



**INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION**

**CENTRE DE BREST**

**IMPACT CLIMATIQUE DU EL-NIÑO  
SUR L'ATLANTIQUE TROPICAL**

**Une intercomparaison de trois AGCMs durant la  
période 1982-1984**

**Jacques SERVAIN**

**Document Scientifique du Centre ORSTOM de Brest  
N° 70, Novembre 1993**

## INTRODUCTION

Ce rapport scientifique fait partie d'une série de travaux dont l'objectif est d'étudier, et si possible de mesurer, l'impact climatique du phénomène El-Niño sur l'Atlantique tropical. On trouvera en *Annexe 1* l'énoncé de ce projet de recherche tel qu'il avait été écrit en août 1991 à la suite d'un workshop à Trieste sur la variabilité du climat (Servain, 1991).

Rappelons brièvement ici qu'après avoir choisi une période supposée propice à ce genre de téléconnexions (la période 1982-1984 où se sont succédés l'El-Niño de 1982-1983 sur le Pacifique et l'événement chaud de 1984 sur l'Atlantique) nous voulions combiner simulations atmosphériques et simulations océaniques suivant le schéma suivant :

**Etape 1 :** Forcer un (ou mieux, plusieurs) AGCM(s) en utilisant uniquement la perturbation SST sur la région El-Niño, la climatologie SST étant utilisée sur le reste de l'océan mondial (en fait, nous le verrons plus loin, trois simulations seront nécessaires pour chaque type de modèle utilisé).

**Etape 2 :** Comparer les résultats de ces simulations AGCMs entre eux et les confronter aux observations lorsque celles-ci sont accessibles (principalement la tension du vent).

**Etape 3 :** Utiliser les résultats de ces simulations AGCMs pour forcer un modèle OGCM sur l'Atlantique (il s'agit du modèle 3D du LODYC dans sa version la plus récente).

**Etape 4 :** Comparer les résultats de ces simulations OGCMs avec les observations océaniques (principalement grâce à FOCAL) et conclure sur l'influence réelle ou non du phénomène El-Niño sur la variabilité interannuelle de l'Atlantique équatorial.

Actuellement, l'étape 1 est achevée avec l'utilisation de trois AGCMs. Le présent rapport fait principalement l'objet de l'étape 2. Les étapes 3 et 4 sont partiellement réalisées, les résultats d'un seul AGCM ayant déjà été utilisé pour forcer l'OGCM du LODYC. Une présentation des premiers résultats de l'expérience a été effectuée en avril 1993 lors d'un workshop à Hambourg sur l'étude de la prévision du climat à moyenne échéance (Delecluse *et al.*, 1993a). Un article (Delecluse *et al.*, 1993b) est actuellement en cours de soumission dans *Tellus*. On pourra consulter en *Annexe 2* un résumé de ces premiers résultats (Servain et Delecluse, 1993) préparé pour l'Atelier de Modélisation de Météofrance (Toulouse, 1-2 décembre 1993).

Dans le présent rapport (en dehors des Annexes 1 et 2) ne sont présentées qu'une sélection de cartes et de séries temporelles illustrant l'intercomparaison entre les simulations des trois AGCMs, ainsi que leur comparaison avec l'observation de tension de vent, seule cette dernière étant facilement accessible grâce aux données des navires marchands.

Les trois AGCMs utilisés dans cette expérience sont les suivants. Ils fonctionnent tous en mode climat (voir en *Annexe 2* pour plus de détails) :

1. Le modèle ECHAM3-(T42) du Max-Plank-Institut (MPI, Hambourg)
2. Le modèle EMERAUDE-(T42) de Météofrance (CNRM, Toulouse)
3. Le modèle du Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD, Paris)

On utilisera la terminologie suivante pour différencier chacun des types de simulations (voir Annexes 1 et 2 pour plus de détails) :

- ACR (pour "Atmospheric Climatic Run") : simulation "climatique" annuelle utilisant la SST climatique sur l'ensemble de l'océan mondial.

- **AWR** (pour "Atmospheric World Run") : simulation "réelle" 1982-1984 utilisant la SST réellement observée (fichier AMIP) sur l'ensemble de l'océan mondial.

- **APR** (pour "Atmospheric Pacific Run") : simulation "Pacifique" 1982-1984 utilisant la SST réellement observée (fichier AMIP) sur la zone El-Niño et la SST climatique sur le reste de l'océan mondial.

**Les résultats de ces différentes simulations seront analysés ici au niveau le plus proche de la mer et uniquement sur la région Atlantique couvrant la domaine du modèle de l'OGCM du LODYC (60°N-40°S). Les simulations sont intégrées et stockées sur un intervalle de temps de 10 jours.**

Les paramètres analysés - servant au forçage de l'OGCM - sont pour chacune des trois simulations déduites de chacun des trois AGCMs (en tout il y a donc 9 simulations) :

- **Les composantes zonales ( $\tau^x$ ) et méridienne ( $\tau^y$ ) de la Tension du Vent**
- **Les bilans des Quantités de Chaleurs Latente ( $Q_l$ ) et Sensible ( $Q_s$ )**
- **Les Rayonnements Infra-rouge (LW) et Visible (SW). Rayonnements incidents dans le cas des modèles du MPI et du CNRM, bilans nets de ces rayonnements dans le cas du modèle du LMD.**
- **Le bilan Précipitation moins Evaporation (P-E).**

Nous montrons tout d'abord une sélection de cartes de ces différents paramètres (Figs. 1 à 30). Ces cartes correspondent à des intégrations temporelles diverses (du mois à l'année), ainsi qu'à des différences pouvant être considérées comme des *anomalies* lorsque la référence est climatique, ou bien comme des *effets de "balance"* lorsque ce sont deux années successives avec une modification importante du signal climatique (ex. 1983 et 1984) qui sont comparées. Etant donné notre connaissance *à priori* de la variation climatique sur l'Atlantique tropical durant les années 1983 et 1984 (voir en Annexes 1 et 2 pour plus de développements), l'accent est mis ici,

- d'une part sur la différence de tension de vent entre mai 1983 (*alizés forts*) et mai 1984 (*alizés faibles*),

- d'autre part sur la différence du bilan P-E entre le 1<sup>er</sup> semestre 1983 (*sec*) et le 1<sup>er</sup> semestre 1984 (*humide*).

Nous montrons ensuite (Figs. 31 à 41) quelques séries chronologiques de la tension zonale du vent et du bilan P-E pour deux régions tests,

- **EQW1**, située en zone équatoriale au large du Brésil, pour montrer la "balance" entre l'accélération et la relaxation des alizés entre mi-1983 et mi-1984,

- **EQW2**, située en zone équatoriale ouest, pour montrer la "balance" entre le régime plus sec du début 1983 et le régime plus humide du début 1984.

Un calcul de coefficients de corrélation entre ces séries temporelles a été réalisé, et les principaux résultats apparaissent sur les tableaux N<sup>os</sup> 1 à 4.

Une rapide conclusion est finalement proposée.

## RESULTATS

Ce rapport étant un document de travail, nous ne ferons état ici que de l'essentiel des résultats tels qu'ils apparaissent de la manière la plus évidente à partir des figures présentées. Une discussion plus approfondie de ces résultats sera effectuée ultérieurement. Nous pensons cependant qu'à partir d'une analyse détaillée des figures le lecteur pourra compléter utilement ce qui suit.

A noter que pour une comparaison pratique des résultats des différentes simulations AGCMs, nous les avons interpolées suivant une même grille  $2^\circ$  latitude  $\times$   $2^\circ$  longitude, qui correspond à la grille utilisée pour les observations de tension du vent. Si le domaine représenté sur les cartes correspond à la zone totale de forçage de l'OGCM du LODYC, il est évident que nous ne discuterons que de la zone équatoriale atlantique, les résultats pour les régions situées aux moyennes latitudes ne pouvant être considérés comme représentatifs dans ce type de réalisation d'AGCMs.

A noter aussi que pour la représentation graphique des séries temporelles illustrées dans ce rapport on a effectué une moyenne mobile sur 3 points à partir des résultats décennaires des simulations AGCMs; ceci afin d'améliorer la lisibilité des figures et aussi de permettre une comparaison adéquate avec les observations (de tension de vent) qui elles sont mensuelles.

### 1. Comparaison des moyennes climatiques

- La figure 1 fait état de la moyenne climatique annuelle de la tension du vent observée (et non la pseudo-tension !) à partir des données des navires marchands (moyenne calculée sur la période 1964-1991). La figure 2 montre cette moyenne climatique annuelle (ACR) dans le cas des modèles du MPI (a), du CNRM (b) et du LMD (c). On voit que les modèles du MPI et du CNRM sont proches entre eux et plus proches des observations que celui du LMD, ce dernier paraissant insuffisamment énergétique. On note aussi sur les modèles du CNRM et du LMD un problème (problème numérique dans le schéma de turbulence ?) le long de la côte ouest de l'Afrique au sud de l'équateur.

- Les moyennes climatiques annuelles (ACR) des bilans nets de chaleurs latentes et sensibles sont représentées figures 3 et 4 respectivement. On constate que les valeurs les plus élevées de  $Q_l$  se rencontrent pour le modèle du CNRM, les plus faibles pour le modèle du LMD. Ce sont celles, intermédiaires, données par le modèle du MPI qui semblent se rapprocher le mieux des calculs effectués par Oberhuber (1988; ci-après noté OB) à partir des COADS. Peu de différences en ce qui concerne  $Q_s$ , il est vrai que cette quantité est relativement faible en zone tropicale.

- A part le long de la côte nord-est de l'Amérique du Sud, la moyenne climatique annuelle (ACR) du rayonnement SW incident est légèrement plus faible lorsqu'elle est simulée par le modèle du MPI (Fig. 5a) que lorsqu'elle est simulée par le modèle du CNRM (Fig. 5b). C'est l'inverse pour le rayonnement LW incident (Figs. 6a et 6b). Le bilan net de ces deux rayonnements déduits des simulations climatiques du modèle du LMD (Figs. 5c et 6c) est de l'ordre de grandeur de celui fourni par OB.

- La moyenne climatique annuelle (ACR) du bilan P-E fait apparaître d'assez grandes différences selon les modèles (Fig. 7). Il semblerait que ce soit le modèle du MPI qui se rapproche le mieux des valeurs données par OB, en particulier par le signal d'une bande longitudinale positive (excès des précipitations sur l'évaporation) entre les deux continents au niveau de l'ITCZ.

- Les figures 8 à 12 montrent quelques différences entre moyennes climatiques, le modèle du MPI étant pris ici comme valeur étalon. On retrouve bien sûr les résultats précédents, avec cependant une meilleure acuité concernant certains détails.

## 2. Comparaison de la tension du vent entre mai 1983 et mai 1984

- Les moyennes mensuelles des observations de tension du vent pour mai 1983 et mai 1984 sont données figures 13 et 18. On note que cette tension du vent était nettement plus faible en mai 1984 qu'en mai 1983, particulièrement le long de l'équateur à l'est de 20°W (Fig. 18).

- Sur les figures 14 à 17 d'une part, 19 à 23 d'autre part nous tentons de répondre à la question : *cette "balance" dans la tension du vent entre mai 1983 et mai 1984 est-elle correctement reproduite à partir des simulations AWR d'abord, APR ensuite, déduites des trois modèles du MPI, du CNRM et du LMD ?*

\* La réponse est *nettement affirmative* pour ce qui concerne la réalisation AWR du modèle du MPI ( Fig. 19c). Elle est *significativement affirmative* pour ce qui concerne la réalisation AWR du modèle du CNRM (Fig. 21 c). Cette réponse demeure *grossièrement affirmative* dans le cas des réalisations APR du modèle du MPI (Fig. 20b) et du modèle du CNRM (Fig. 21b). En revanche, la réponse est *franchement négative* dans le cas des réalisations AWR et APR du modèle du LMD. On retrouve ici sur le modèle du LMD son défaut noté plus haut concernant un déficit énergétique de la tension du vent près de la surface de la mer.

## 3. Comparaison du bilan P-E entre le 1<sup>er</sup> semestre 1983 et le 1<sup>er</sup> semestre 1984

On sait (ex.: Horel *et al.*, 1986) que sur l'Atlantique tropical le premier semestre 1984 fut nettement plus humide que lors de la période équivalente en 1983. Ici nous allons essayer de répondre à la question : *cette "balance" entre 1983 sec et 1984 humide est-elle correctement reproduite à partir des simulations AWR d'abord, APR ensuite, déduites des trois modèles du MPI, du CNRM et du LMD ?*

Sur les figures 24 à 30 nous tentons de répondre à cette question.

\* La réponse est *hautement affirmative* dans le cas de la réalisation AWR du modèle du MPI (Fig. 29a); elle demeure *significativement affirmative* dans le cas de la réalisation APR de ce modèle (Fig. 30a). La réponse semble *encore positive* dans le cas des réalisations AWR déduites des modèles du CNRM (Fig. 29b) et du LMD (Fig. 29c), ainsi que dans le cas de la réalisation APR du modèle du CNRM (Fig. 30b), mais uniquement le long de la côte américaine; elle *ne semble pas significativement positive* dans le cas de la réalisation APR du modèle du LMD (Fig. 30c).

## 4. Séries temporelles de la tension zonale du vent sur la zone EQW1

L'ouest équatorial de l'Atlantique est une zone hautement sensible pour ce qui concerne le champ de forçage dynamique de l'océan tropical en général, celui du Golfe de Guinée en particulier. C'est principalement à partir de cette région que peut se propager vers l'est un signal d'upwelling (ou inversement de downwelling) associé à un renforcement (ou inversement un affaiblissement) de la composante zonale des alizés (Busulacchi & Picaut, 1983; Servain, 1984). Les observations de vent faites durant le programme FOCAL (1982-1984) ont permis de vérifier le bien-fondé de ce processus dynamique (Reverdin *et al.*, 1991).

Nous avons choisi ici de discuter des séries temporelles (1982-1984) de la tension zonale du vent - observée et simulée - intégrée sur la zone EQW1 (Brésil - 20°W ; 4°N - 6°S), que l'on peut visualiser figure 31a.

Les séries temporelles des observations de tension zonale, et leurs anomalies par rapport à la climatologie 1964-1991, sont représentées figure 32. Les faits les plus importants à remarquer sont les suivants :

- fortes valeurs négatives (renforcement du vent) en 1982 et surtout 1983;
- faibles valeurs négatives (affaiblissement du vent) en 1984;
- relaxation importante du vent entre mi-1983 et mi-1984.

**Que nous donnent les simulations faites à partir des trois AGCMs ?**

Sur les figures 33 et 34 sont reportées pour la zone EQW1 les séries temporelles 1982-1984 de la tension zonale déduite des simulations de types AWR et APR respectivement, selon les modèles du MPI, du CNRM et du LMD. Nous avons systématiquement superposé sur chaque graphique la série temporelle des observations.

On constate immédiatement que les simulations fournies par le modèle du LMD (Figs. 33c et 34c) sont trop peu énergétiques (20 à 30  $10^{-3}$  Pa) en regard des observations. De plus le signal interannuel est très peu marqué.

Les simulations fournies par les modèles du MPI et du CNRM (Figs. 33a,b et 34a,b) sont *relativement proches des observations*, tout en étant parfois légèrement trop énergétiques (de l'ordre de 10 à 15  $10^{-3}$  Pa). Ici le signal interannuel est nettement marqué et - qui mieux est - est en *bon accord* avec le signal interannuel des observations pour ce qui concerne les simulations de type AWR, *en relatif accord* avec les observations pour ce qui concerne les simulations de type APR. Visuellement, c'est le modèle du MPI qui se rapproche le mieux des observations (on pourra se reporter aux tableaux de corrélations).

Les séries temporelles des anomalies correspondantes (Fig. 35) permettent de mieux affiner notre discussion. Ici le modèle du CNRM (Fig. 35b) fait "bonne figure" par rapport à celui du MPI (Fig. 35a).

Les figures 36 et 37 permettent de comparer plus en détail les résultats des modèles du MPI et du CNRM par la superposition directe de leurs séries temporelles associées.

## 5. Séries temporelles du bilan P-E sur la zone EQW2

Similairement à notre discussion précédente sur la tension zonale du vent, nous avons intégré le paramètre simulé "Précipitation moins Evaporation" (P-E) sur une zone englobant l'ouest équatorial. Cette zone peut être visualisée figure 31b. En l'absence d'observations directes de cette variable, seules les simulations entre elles seront discutées ici.

La série temporelle 1982-1984 du bilan P-E sur la zone EQW2, déduite de chacune des simulations ACR, AWR et APR fournies par chacun des trois AGCMs, est reproduite figure 38 (à noter que pour une meilleure lisibilité, le cycle annuel moyen correspondant à la simulation ACR est répété trois fois).

