sur l'Asie (Madec et Imbard, 1995). Sa résolution spatiale est équivalente à celle d'un maillage géographique de 2° en longitude par 0,5 à 1,5° en latitude (précision maximale à l'équateur). Le modèle comporte 31 niveaux sur la verticale dont 10 dans les 100 premiers mètres. La paramétrisation de

la diffusion horizontale est du second ordre à coefficient constant. Le mélange vertical est paramétrisé par un schéma d'énergie cinétique turbulente à fermeture d'ordre 1,5 (Blanke et Delecluse, 1993). La paramétrisation de la glace de mer se réduit à un test sur la température de surface de la mer. En cas de présence de glace, un flux de chaleur constant est imposé à l'océan (-2 W m^{-2} dans l'Arctique et -4 W m^{-2} dans l'Antarctique).

c. Le coupleur OASIS

Le logiciel de couplage OASIS, développé au CERFACS (Terray, 1994) et mis à la disposition de la communauté climatique, assure la synchronisation temporelle de deux modèles d'océan et d'atmosphère et effectue l'interpolation spatiale d'une grille à l'autre. Cette spécificité du coupleur permet l'échange entre des grilles très différentes, qui peuvent donc être chacune mieux adaptée à la physique du milieu modélisé. Le couplage ARPEGE-OPA est du type « synchrone » avec une périodicité d'échange des flux d'un jour. L'océan reçoit de l'atmosphère les flux de chaleur et de quantité de mouvement, ainsi que le bilan d'eau (évaporation moins précipitation). En retour, il transmet à l'atmosphère une température de surface de la mer (SST) et l'indice d'extension de la banquise.

La dérive séculaire de la température et de la salinité dans l'océan représente souvent un biais important pour l'ensemble des modèles couplés globaux. Elevée, elle éloigne le système couplé de l'état observé et ne permet plus d'étudier la variabilité du climat actuel. Pour y remédier, un moyen largement répandu consiste à corriger de façon artificielle et systématique les flux échangés à l'interface air-mer (Meehl, 1994). Dans la présente étude, nous avons choisi de garder l'entière cohérence du système couplé. Les flux air-mer calculés par le modèle d'atmosphère sont donc intégralement transmis à l'océan, sans correction d'aucune sorte. Le système couplé n'est donc forcé que par le seul flux solaire au sommet de l'atmosphère.

3. UNE PREMIÈRE EXPÉRIENCE COUPLÉE DE 50 ANS

a. État initial

Le modèle couplé décrit ci-dessus a été intégré sur une durée physique de 50 ans. L'état initial océanique a été obtenu en forçant le modèle d'océan par des flux air-mer climatologiques, tout en contraignant la température et la salinité à rester proches de celles données par l'atlas de Levitus (1982). Au moment du début du couplage, la contrainte interne de rappel à l'état observé est supprimée. L'état initial atmosphérique est un 1^{er} janvier issu d'une simulation du modèle d'atmosphère seul, forcé par les températures de surface de la mer observées sur la période 1979-1988.

b. Résultats

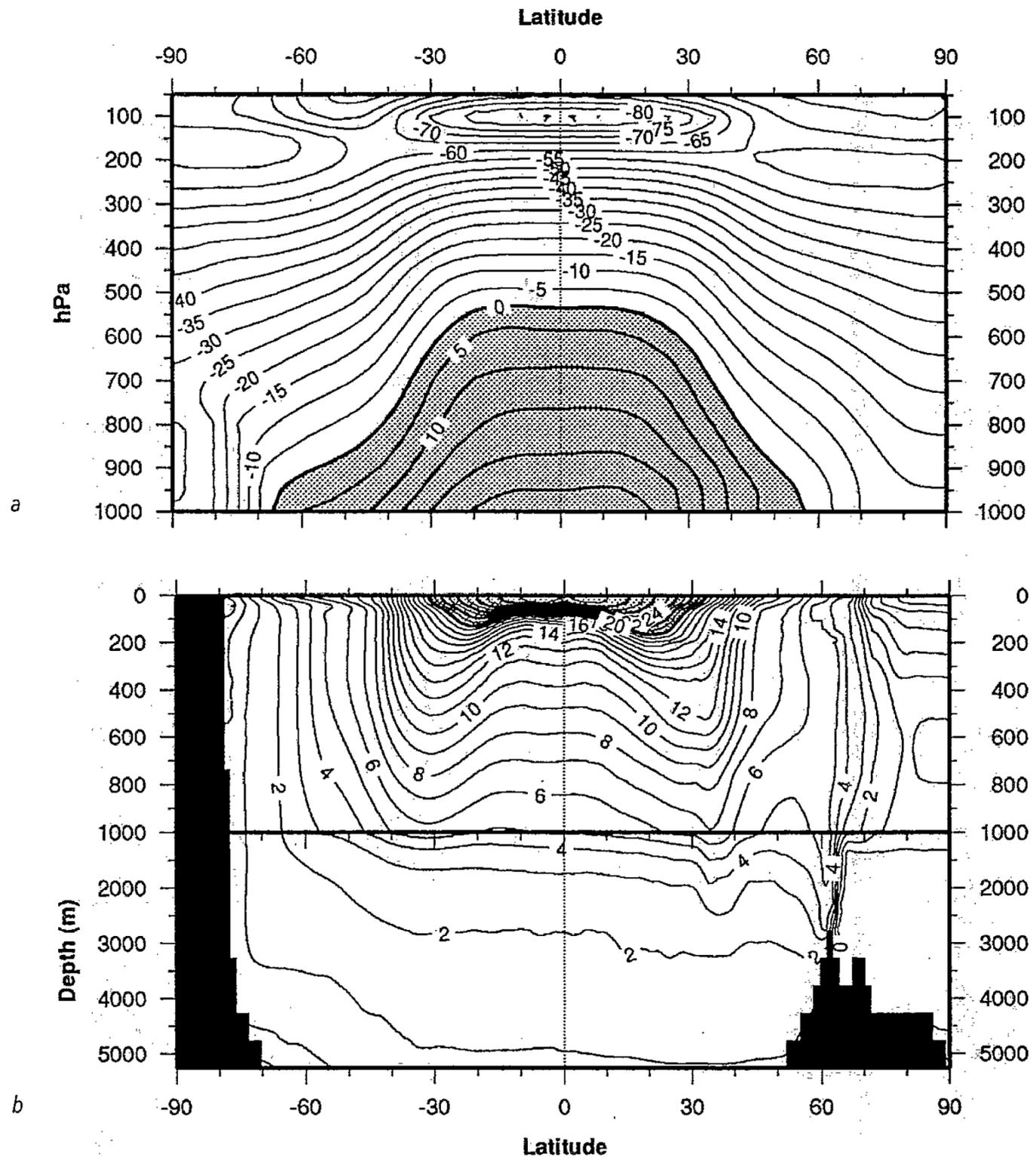
L'analyse de la SST permet un premier regard sur les résultats du couplage. La figure 1 présente l'évolution temporelle de la moyenne zonale annuelle de la SST en fonction de la latitude. Tout d'abord, on observe une période d'ajustement dont la durée est fonction de la latitude. Les tropiques se réchauffent rapidement (quelques mois) et se stabilisent au bout de 10 ans. Les moyennes latitudes sont stabilisées en moins de 2 ans. Aux hautes latitudes, et bien que la paramétrisation de la glace de mer soit très simplifiée, les couvertures de glace ont les mêmes biais systématiques que ceux rencontrés dans les autres modèles couplés : fonte quasi-totale dans l'océan antarctique au bout de 25 ans et extension dans l'océan arctique, accompagnée d'une disparition du cycle saisonnier. Malgré ces limitations, la réussite principale du modèle est de conduire à une stabilité de l'état à l'interface (SST) maintenue jusqu'à 50 ans.

L'état moyen obtenu dans les tropiques est toutefois légèrement trop chaud ($+0,6^\circ$ en moyenne). Les eaux chaudes (supérieures à 29°), initialement confinées à la région indonésienne, envahissent très rapidement (en quelques mois) la quasi-totalité de la ceinture équatoriale (figure 2 a). On assiste ainsi à un affaiblissement des gra-

Figure 2 a. Température de la surface de la mer moyennée sur la dernière année de la simulation. Les valeurs supérieures à 26°C sont en grisé et l'intervalle de contour est de 2°C . b. Différence entre la température de la surface de la mer ($^\circ\text{C}$) de la simulation couplée (moyenne sur la dernière année) et celle de la climatologie de Levitus. Les valeurs supérieures à 0°C sont en grisé et l'intervalle de contour est de 1°C .

a. SST averaged over the last year of the simulation. Values greater than 26°C are shaded and contour interval is 2°C . b. Difference map between the SST of the coupled simulation (averaged over the last year) and the Levitus climatology. Values greater than 0°C are shaded and contour interval is 1°C .