On constate que *les trois modèles concordent pour simuler une année 1983 relativement sèche*. Ceci est vrai à partir des simulations de type AWR, mais aussi à partir des simulations de type APR. Les résultats sont *plus confus pour l'année 1984*, bien que l'on note une tendance à un *excès d'humidité*, surtout visible à partir des simulations de type AWR, mais aussi en début d'année 1984 à partir de la simulation de type APR donnée par le modèle du MPI. La figure 39, traitant des anomalies des simulations de types AWR et APR, apporte une autre présentation de ces résultats.

Les figures 40 et 41 permettent de comparer directement les résultats fournis par les deux modèles du MPI et du CNRM, ceci pour chaque type de simulation respectivement.

## 6. Calcul des coefficients de corrélation

On a procédé à des corrélations croisées entre les différentes séries temporelles discutées au cours des deux sections précédentes et dont la plupart sont représentées sur les figures 32 à 41. Les résultats de ces calculs de corrélation (sans décalage temporel) sont donnés sur les tableaux N<sup>os</sup> 1 et 2 (respectivement pour la tension zonale du vent et son anomalie sur la zone EQW1), et sur les tableaux N<sup>os</sup> 3 et 4 (respectivement pour P-E et son anomalie sur la zone EQW2). Prenant en compte l'effet d'autocorrélation de chaque série, on a indiqué pour chaque valeur reportée si le coefficient de corrélation dépasse les seuils de signification à 1% (caractères gras) ou à 0,1% (caractère gras et souligné).

### a) Tableaux N<sup>os</sup> 1 et 2 : Tension zonale du vent sur la zone EQW1

Il semble que la variabilité saisonnière de la tension du vent soit la mieux représentée par le modèle du CNRM (voir les valeurs reportées sur les deux premières lignes du Tableau 1). Cependant, si l'on s'attache à la variabilité interannuelle, les deux modèles du MPI et du CNRM sont sensiblement équivalents (voir les valeurs reportées sur la première ligne du Tableau 2). Dans tous les cas on confirme la mauvaise tenue du modèle du LMD, y compris pour ce qui est de représenter le signal climatique.

Il est intéressant de remarquer que les coefficients de corrélation entre les simulations de type AWR et APR données par le modèle du CNRM sont nettement plus élevés que ceux calculés de manière similaire à partir des résultats donnés par le modèle du MPI. Ceci laisserait-il supposer que le modèle du CNRM est moins sensible à un impact climatique spécifique sur la zone El Niño du Pacifique, que ne l'est le modèle du MPI ?

### b) Tableaux N<sup>os</sup> 3 et 4 : P-E sur la zone EQW2

En l'absence d'observation on ne peut que comparer les résultats des modèles entre eux.

Ici encore ce sont les modèles du MPI et du CNRM qui demeurent les plus proches pour ce qui concerne la variabilité saisonnière (Tableau 3), et ceci pour chacun des trois types de réalisations ACR, AWR et APR. Les variabilités interannuelles simulées par les trois modèles (Tableau 4) sont peu corrélées entre elles, et ceci pour chacune des réalisations AWR et APR.

A noter à nouveau les forts coefficients de corrélation entre les réalisations AWR et APR données par le modèle du CNRM; ce qui abonde dans le sens énoncé plus haut, à savoir une moindre sensibilité de ce modèle, par rapport à celui du MPI, à un impact climatique spécifique intéressant le Pacifique équatorial est. Dans le cas de P-E, ceci est aussi vrai pour le modèle du LMD.

## CONCLUSION

Ce rapport scientifique n'étant le reflet que d'une étape intermédiaire à l'intérieur d'un projet scientifique plus vaste, notre conclusion sera volontairement brève et partielle. Il nous est cependant possible de répondre dès à présent à trois questions qui faisaient l'objet de notre motivation de départ.

**Question 1 : Les variabilités saisonnière et interannuelle sur l'Atlantique tropical durant les années 1982-1984 peuvent-elles être correctement reproduites par un AGCM lorsque celui-ci est forcé par la SST réellement observée sur l'ensemble de l'océan mondial ?**

**Réponse : oui**

**Question 2 : L'anomalie de SST observée durant les années 1982-1984 sur la zone El Niño du Pacifique équatorial est - et seulement sur cette zone - peut-elle induire, par l'intermédiaire d'une simulation donnée par un AGCM, un signal climatique cohérent et réaliste sur l'Atlantique tropical ?**

**Réponse : oui**

A noter toutefois que parmi les trois AGCMs testés, seuls ceux du MPI et du CNRM permettent de répondre affirmativement à ces deux premières questions.

**Question 3 : Un OGCM, utilisant comme termes de forçage en surface les résultats d'une simulation AGCM effectuée suivant les conditions de la question No. 2, est-il capable de simuler une réponse océanique cohérente et réaliste ?**

**Réponse : oui**

Pour plus de détails concernant cette dernière question, et sa réponse, le lecteur pourra se reporter à l'Annexe 2 de ce présent rapport, ainsi qu'à Delecluse *et al.* (1993). A noter que dans ce cas, l'OGCM utilisé est le modèle 3D du LODYC dans sa version TKE, et le forçage en surface est fourni par la simulation APR effectuée à partir de l'AGCM du MPI.

## Remerciements

Je tiens tout particulièrement à remercier Lennart Bengtsson, Jean-François Royer et Robert Sadourmy qui ont accepté avec enthousiasme de participer à ce projet de recherche, permettant ainsi la réalisation des simulations atmosphériques. Ces simulations atmosphériques ont été préparées et réalisées par Peter Lenzen et Klaus Arpe (modèle du MPI), Jean-François Royer (modèle du CNRM) et Ali Harzallah (modèle du LMD). Les routines d'accès aux fichiers originaux et les logiciels cartographiques furent développés par Daniel Corre. Paul Marec aida à la mise en forme définitive du document.

## Références

- Busulacchi, A.J. and J. Picaut, 1983 : Seasonal variability from a model of the tropical Atlantic Ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, 13, 1564-1588.
- Delecluse, P., J. Servain and C. Levy, 1993a : Was the 1984 Atlantic warm event driven by the 1982-1984 ENSO ? *Workshop "Forecasting short-range climate variations"*, Hambourg, 28-30 avril, 1993.
- Delecluse, P., J. Servain, C. Levy, K. Arpe, and L. Bengtsson, 1993b : Was the 1984 Atlantic warm event driven by the 1982-1984 ENSO ? Soumis à *Tellus* (août 1993).
- Horel, J.D., V.E. Kousky and M.T. Kagano, 1986 : Atmospheric conditions in the Atlantic sector during 1983 and 1984. *Nature*, 322, 248-251.
- Oberhuber, J., 1988 : An atlas based on the 'COADS' data set : The budgets of heat, buoyancy and turbulent kinetic energy at the surface of the global ocean. Report No. 15, *Max-Planck-Institut für Meteorologie*, Hamburg, 20 pp. + figures.
- Reverdin, G., P. Delecluse, C. Levy, P. Andrich, A. Morlière and J.-M. Verstraete, 1991 :



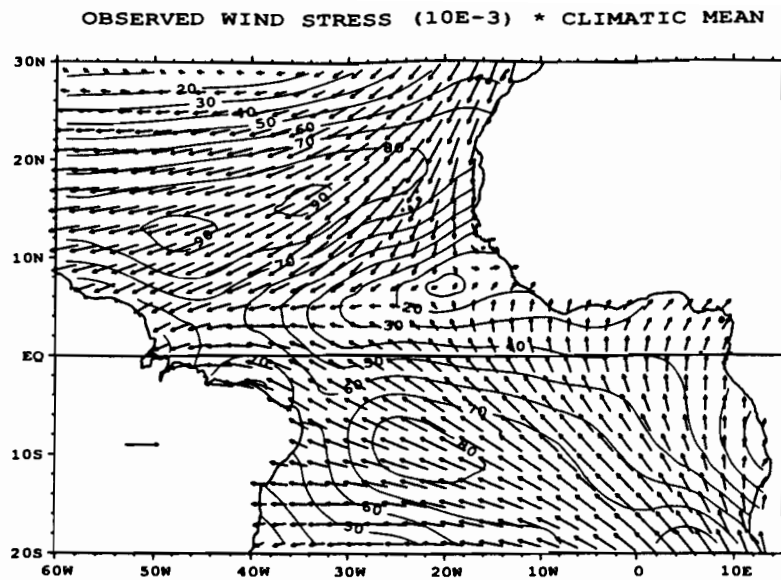
The near surface tropical Atlantic in 1982-1984 - Results from a numerical simulation and a data analysis. *Prog. Oceanogr.*, 27, 273-340.

Servain, J., 1984 : Réponses océaniques à des actions éloignées du vent dans le Golfe de Guinée en 1967-1968. *Oceanologica Acta*, 7, 297-307.

Servain, J., 1991 : Was the 1984 Atlantic warm event driven by the 1982-1984 ENSO ? *Document interne du Centre ORSTOM de Brest*, 16pp.

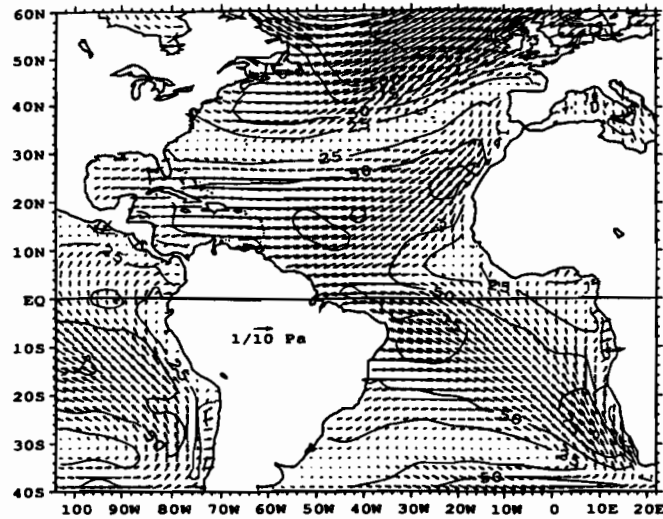
Servain, J. et P. Delecluse, 1993 : Impact climatique du El-Niño 1982-1983 sur l'Atlantique tropical : Intercomparaison d'AGCMs et forçage d'un OGCM. *Proceedings de l'Atelier de Modélisation de l'Atmosphère 1993*, Toulouse, 1-2 décembre 1993, 11 pp.

**Cartes des  
Moyennes Climatiques Annuelles**



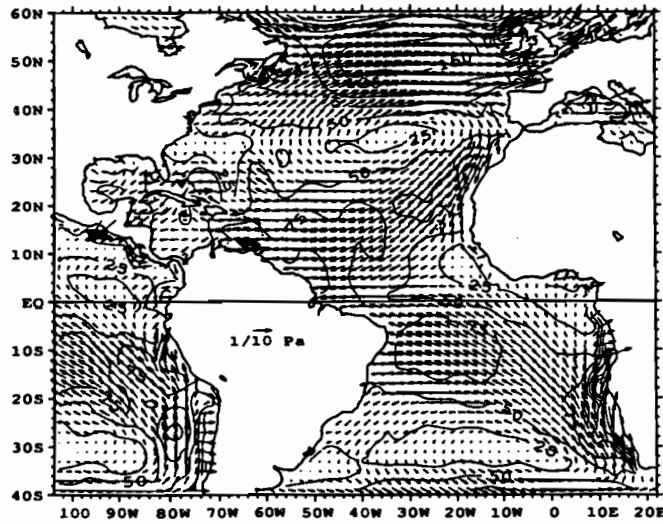
**Figure 1 :** Moyenne climatique annuelle de la tension du vent ( $10^3 \text{ Pa}$ ) déduite des observations.

(MPI) Tension Vent - Moyenne Climatique



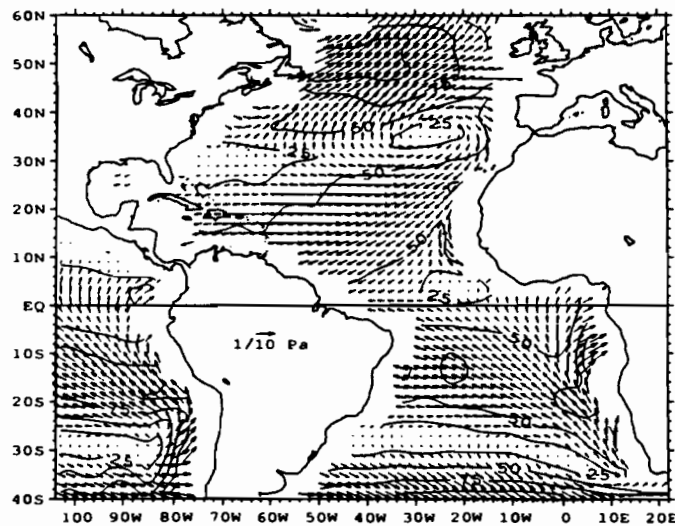
(a)

(TOU) Tension Vent - Moyenne Climatique



(b)

(LMD) Tension Vent - Moyenne Climatique

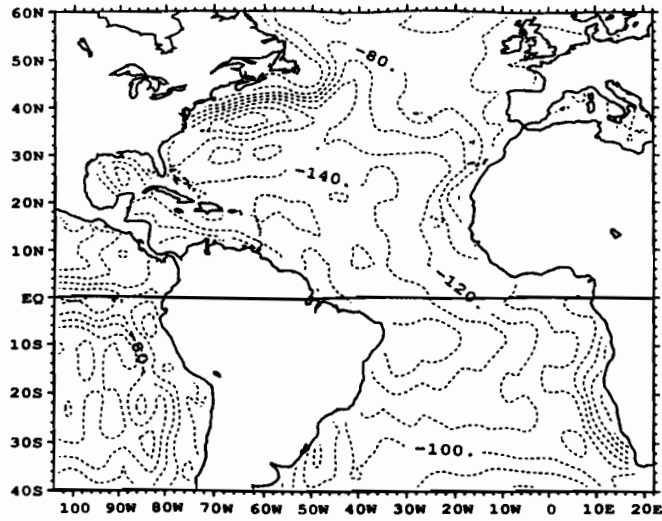


(c)

**Figure 2 :** Moyennes climatiques annuelles de la tension du vent ( $10^{-3}$  Pa) déduites des simulations ACR :

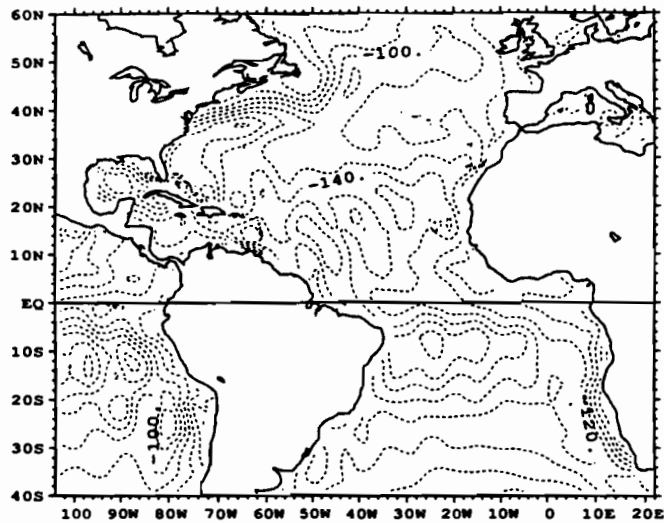
- (a) d'après le modèle du MPI,
- (b) d'après le modèle du CNRM,
- (c) d'après le modèle du LMD.

(MPI) Chaleur Latente - Moyenne Climatique



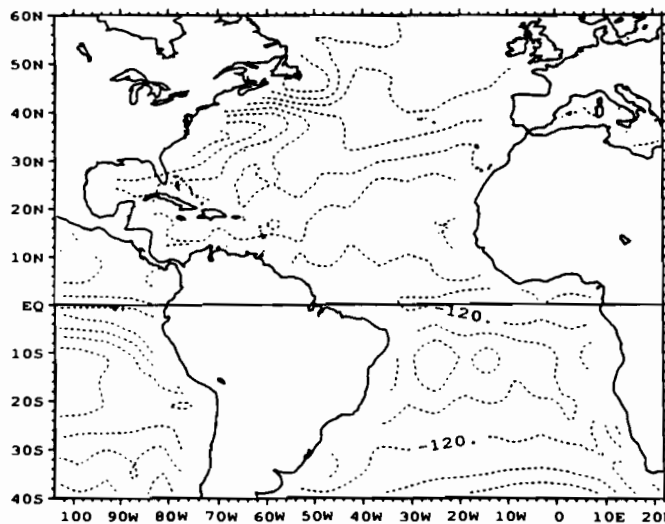
(a)

(TOU) Chaleur Latente - Moyenne Climatique



(b)

(LMD) Chaleur Latente - Moyenne Climatique

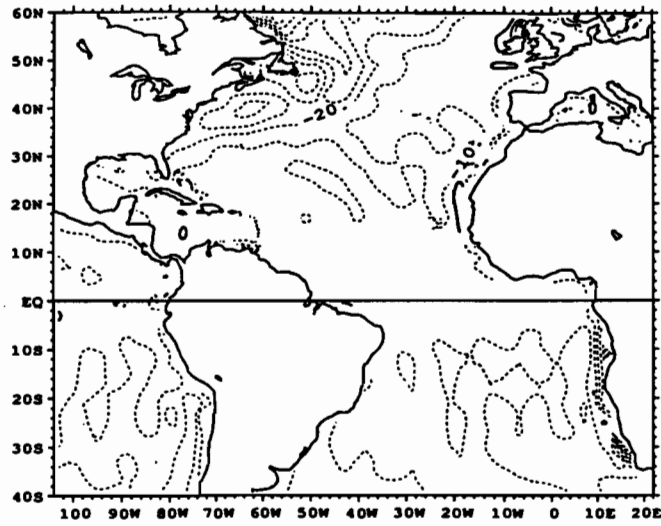


(c)

**Figure 3 :** Moyennes climatiques annuelles du bilan net de chaleur latente ( $W.m^{-2}$ ) déduites des simulations ACR :

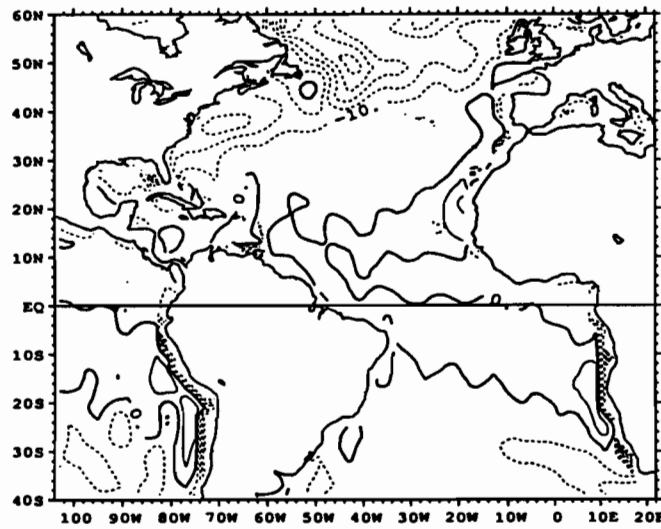
- (a) d'après le modèle du MPI,
- (b) d'après le modèle du CNRM,
- (c) d'après le modèle du LMD.

(MPI) Chaleur Sensible - Moyenne Climatique



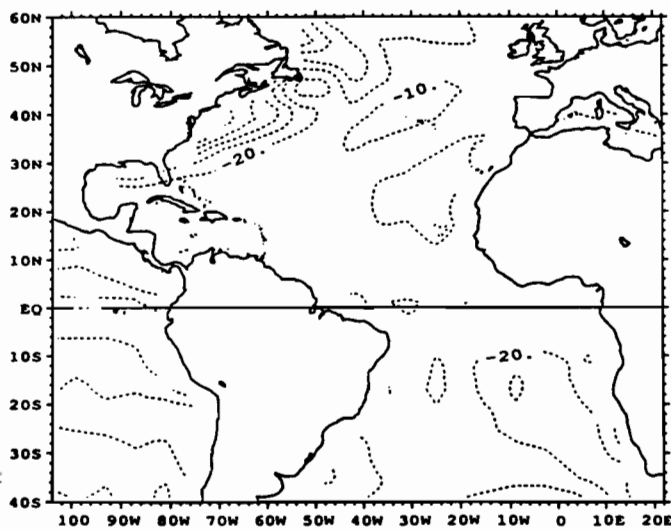
(a)

(TOU) Chaleur Sensible - Moyenne Climatique



(b)

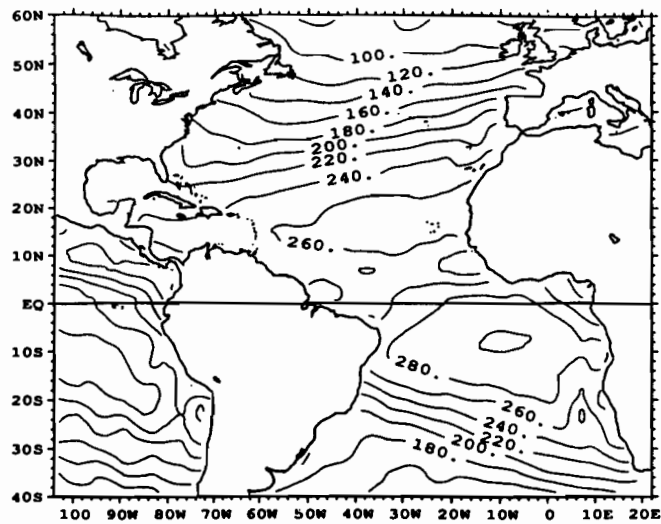
(LMD) Chaleur Sensible - Moyenne Climatique



(c)

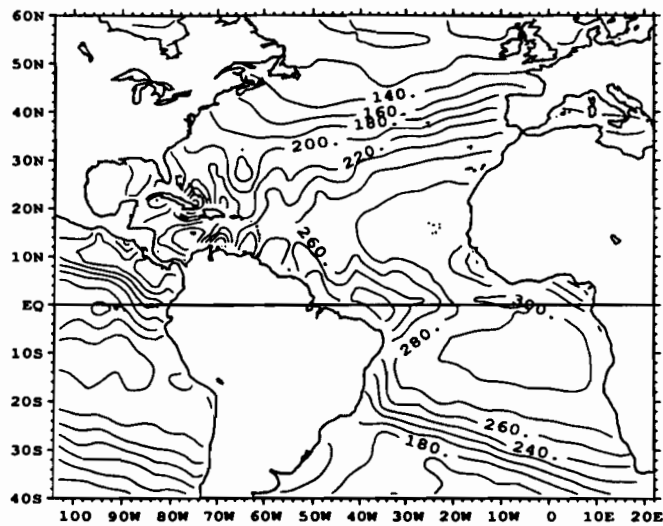
**Figure 4 :** Moyennes climatiques annuelles du bilan net de chaleur sensible ( $W.m^{-2}$ ) déduites des simulations ACR :  
(a) d'après le modèle du MPI,  
(b) d'après le modèle du CNRM,  
(c) d'après le modèle du LMD.

(MPI) Ondes Courtes inc. - Moyenne Climatque



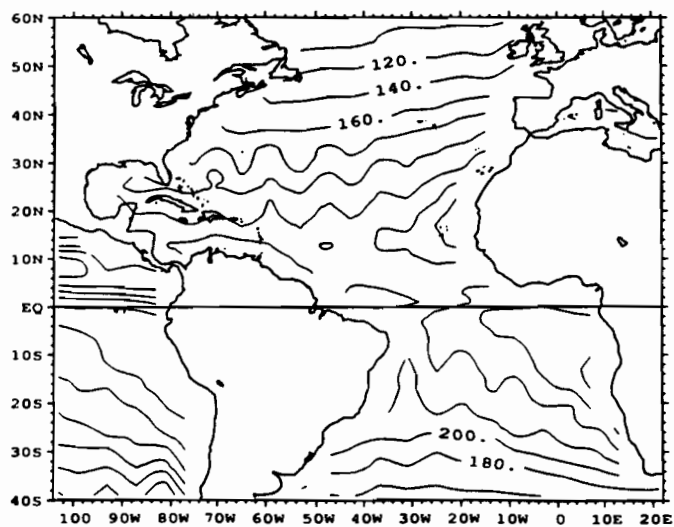
(a)

(TOU) Ondes Courtes inc. - Moyenne Climatque



(b)

(LMD) Ondes Courtes Net - Moyenne Climatque

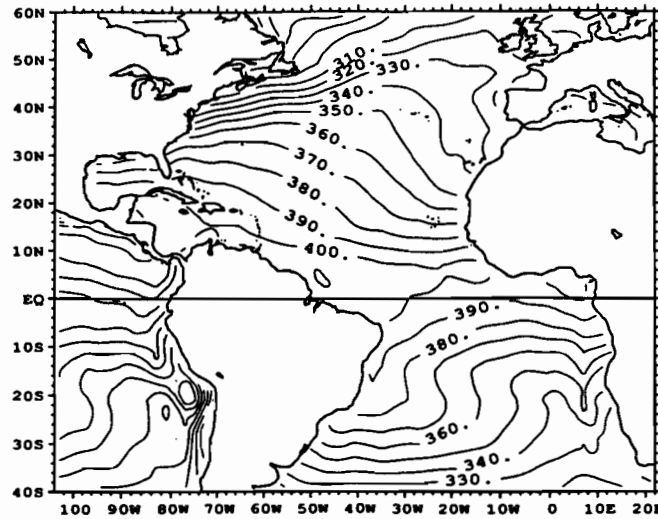


(c)

**Figure 5 :** Moyennes climatiques annuelles du rayonnement ondes courtes ( $W.m^{-2}$ ) déduites des simulations ACR :

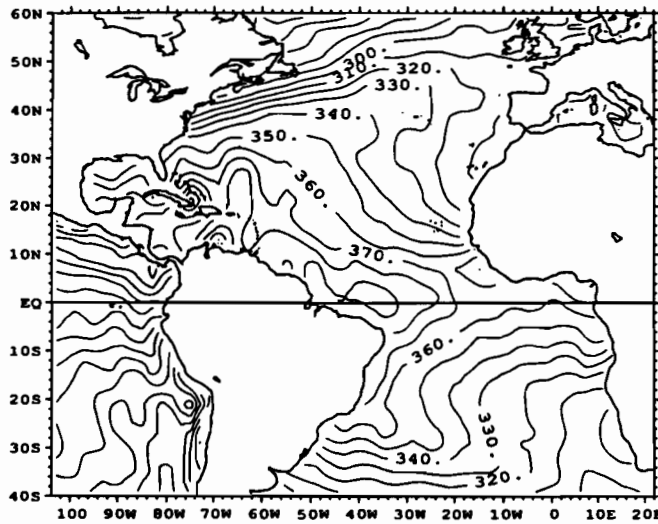
- (a) rayonnement incident d'après le modèle du MPI,
- (b) rayonnement incident d'après le modèle du CNRM,
- (c) bilan net d'après le modèle du LMD.

(MPI) Ondes Longues inc. - Moyenne Climatique



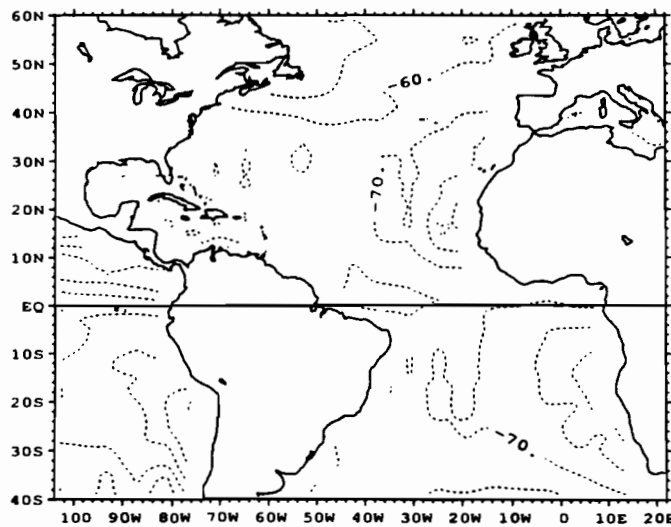
(a)

(TOU) Ondes Longues inc. - Moyenne Climatique



(b)

(LMD) Ondes Longues Net - Moyenne Climatique

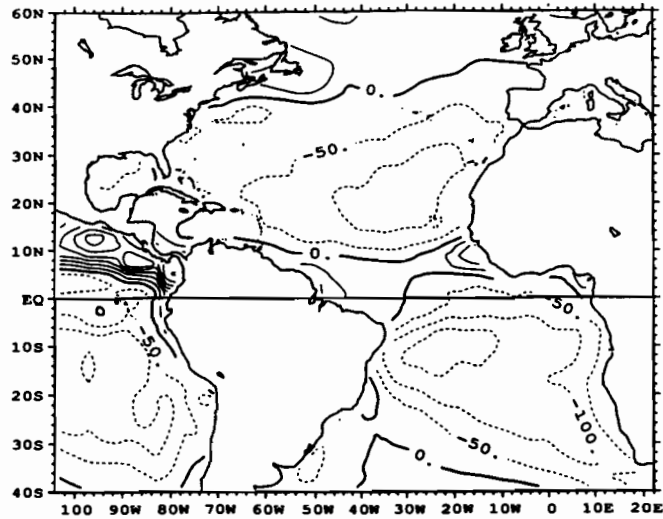


(c)

**Figure 6 :** Moyennes climatiques annuelles du rayonnement ondes longues ( $W \cdot m^{-2}$ ) déduites des simulations ACR :  
(a) rayonnement incident d'après le modèle du MPI,  
(b) rayonnement incident d'après le modèle du CNRM,  
(c) bilan net d'après le modèle du LMD.

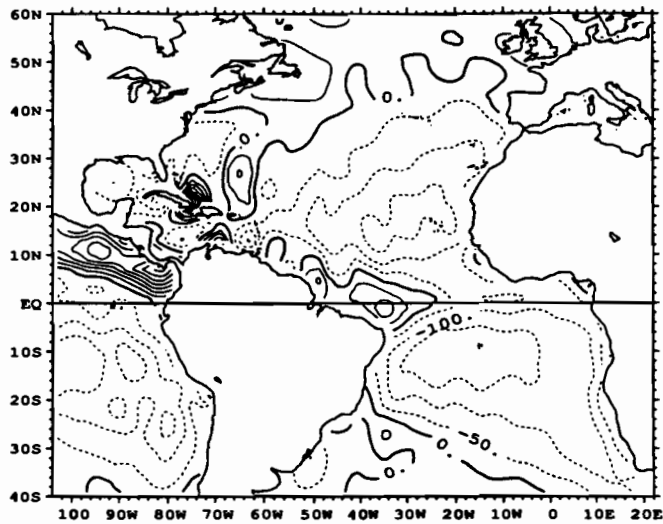


(MPI) Precip-Evapor (mm) - Moyenne Climatique



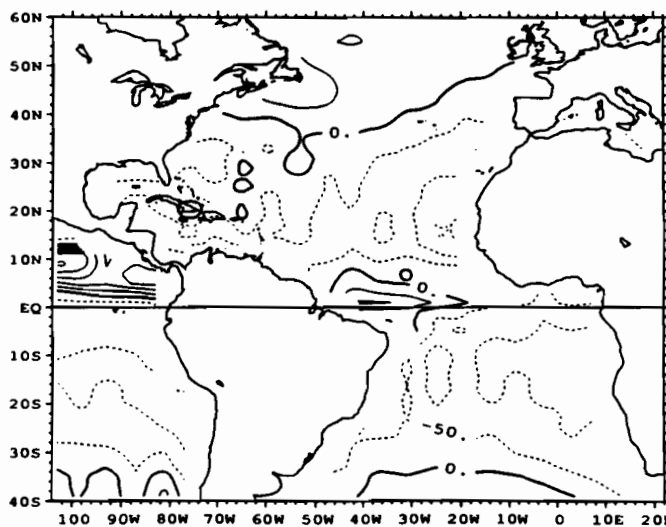
(a)

(TOU) Precip-Evapor (mm) - Moyenne Climatique



(b)

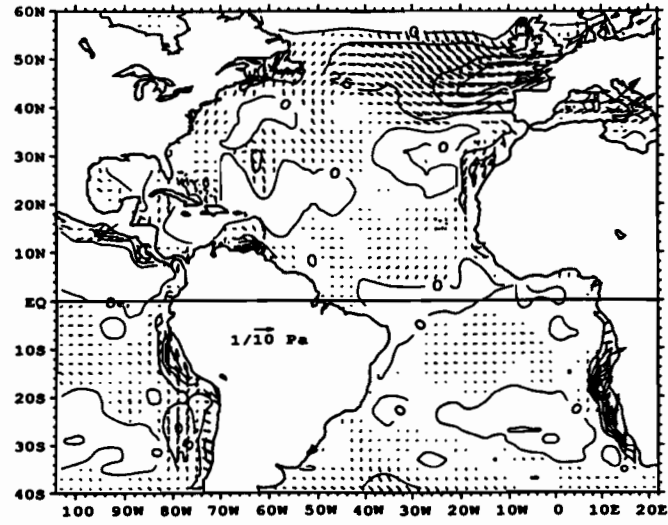
(LMD) Precip-Evapor (mm) - Moyenne Climatique



(c)

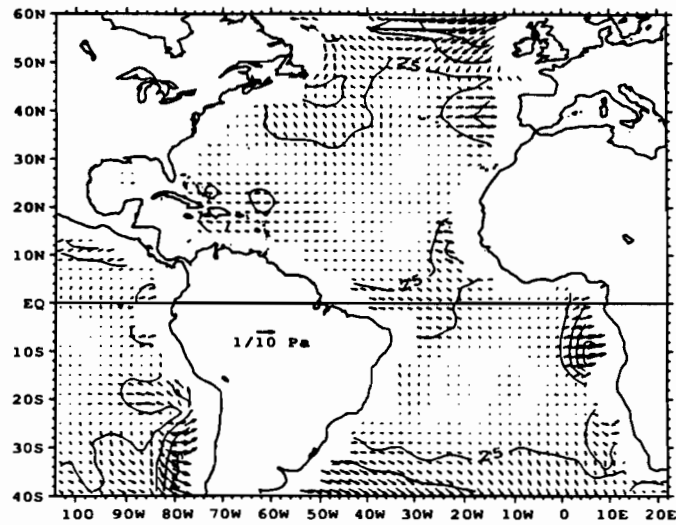
**Figure 7 :** Moyennes climatiques annuelles du bilan précipitation moins évaporation (mm.mois<sup>-1</sup>) déduites des simulations ACR :  
(a) d'après le modèle du MPI,  
(b) d'après le modèle du CNRM,  
(c) d'après le modèle du LMD.