Figure 3 a. Moyenne zonale de la température atmosphérique (°C) moyennée sur les 10 dernières années de simulation. Les valeurs supérieures à 0°C sont en grisé et l'intervalle de contour est de 5°C. **b.** Moyenne zonale de la température océanique (°C) établie sur la dernière année de simulation. Les valeurs supérieures à 20°C sont en grisé et l'intervalle de contour est de 1°C. L'échelle verticale est modifiée en-dessous de 1 000 m.



dients zonaux de température dans les tropiques qui s'accompagnent d'une diminution importante des alizés. Un tel comportement a déjà été observé dans un précédent couplage où, seul, l'océan Pacifique tropical interagissait avec l'atmosphère (Terray *et al.*, 1995): Le cycle saisonnier équatorial est toujours marqué mais déplacé vers l'Est dans le Pacifique. Les zones associées aux anticyclones sub-tropicaux sont anormalement chaudes (figure 2 b), en raison d'une absence de nuages bas du type strato-cumulus qui permettraient de diminuer le flux solaire incident à la surface de l'océan.

La dérive globale dans l'océan reste très faible : + 0,4°C/siècle, soit un flux net à la surface de + 2,5 W m⁻², et + 0,04 g/kg/siècle, soit un flux d'eau douce à la surface de + 0,07 mm/jour. Ces valeurs moyennes masquent néanmoins des écarts locaux importants. Par exemple, les eaux intermédiaires (entre 400 et 1 000 m) se réchauffent plus fortement (2 à 4° par siècle), alors que les eaux sous la thermocline tropicale se refroidissent (figure 3 d).

En moyenne zonale, la température de l'atmosphère reflète le comportement de la SST avec un réchauffement moyen de 2° au-

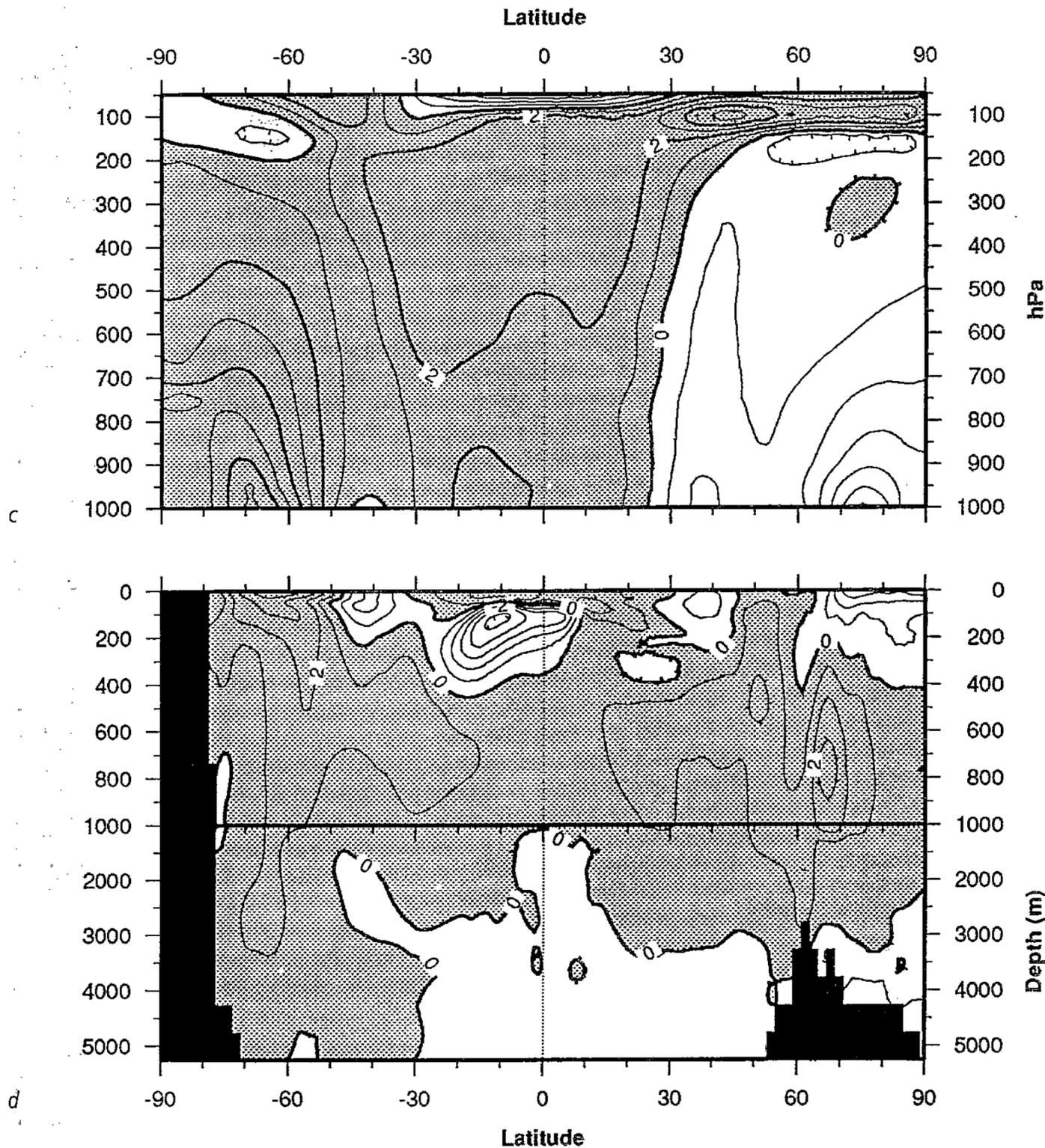


Figure 3 c. Différence entre la moyenne zonale de la température atmosphérique ($^{\circ}\text{C}$) de la simulation couplée (moyenne sur les 10 dernières années) et celle de la simulation forcée par les températures de surface de la mer observées sur la période 1979-1988. Les valeurs supérieures à 0°C sont en grisé et l'intervalle de contour est de 1°C .

d. Différence entre la moyenne zonale de la température océanique ($^{\circ}\text{C}$) de la simulation couplée (moyenne sur la dernière année) et celle de la climatologie de Levitus. Les valeurs supérieures à 0°C sont en grisé et l'intervalle de contour est de 1°C . L'échelle verticale est modifiée en-dessous de 1 000 m.

c. Difference map between the atmospheric temperature zonal mean of the coupled simulation (averaged over the last 10 years) and that of the forced one with observed SST over 1979-1988. Values greater than 0°C are shaded and contour interval is 1°C .

d. Difference map between the oceanic temperature zonal mean of the coupled simulation (averaged over the last year) and the Levitus climatology. Values greater than 0°C are shaded and contour interval is 1°C . The vertical scale is distorted below 1,000 m.

dessus des tropiques (**figure 3 a, c**) et présente un biais classique au-dessus des pôles : refroidissement au Nord et réchauffement au Sud. Au niveau dynamique, on observe une symétrisation de la circulation atmosphérique autour de l'équateur, comme en témoignent une zone de convergence inter-tropicale déplacée vers le Sud et une mousson indienne affaiblie et également déplacée vers le Sud. La position des jets atmosphériques est conservée. Toutefois, du fait de l'augmentation du gradient méridien de SST, les jets stratosphériques sont fortement accélérés, gagnant près de 10 m s^{-1} .

Dans l'océan, la circulation thermohaline est maintenue. Dans les tropiques, on note un affaiblissement de l'« upwelling » (remontée d'eaux froides) équatorial, ce qui est cohérent avec l'affaiblissement des alizés. Dans l'océan tropical, la moyenne zonale de la température montre une thermocline très pincée (**figure 3 b, d**) et une bonne structure en « W », qualités jusqu'à présent absentes de modèles couplés, qui présentent une thermocline trop diffuse et trop plate (Meehl, 1994). Ceci est le fait du schéma de diffusion verticale choisi dans l'océan.