(TOU-MPI) Tension Vent - Diff. Moy. Clim.



(a)

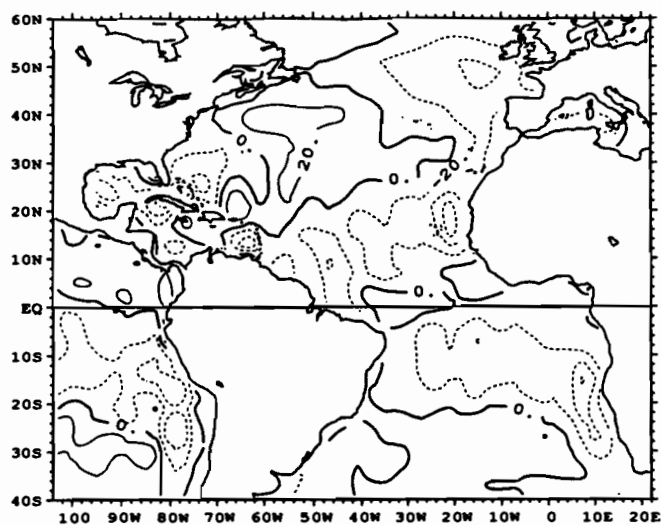
(LMD-MPI) Tension Vent - Diff. Moy. Clim.



(b)

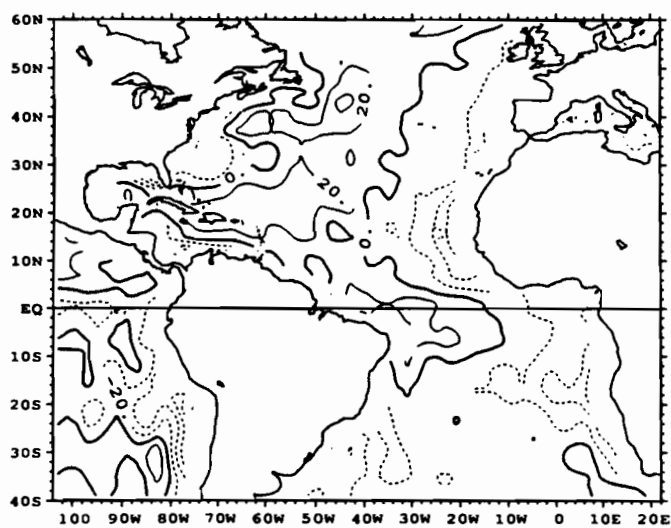
**Figure 8 :** Différence ( $10^{-3} \text{ Pa}$ ) entre les moyennes climatiques (ACR) déduites des modèles du MPI, du CNRM et du LMD pour la tension du vent :  
(a) CNRM - MPI,  
(b) LMD - MPI.

(TOU-MPI) Chaleur Latente - Diff. Moy. Clim.



(a)

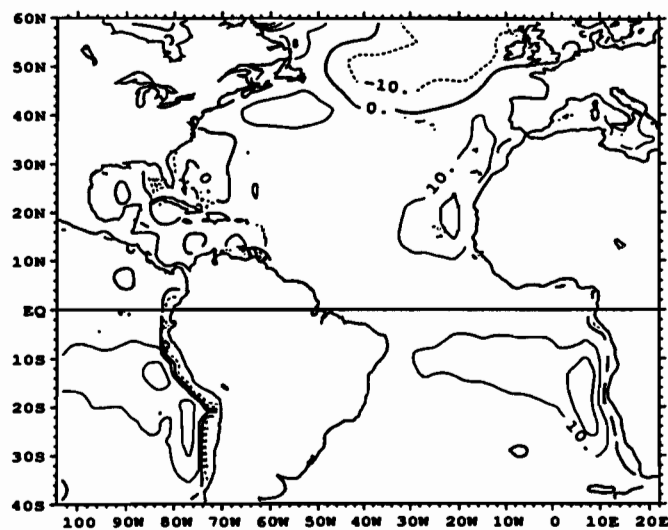
(LMD-MPI) Chaleur Latente - Diff. Moy. Clim.



(b)

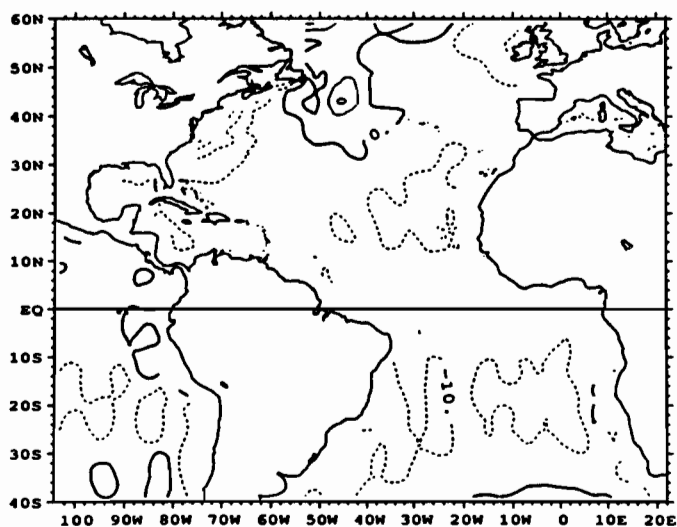
**Figure 9 :** Différence ( $W.m^{-2}$ ) entre les moyennes climatiques (ACR) déduites des modèles du MPI, du CNRM et du LMD pour le bilan net de chaleur latente :  
(a) CNRM - MPI,  
(b) LMD - MPI.

(TOU-MPI) Chaleur Sensible - Diff. Moy. Clim.



(a)

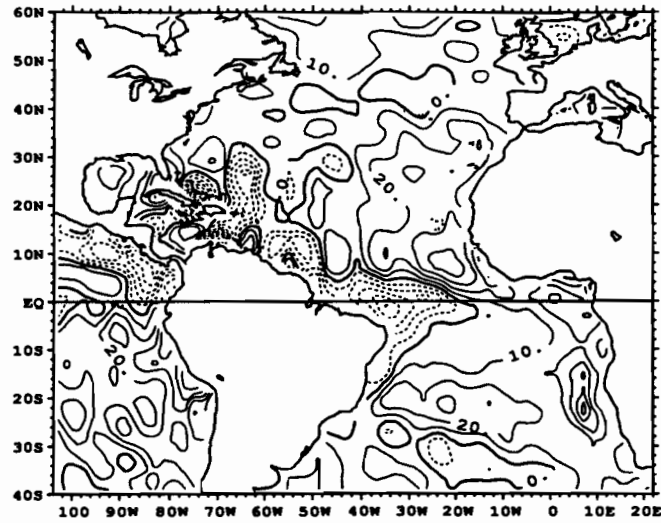
(LMD-MPI) Chaleur Sensible - Diff. Moy. Clim.



(b)

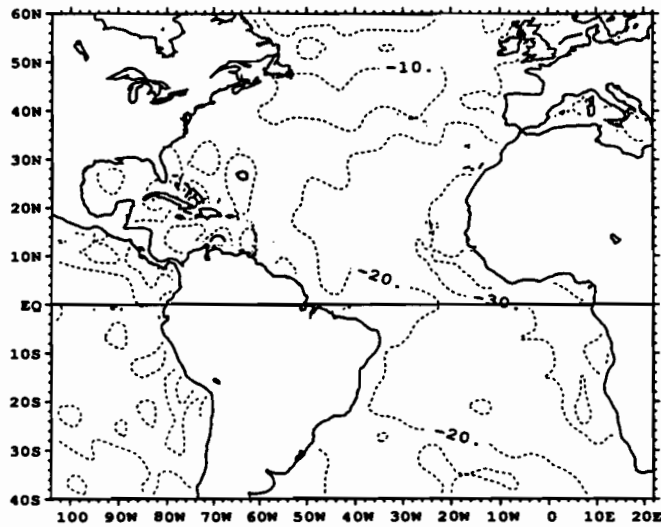
**Figure 10 :** Différence ( $W. m^{-2}$ ) entre les moyennes climatiques (ACR) déduites des modèles du MPI, du CNRM et du LMD pour la chaleur sensible :  
(a) CNRM - MPI,  
(b) LMD - MPI.

(TOU-MPI) Ondes Courtes - Diff. Moy. Clim.



(a)

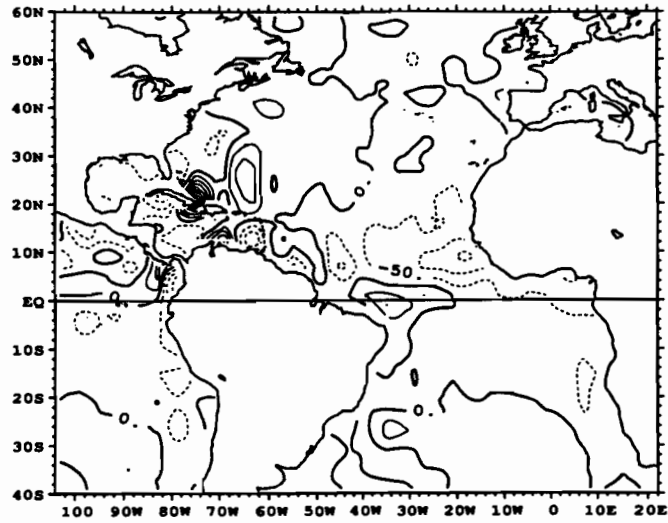
(TOU-MPI) Ondes Longues - Diff. Moy. Clim.



(b)

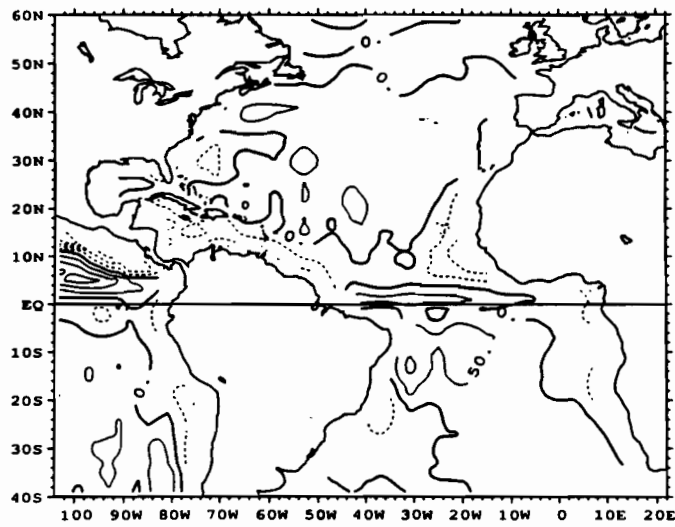
**Figure 11 :** Différence ( $W.m^{-2}$ ) entre les moyennes climatiques (ACR) déduites des modèles du MPI, du CNRM et du LMD :  
(a) CNRM - MPI pour les ondes courtes incidentes,  
(b) CNRM - MPI pour les ondes longues incidentes.

(TOU-MPI) Precip-Evapor - Diff. Moy. Clim.



(a)

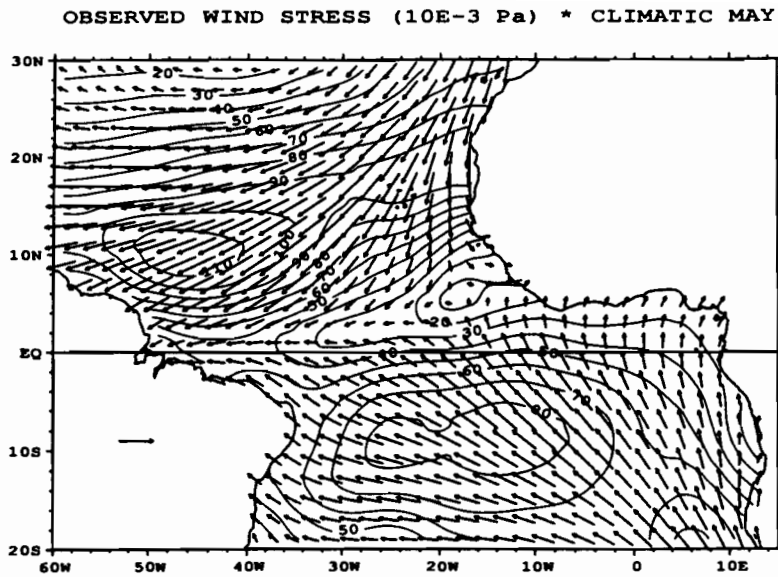
(LMD-MPI) Precip-Evapor - Diff. Moy. Clim.



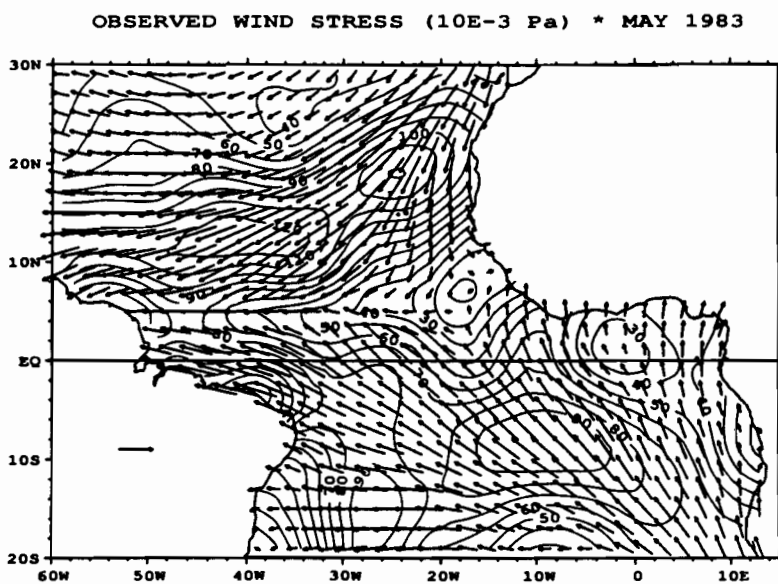
(b)

**Figure 12 :** Différence (mm / mois) entre les moyennes climatiques (ACR) déduites des modèles du MPI, du LMD et du CNRM pour le bilan précipitation moins évaporation :  
(a) CNRM - MPI,  
(b) LMD - MPI.

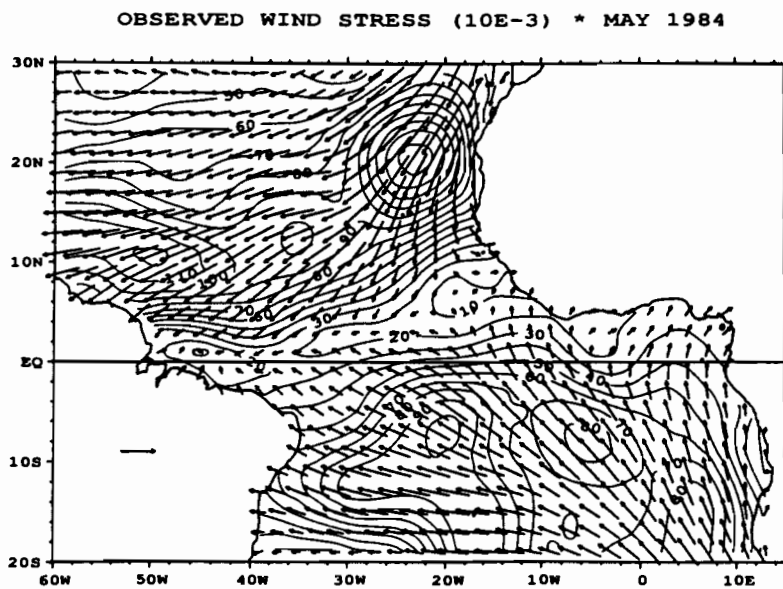
**Cartes  
de la Tension du Vent  
en Mai 1983 et Mai 1984**



(a)



(b)

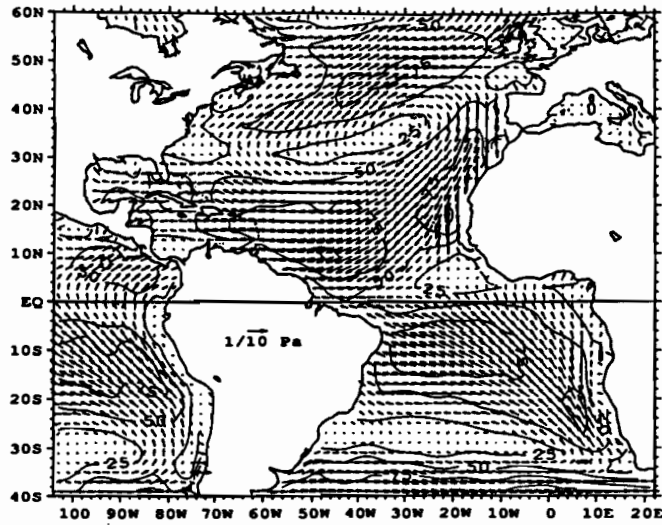


(c)

Figure 13 : Tension du vent ( $10^{-3}$  Pa) en mai déduites des observations :  
 (a) mai climatique,  
 (b) mai 1983,  
 (c) mai 1984.

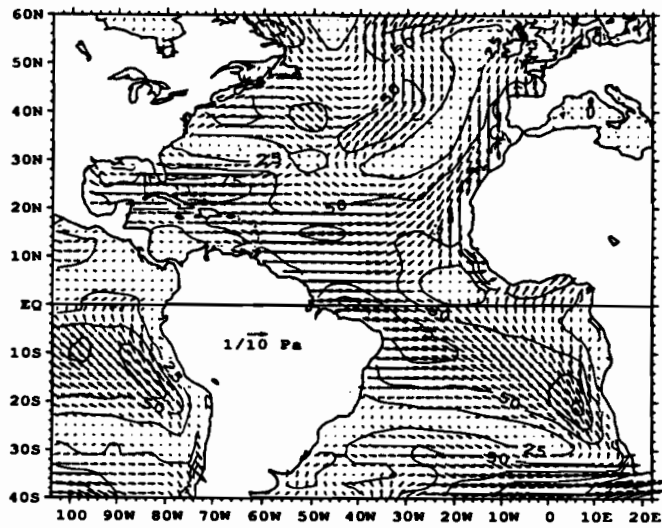


(MPI) \* WIND STRESS \* CLIMATIC MAY



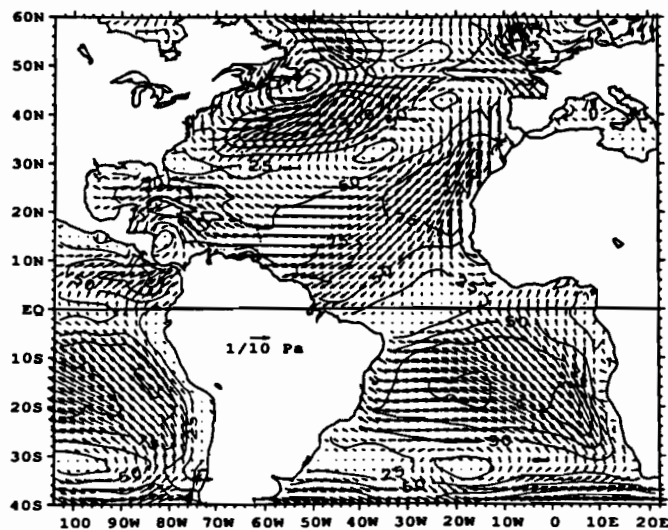
(a)

(MPI) - WIND STRESS from WR - MAY 1983



(b)

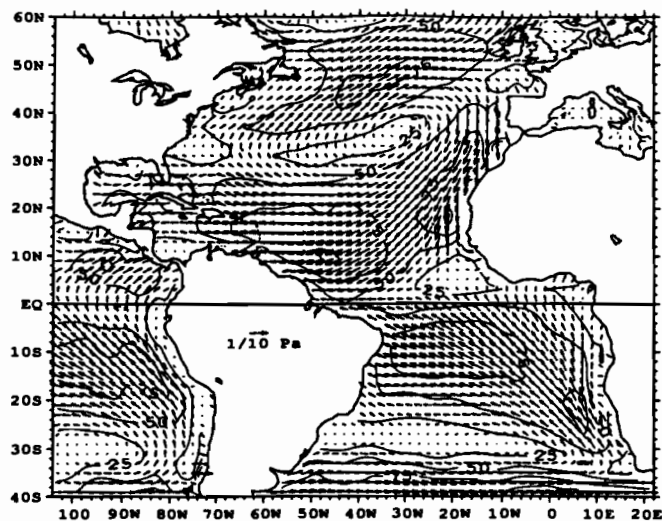
(MPI) \* WIND STRESS from WR \* MAY 1984



(c)

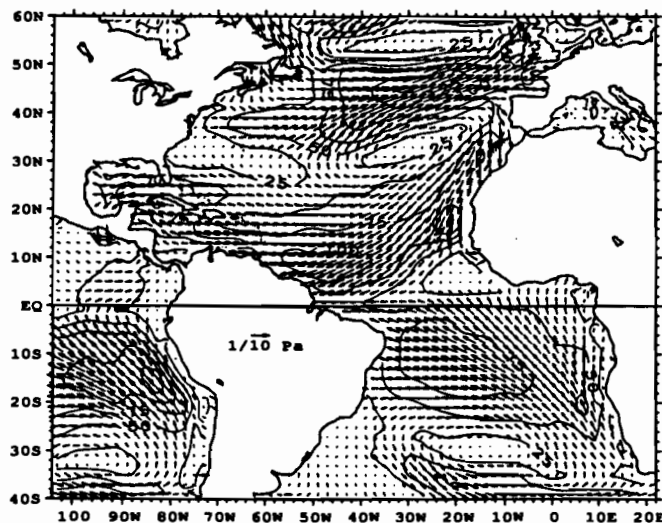
Figure 14 : Tension du vent ( $10^{-3} \text{ Pa}$ ) en mai calculé par le modèle du MPI :  
(a) mai climatique déduit de la simulation ACR,  
(b) mai 1983 déduit de la simulation AWR,  
(c) mai 1984 déduit de la simulation AWR.

(MPI) \* WIND STRESS \* CLIMATIC MAY



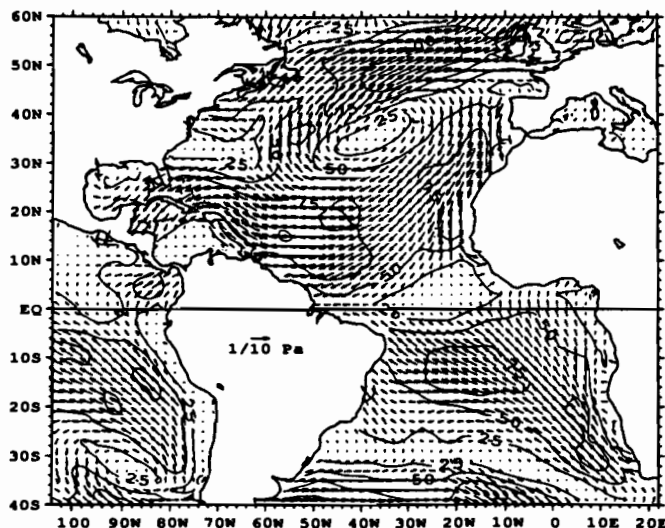
(a)

(MPI) \* WIND STRESS from PR \* MAY 1983



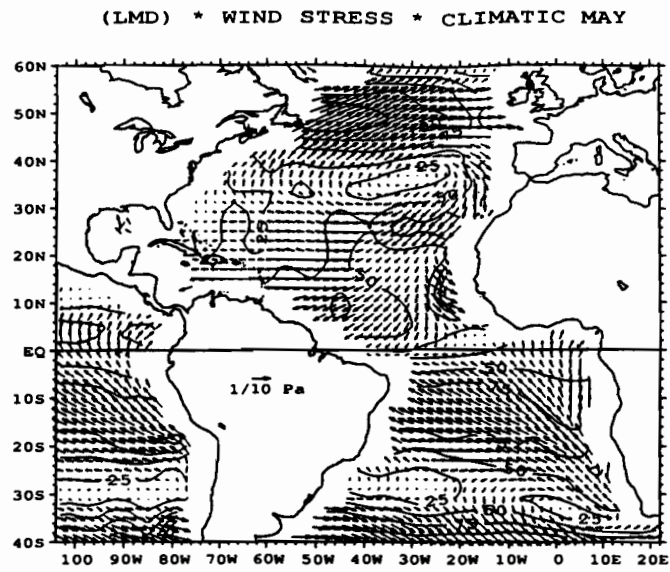
(b)

(MPI) \* WIND STRESS from PR \* MAY 1984

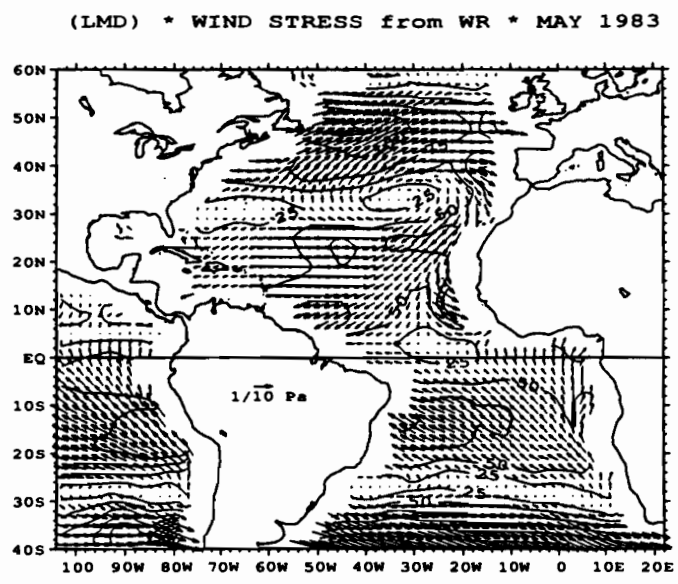


(c)

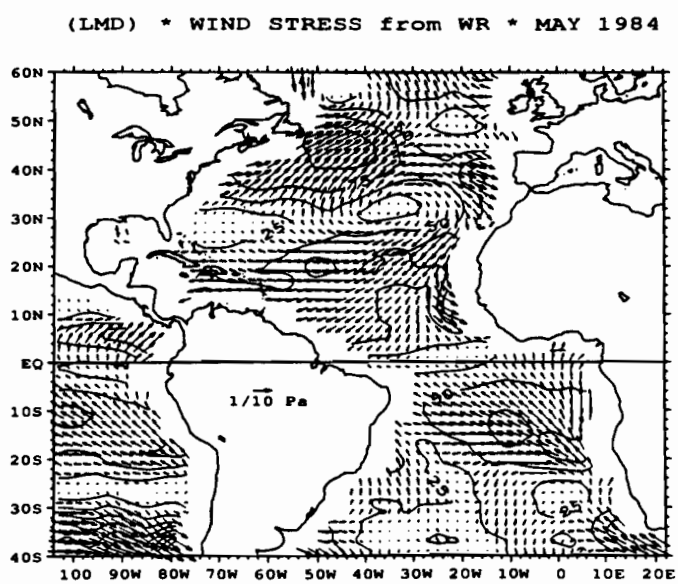
**Figure 15 :** Tension du vent ( $10^{-3}$  Pa) en mai calculé par le modèle du MPI :  
(a) mai climatique déduit de la simulation ACR,  
(b) mai 1983 déduit de la simulation APR,  
(c) mai 1984 déduit de la simulation APR.



(a)

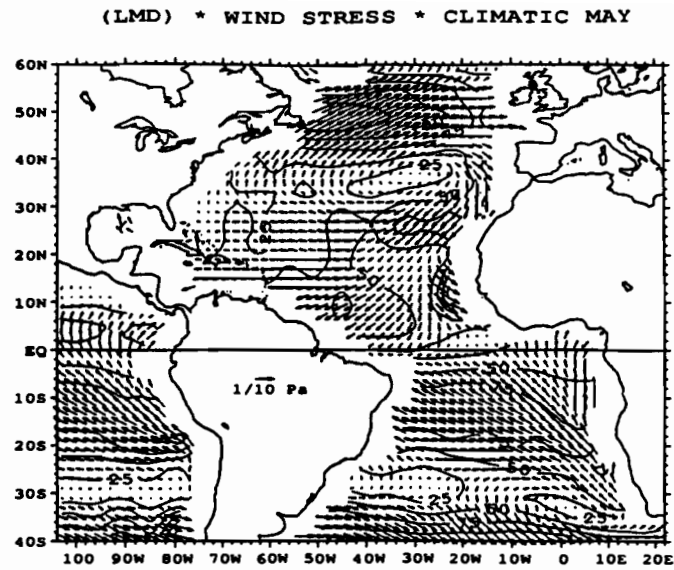


(b)

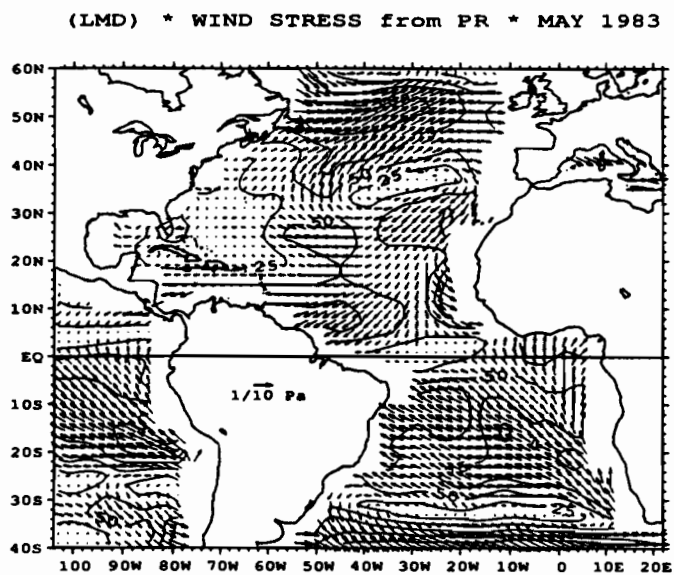


(c)

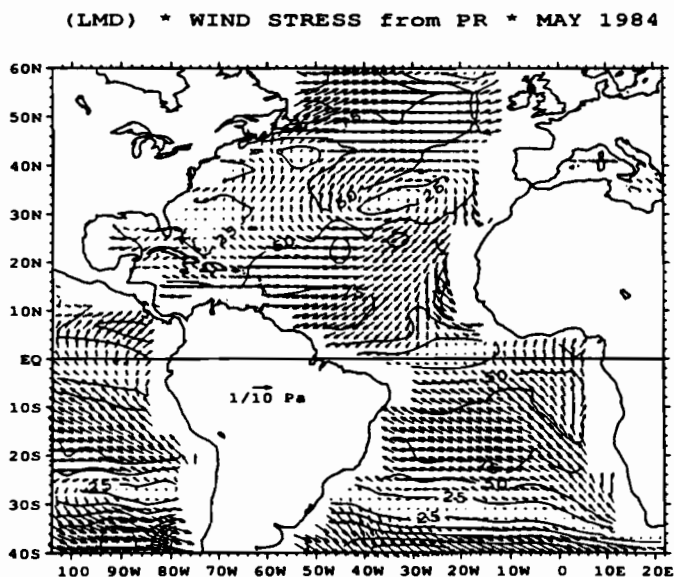
**Figure 16 :** Tension du vent ( $10^{-3}$  Pa) en mai calculé par le modèle du LMD :  
 (a) mai climatique déduit de la simulation ACR,  
 (b) mai 1983 déduit de la simulation AWR,  
 (c) mai 1984 déduit de la simulation AWR.