Les analyses préliminaires présentées ici témoignent de la qualité du modèle couplé ARPEGE-OPA. La stratégie retenue pour le développement de ce modèle s'avère donc bonne : à la différence des autres principaux groupes, les composantes atmosphérique et océanique ainsi que le coupleur ont été développés de façon indépendante par des organismes à la pointe de leurs domaines respectifs. Le soin et les efforts, apportés par chacun, aux paramétrisations physiques, à l'équilibrage des flux aux interfaces, aux bilans d'énergie et de quantité de mouvement, ont permis 1. un premier couplage réussi sans ajustement des modèles, 2. une dérive climatique faible, 3. l'inversion de certains biais systématiques jusqu'à présent propres aux modèles couplés. Ces différentes réussites sont encourageantes pour la suite et mettent en relief les potentialités du modèle par rapport à ses équivalents internationaux.

4. CONCLUSION

Un modèle global couplé océan-atmosphère pour l'étude de la variabilité du climat a été présenté. Les MCG atmosphérique ARPEGE et océanique OPA ont été couplés par le logiciel OASIS. Cette première contribution de la communauté climatique française à l'effort de recherche international présente des qualités jusqu'à présent absentes des précédents modèles. Une stabilisation rapide de l'interface air-mer, une représentation améliorée de la thermocline tropicale, une dérive globale faible sont autant d'atouts qui placent le modèle parmi les tout premiers de ses équivalents mondiaux. Certains des biais inhérents aux modèles couplés sont présents dans le modèle. Néanmoins, la robustesse et la stabilité du modèle ARPEGE-OPA sont encourageantes pour la suite. Les premières analyses de cette expérience permettent d'ores-et-déjà d'envisager des améliorations sensibles de la physique de chaque modèle.

Les calculs ont été effectués sur le CRAY C98 de l'Institut de Recherche en Informatique Scientifique du CNRS (IDRIS). Le logiciel VAIRMER développé au CERFACS a été utilisé pour le stockage et le traitement des données.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BLANKE, B. et DELECLUSE, P., 1993. Low frequency variability of the tropical Atlantic ocean simulated by a general circulation model with mixed layer physics, *J. Phys. Oceanogr.*, 23, p. 1363-1388.
- BOUGEAULT, P., 1985. A simple parametrization of the large-scale effects of deep cumulus convection, *Mon. Weather Rev.*, 113, p. 2108-2121.
- DELECLUSE, P., MADEC, G., IMBARD, M. et LEVY, C., 1993. OPA version 7: Ocean General Circulation Model Reference Manual, *Internal Report LODYC 93/05*.
- DÉQUÉ, M., DREVETON, C., BRAUN, A. et CARIOLLE, D., 1994. The climate version of Arpege/IFS: a contribution to the French community climate modelling, *Clim. Dyn.*, 10, p. 249-266.
- GELEYN, J. F., 1987. Use of a modified Richardson number for parametrizing the effect of shallow convection, *J. Meteor. Soc. Japan*, Special NWP Symposium Volume, p. 141-149.
- GELEYN, J. F. et HOLLINGSWORTH, A., 1979. An economical analytic method for the computation of the interaction between scattering and line absorption of radiation, *Beit. Phys. Atmos.*, 52, p. 1-16.
- LEVITUS, S., 1982. Climatological atlas of the world ocean, *NOAA professional paper*, 13, 173 p.
- LOUIS, J. F., TIEDKE, M. et GELEYN, J. F., 1982. A short history of the operational PBL-parametrization at ECMWF. In *Proceedings of ECMWF workshop on planetary boundary layer parametrization*, 25-27 November 1981, p. 59-80, ECMWF, Shinfield Park, Reading.
- MADEC, G. et IMBARD, M., 1995. A global ocean mesh to overcome the North Pole singularity, *Climate Dynamics* (soumis).
- MEEHL, G. A., 1994. Workshop on global coupled general circulation models, *Bulletin of the American Meteorological Society* (soumis).
- TERRAY, L., 1994. The OASIS Coupler User Guide Version 1.0, *CERFACS Technical Report TR/CMGC/94-05*.
- TERRAY, L., THUAL, O., BELAMARI, S., DÉQUÉ, M., DANDIN, P., LÉVY, C. et DELECLUSE, P., 1995. Climatology and interannual variability simulated by the ARPEGE-OPA model, *Climate Dynamics*, (accepté).