(a)

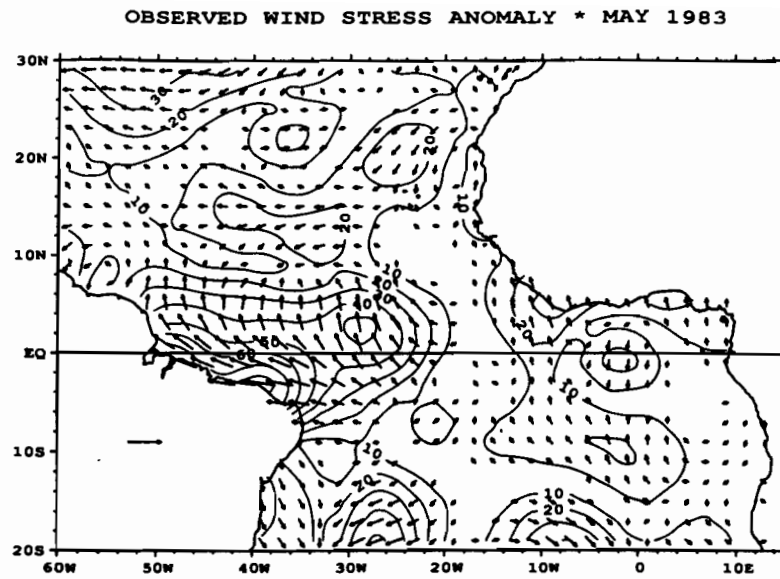


(b)

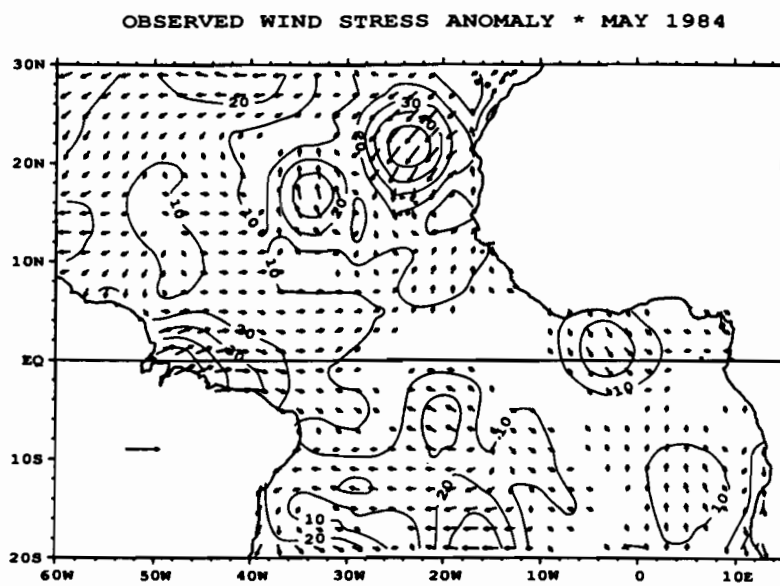


(c)

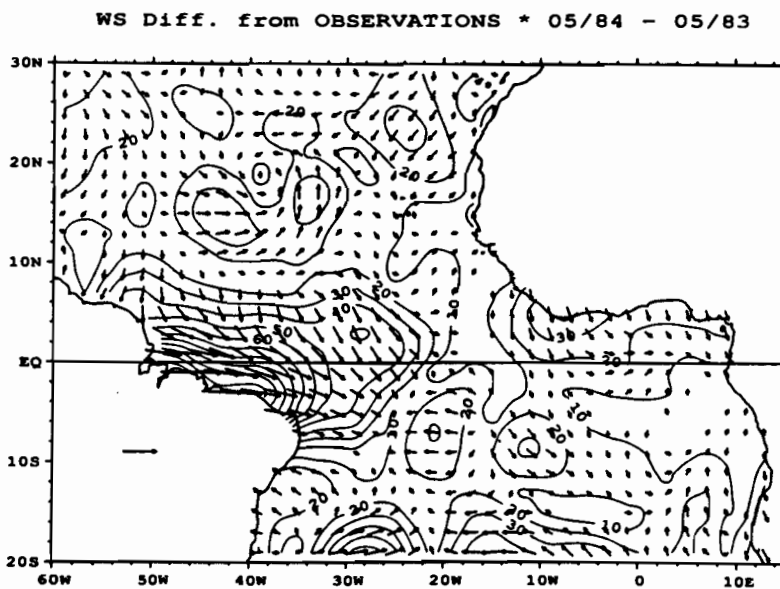
**Figure 17 :** Tension du vent ( $10^{-3}$  Pa) en mai calculé par le modèle du LMD :  
 (a) mai climatique déduit de la simulation ACR,  
 (b) mai 1983 déduit de la simulation APR,  
 (c) mai 1984 déduit de la simulation APR.



(a)



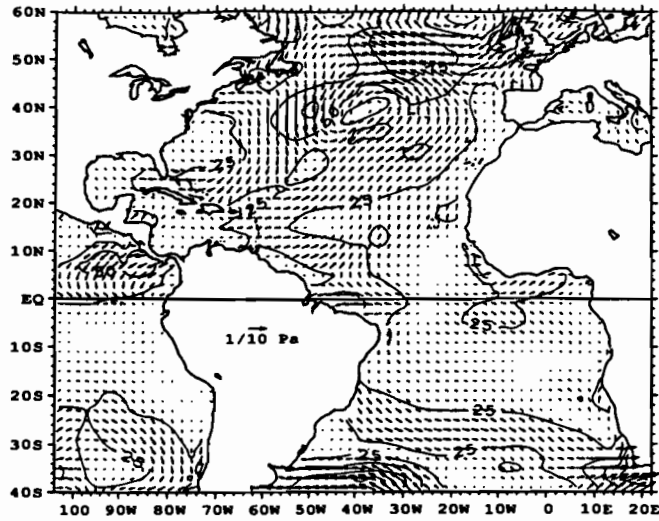
(b)



(c)

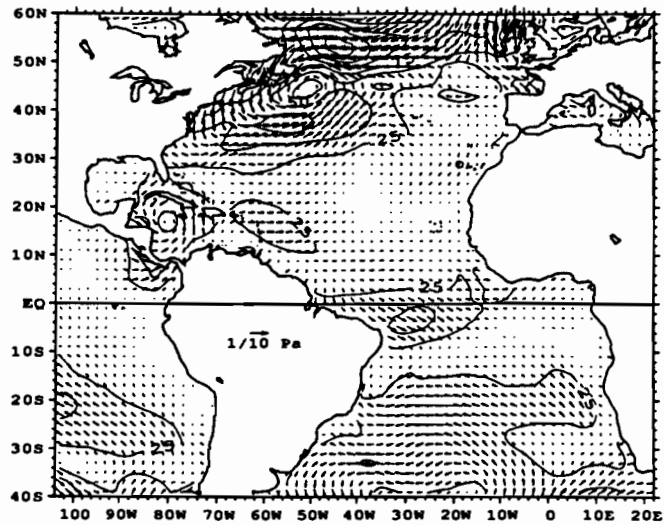
**Figure 18 :** Tension du vent ( $10^{-3}$  Pa) en mai déduites des observations :  
 (a) anomalies pour mai 1983,  
 (b) anomalies pour mai 1984,  
 (c) différence mai 1984 moins mai 1983.

(MPI) \* WS Diff. WR-CR \* MAY 1983



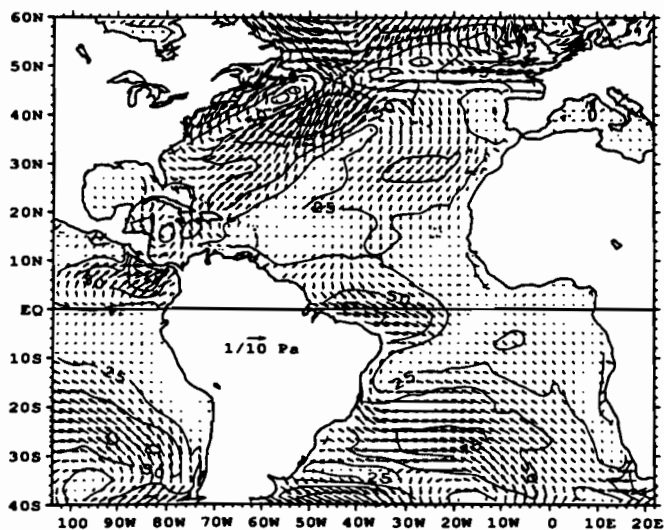
(a)

(MPI) \* WS Diff. WR-CR \* MAY 1984



(b)

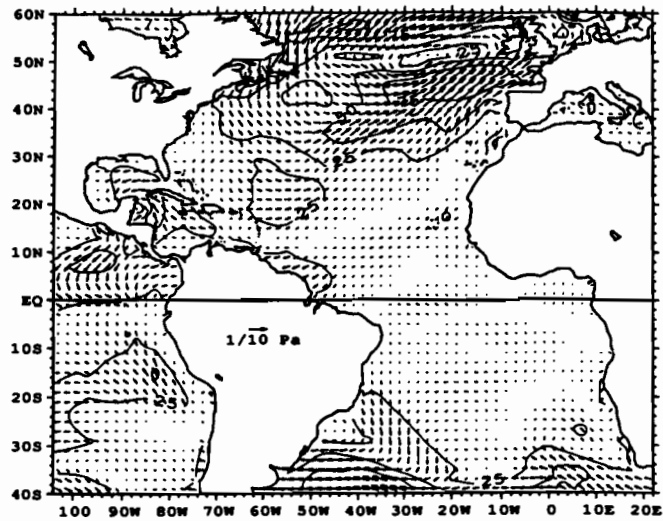
(MPI) \* WS Diff. from WR \* 05/84 - 05/83



(c)

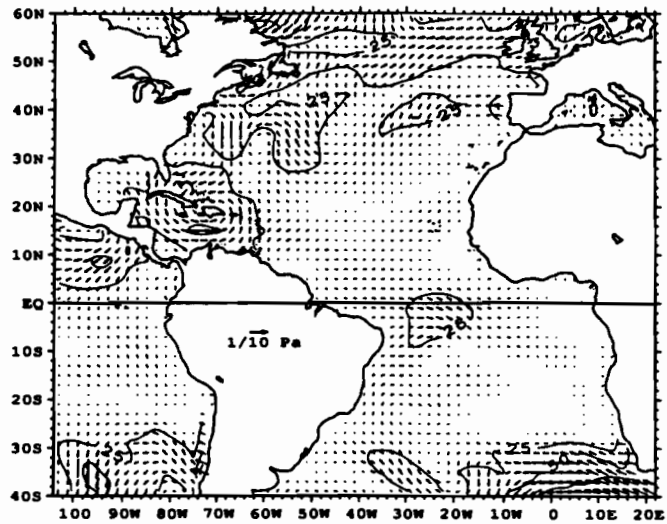
Figure 19 : Tension du vent ( $10^{-3} \text{ Pa}$ ) en mai calculé par le modèle du MPI :  
(a) différence des simulations AWR - ACR pour mai 1983,  
(b) différence des simulations AWR - ACR pour mai 1984,  
(c) différence mai 1984 moins mai 1983 pour la simulation AWR.

(MPI) \* WS Diff. PR-CR \* MAY 1983



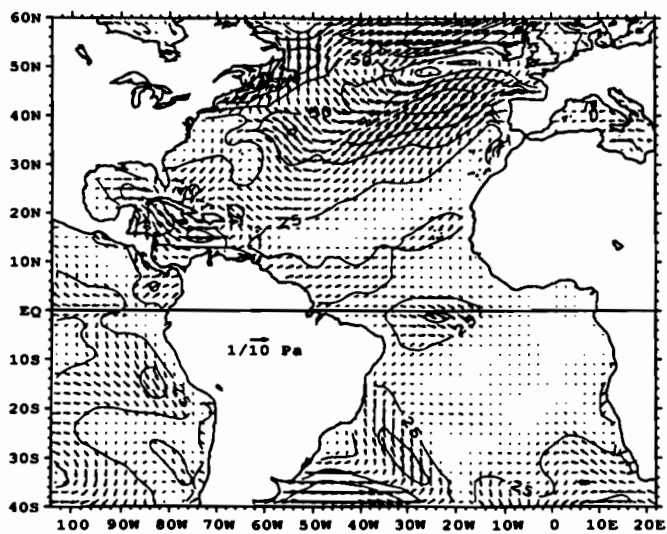
(a)

(MPI) \* WS Diff. PR-CR \* MAY 1984



(b)

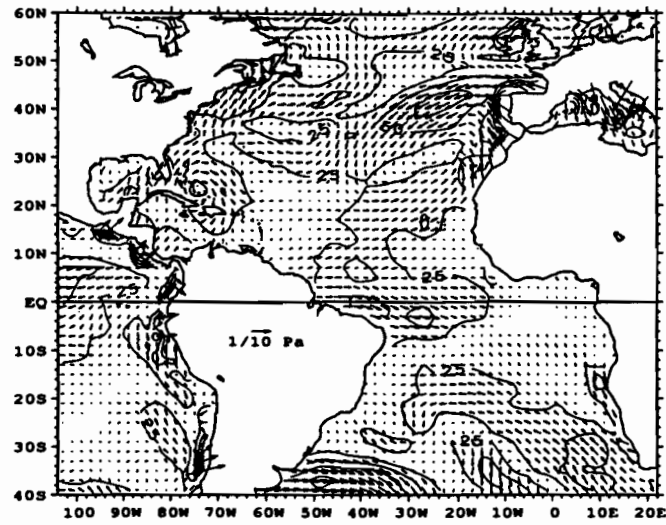
(MPI) \* WS Diff. from PR \* 05/84 - 05/83



(c)

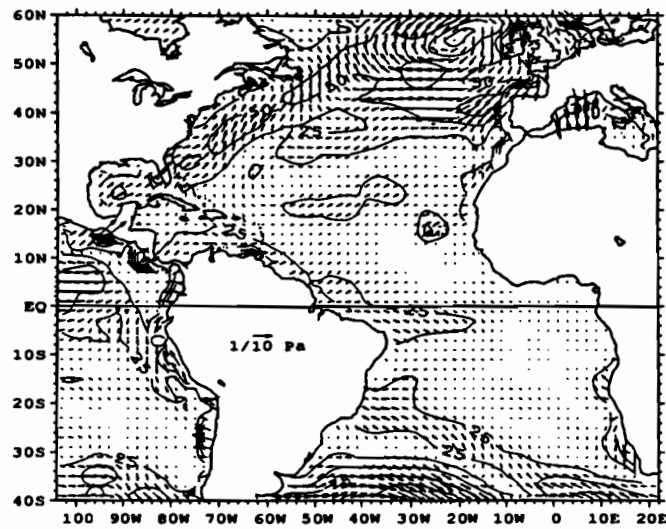
**Figure 20 :** Tension du vent ( $10^{-3}$  Pa) en mai calculé par le modèle du MPI :  
(a) différence des simulations APR - ACR pour mai 1983,  
(b) différence des simulations APR - ACR pour mai 1984,  
(c) différence mai 1984 moins mai 1983 pour la simulation APR.

(TOU) \* WS Diff. from WR \* 05/84 - 05/83



(a)

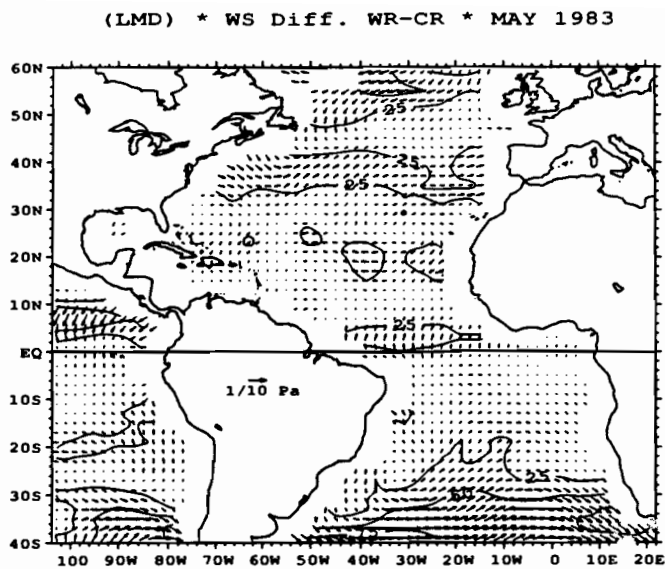
(TOU) \* WS Diff. from PR \* 05/84 - 05/83



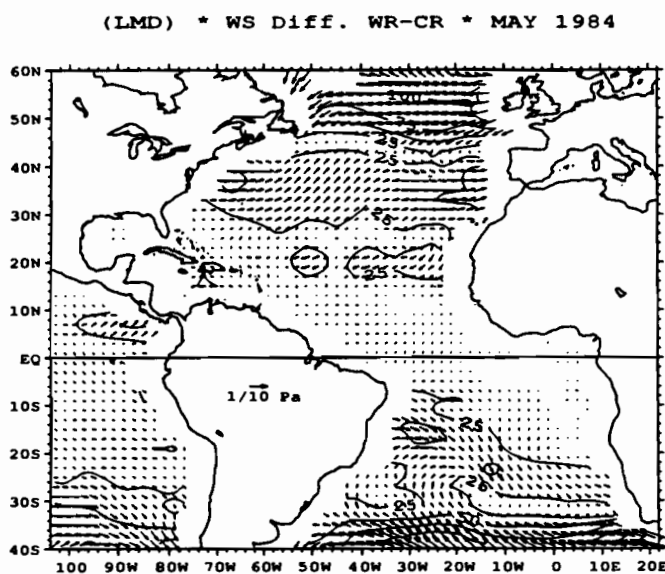
(b)

**Figure 21 :** Tension du vent ( $10^{-3}$  Pa) en mai calculé par le modèle du CNRM :  
(a) différence mai 1984 moins mai 1983 pour la simulation AWR,  
(b) différence mai 1984 moins mai 1983 pour la simulation APR.

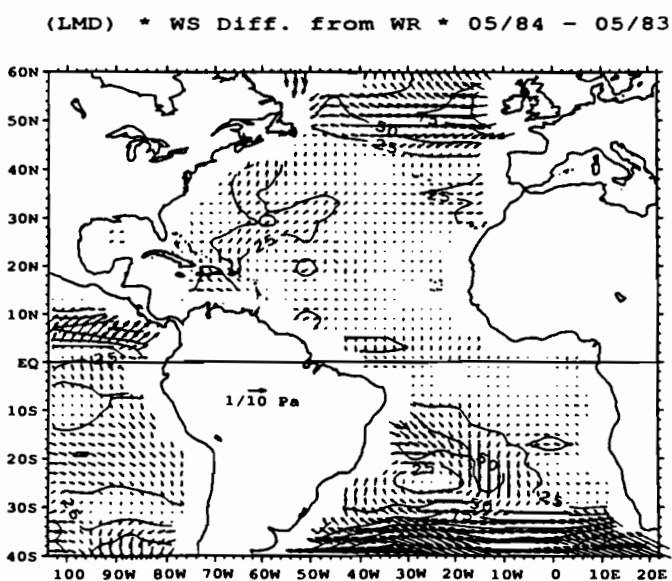




(a)

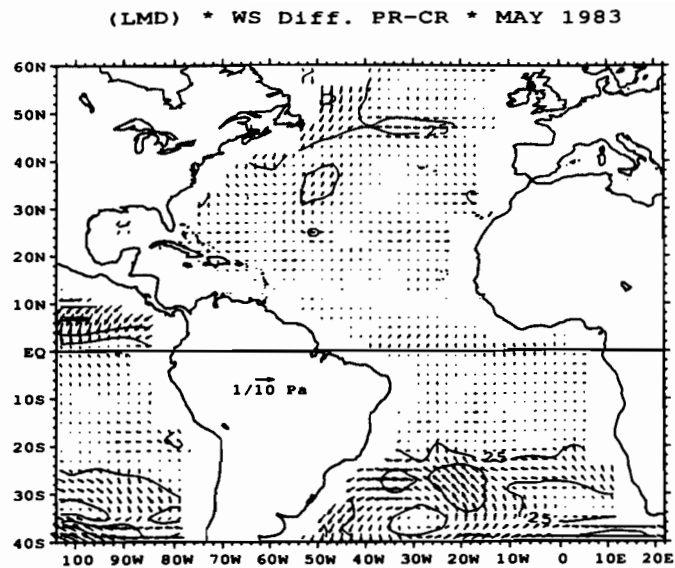


(b)

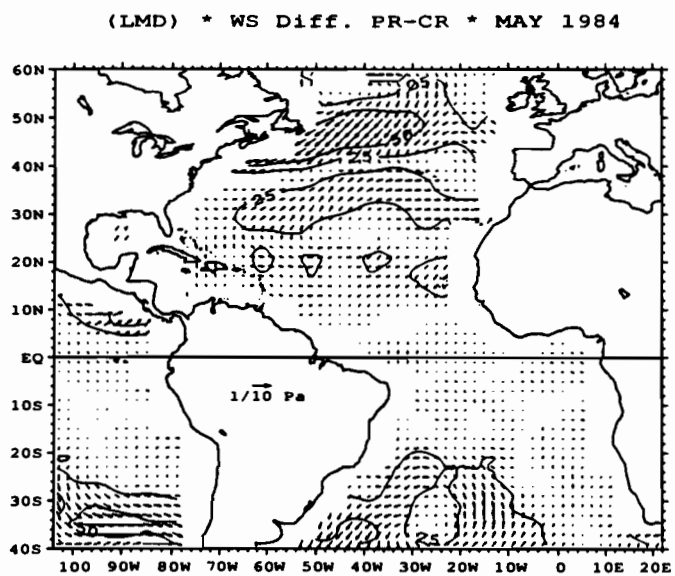


(c)

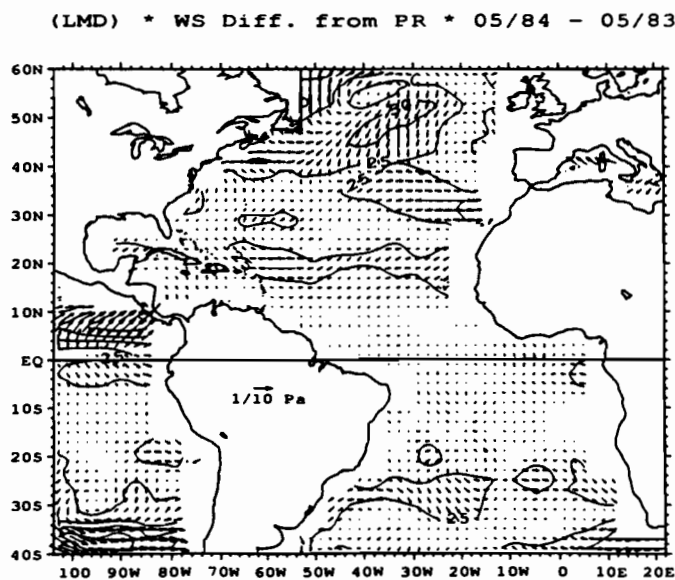
**Figure 22 :** Tension du vent ( $10^{-3}$  Pa) en mai calculé par le modèle du LMD :  
 (a) différence des simulations AWR - ACR pour mai 1983,  
 (b) différence des simulations AWR - ACR pour mai 1984,  
 (c) différence mai 1984 moins mai 1983 pour la simulation AWR.



(a)



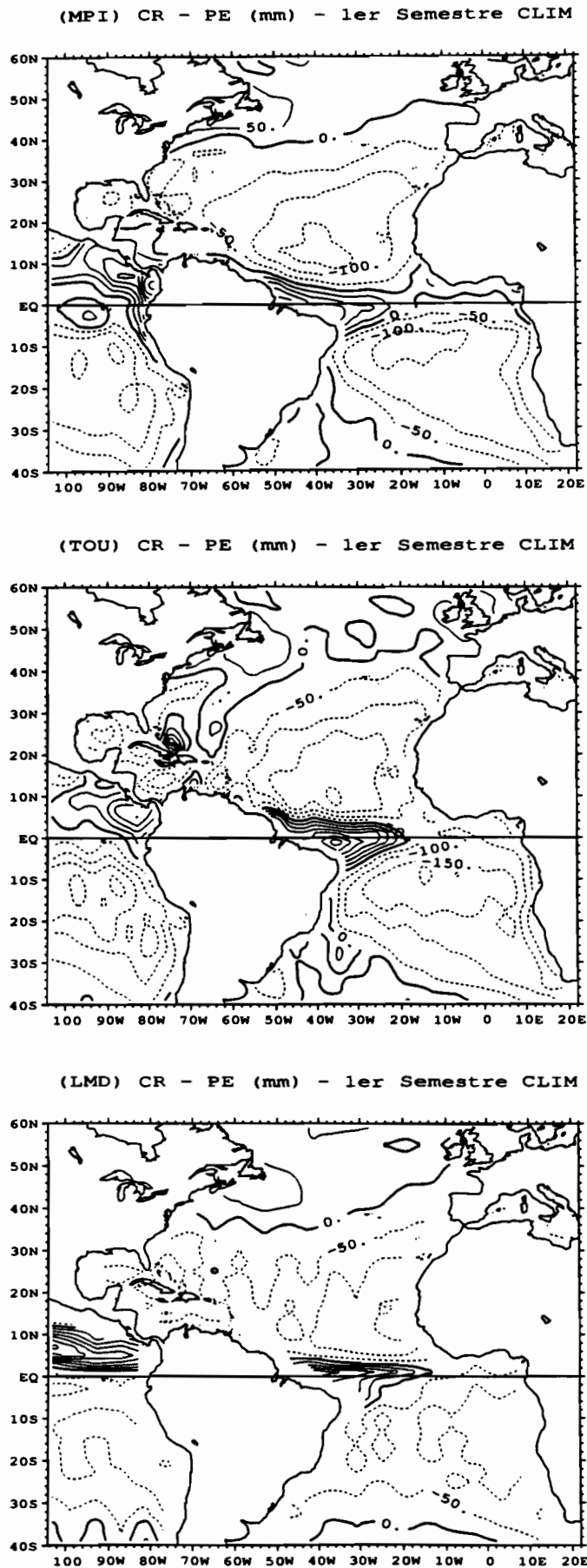
(b)



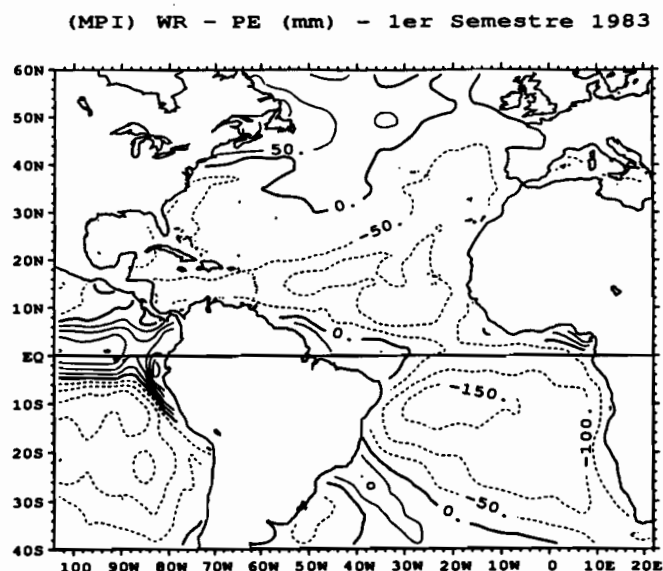
(c)

**Figure 23 :** Tension du vent ( $10^{-3}$  Pa) en mai calculé par le modèle du LMD :  
 (a) différence des simulations APR - ACR pour mai 1983,  
 (b) différence des simulations APR - ACR pour mai 1984,  
 (c) différence mai 1984 moins mai 1983 pour la simulation APR.

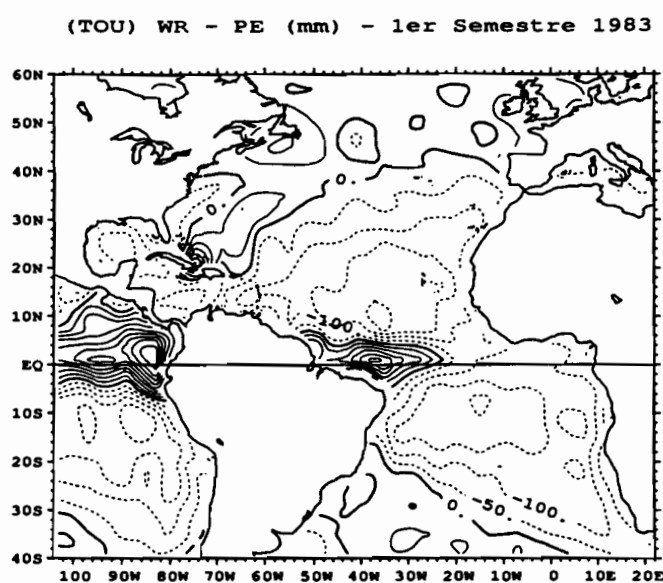
**Cartes**  
**du Bilan Précipitation moins Evaporation**  
**pour le 1<sup>er</sup> semestre 1983 et le 1<sup>er</sup> semestre 1984**



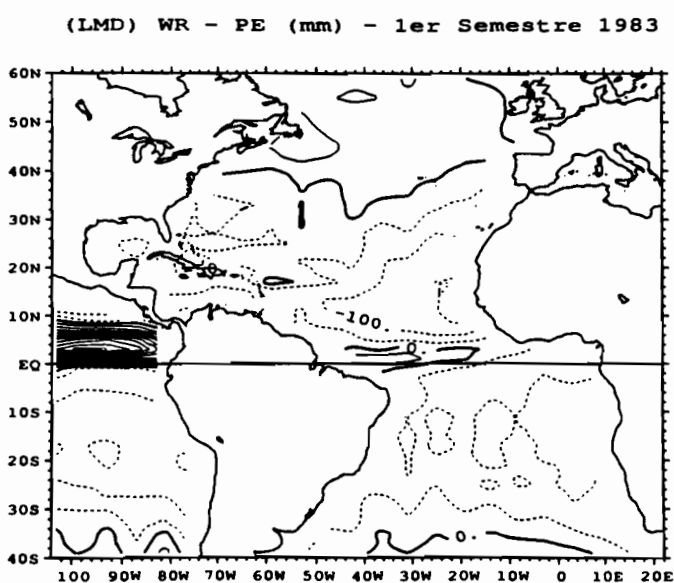
**Figure 24 :** Bilan précipitation moins évaporation ( $\text{mm.mois}^{-1}$ ) pour le premier semestre climatique :  
 (a) d'après la simulation ACR du MPI,  
 (b) d'après la simulation ACR du CNRM,  
 (c) d'après la simulation ACR du LMD.



(a)



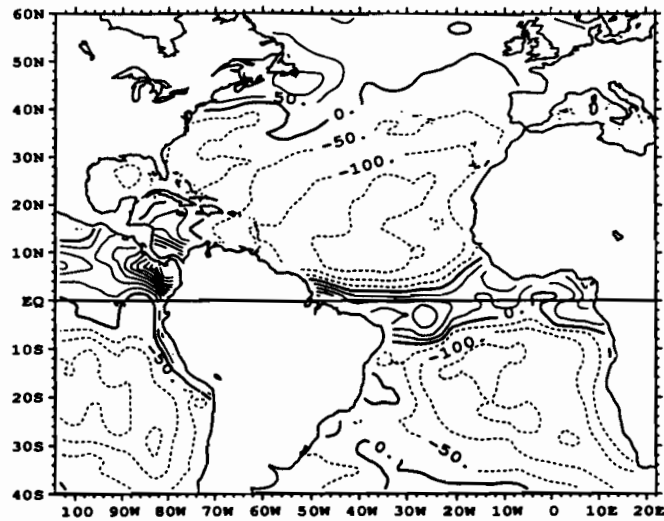
(b)



(c)

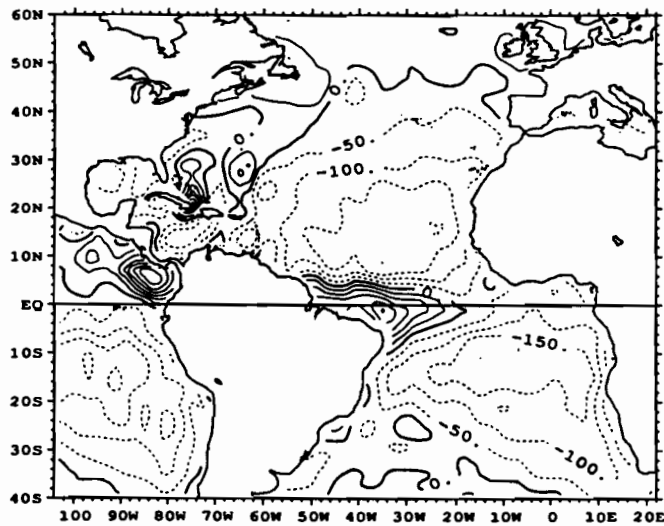
**Figure 25 :** Bilan précipitation moins évaporation ( $\text{mm}\cdot\text{mois}^{-1}$ ) pour le premier semestre 1983 :  
 (a) d'après la simulation AWR du MPI,  
 (b) d'après la simulation AWR du CNRM,  
 (c) d'après la simulation AWR du LMD.

(MPI) WR - PE (mm) - 1er Semestre 1984



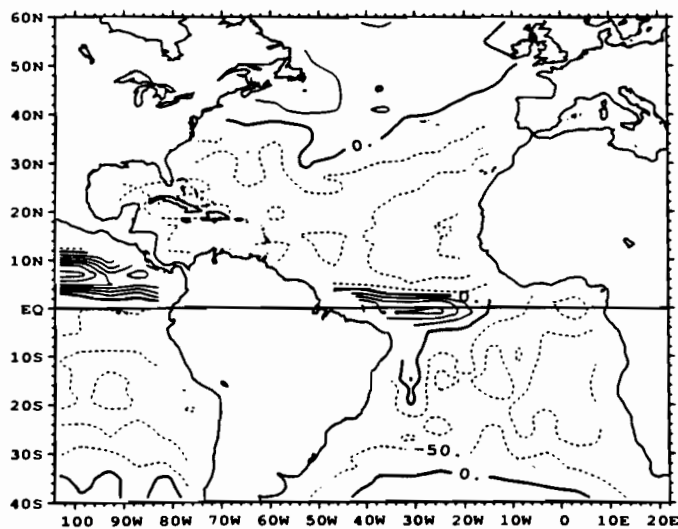
(a)

(TOU) WR - PE (mm) - 1er Semestre 1984



(b)

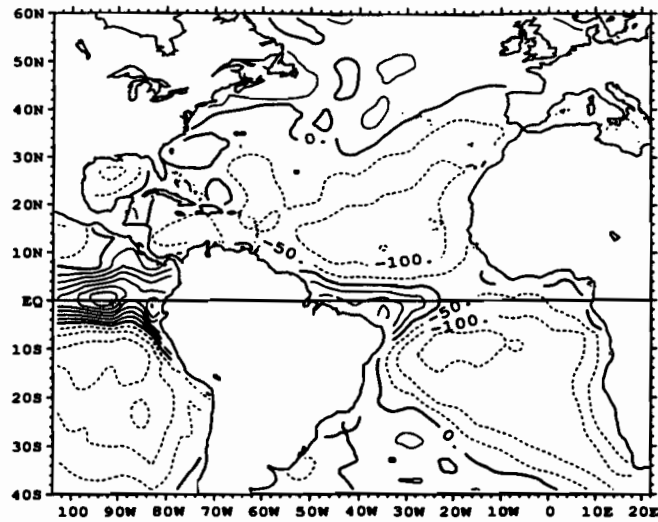
(LMD) WR - PE (mm) - 1er Semestre 1984



(c)

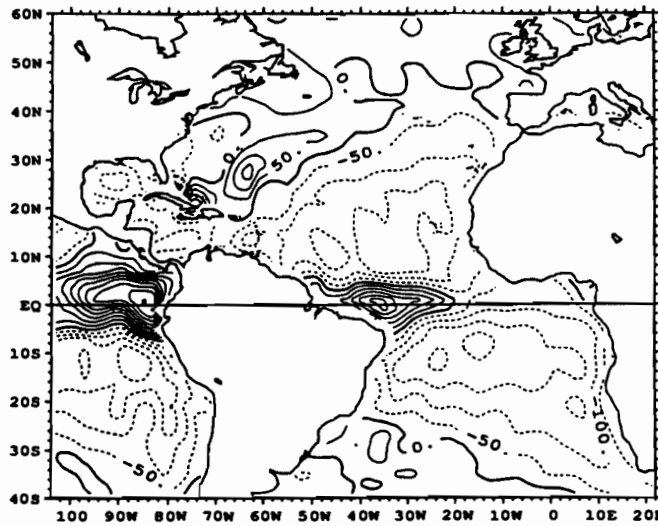
**Figure 26 :** Bilan précipitation moins évaporation ( $\text{mm}\cdot\text{mois}^{-1}$ ) pour le premier semestre 1984 :  
(a) d'après la simulation AWR du MPI,  
(b) d'après la simulation AWR du CNRM,  
(c) d'après la simulation AWR du LMD.

(MPI) PR - PE (mm) - 1er Semestre 1983



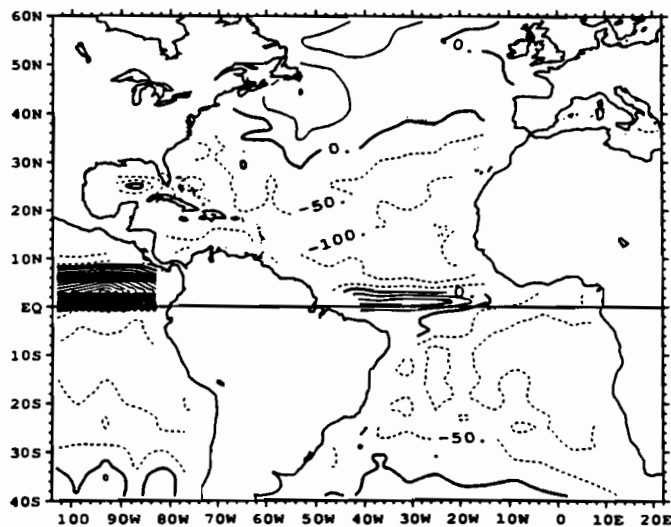
(a)

(TOU) PR - PE (mm) - 1er Semestre 1983



(b)

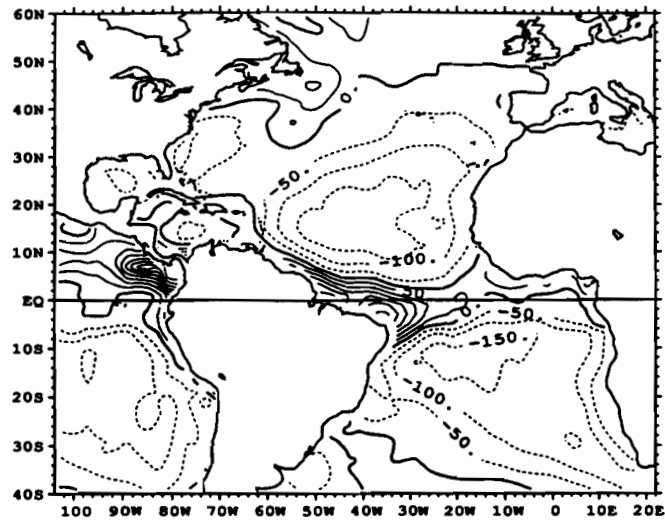
(LMD) PR - PE (mm) - 1er Semestre 1983



(c)

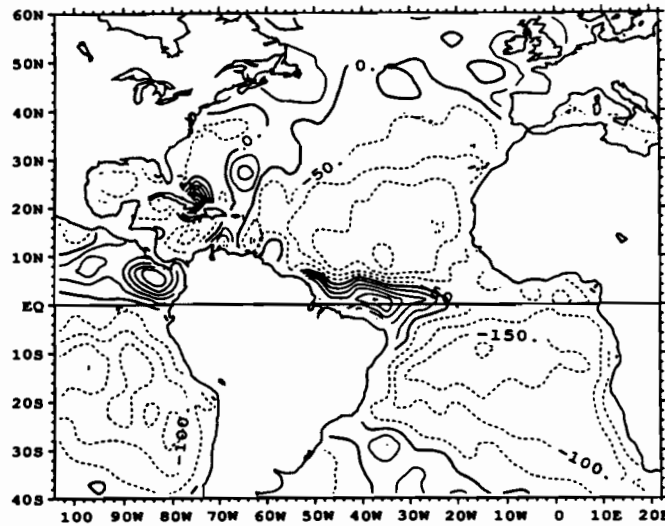
**Figure 27 :** Bilan précipitation moins évaporation ( $\text{mm}\cdot\text{mois}^{-1}$ ) pour le premier semestre 1983 :  
(a) d'après la simulation APR du MPI,  
(b) d'après la simulation APR du CNRM,  
(c) d'après la simulation APR du LMD.

(MPI) PR - PE (mm) - 1er Semestre 1984



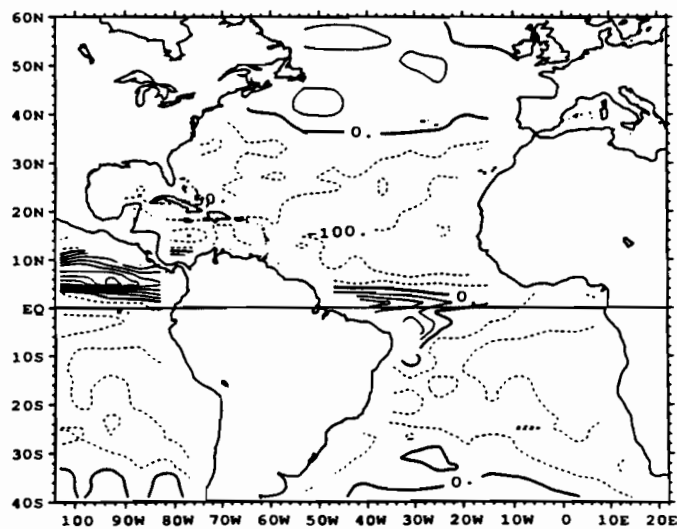
(a)

(TOU) PR - PE (mm) - 1er Semestre 1984



(b)

(LMD) PR - PE (mm) - 1er Semestre 1984

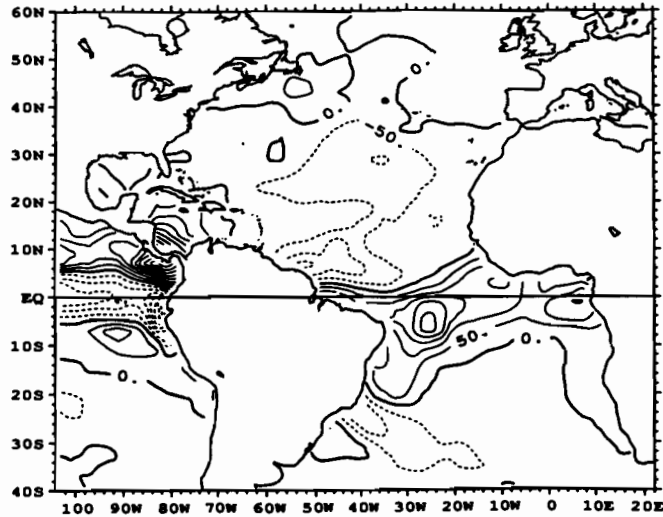


(c)

**Figure 28 :** Bilan précipitation moins évaporation ( $\text{mm.mois}^{-1}$ ) pour le premier semestre 1984 :  
(a) d'après la simulation APR du MPI,  
(b) d'après la simulation APR du CNRM,  
(c) d'après la simulation APR du LMD.

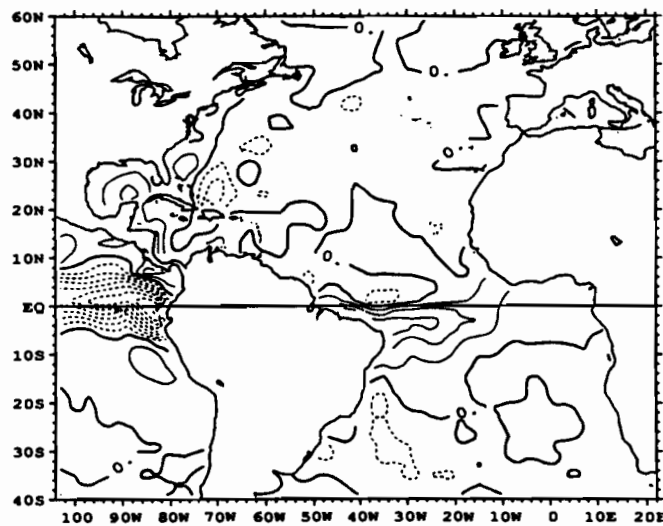


(MPI) WR \* PE \* 1er Sem. 84 moins 1er Sem. 83



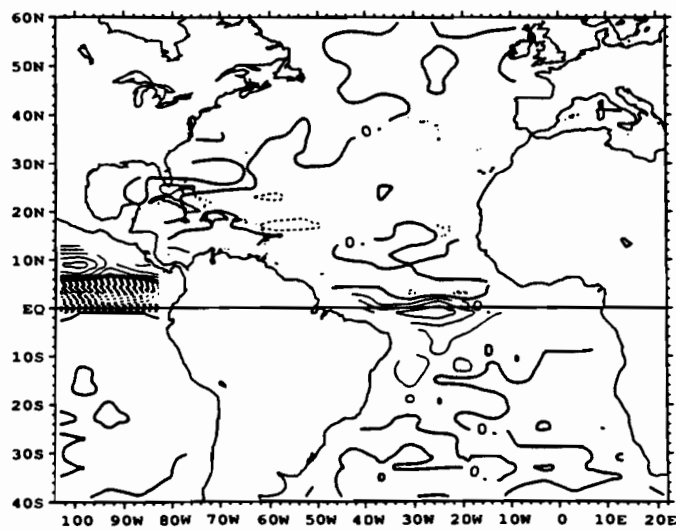
(a)

(TOU) WR \* PE \* 1er Sem. 84 moins 1er Sem. 83



(b)

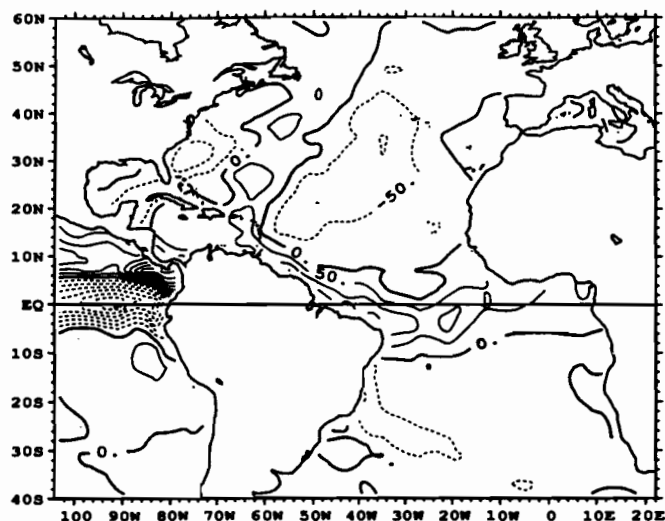
(LMD) WR \* PE \* 1er Sem. 84 moins 1er Sem. 83



(c)

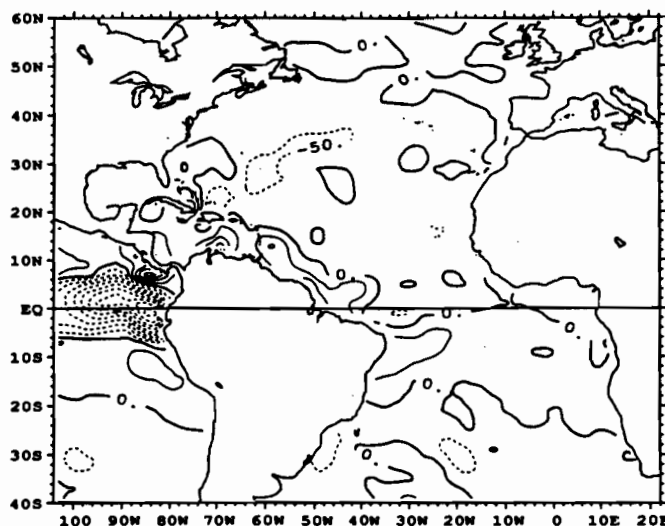
**Figure 29 :** Bilan précipitation moins évaporation ( $\text{mm}\cdot\text{mois}^{-1}$ ) pour la différence entre le premier semestre 1984 et le premier semestre 1983 :  
(a) d'après la simulation AWR du MPI,  
(b) d'après la simulation AWR du CNRM,  
(c) d'après la simulation AWR du LMD.

(MPI) PR \* PE \* 1er Sem. 84 moins 1er Sem. 83



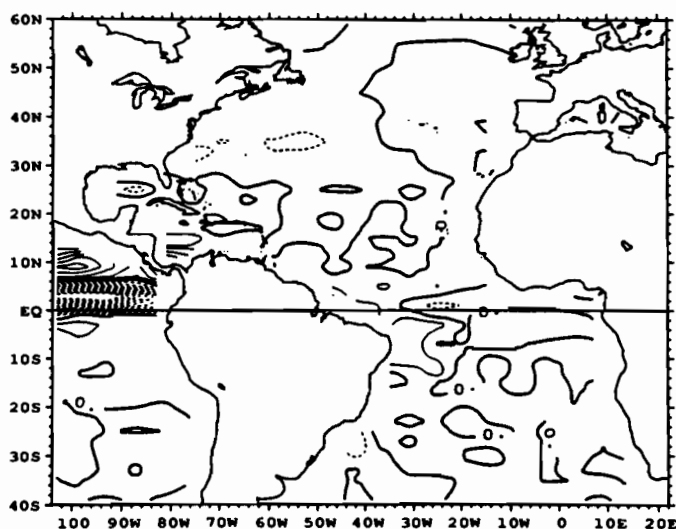
(a)

(TOU) PR \* PE \* 1er Sem. 84 moins 1er Sem. 83



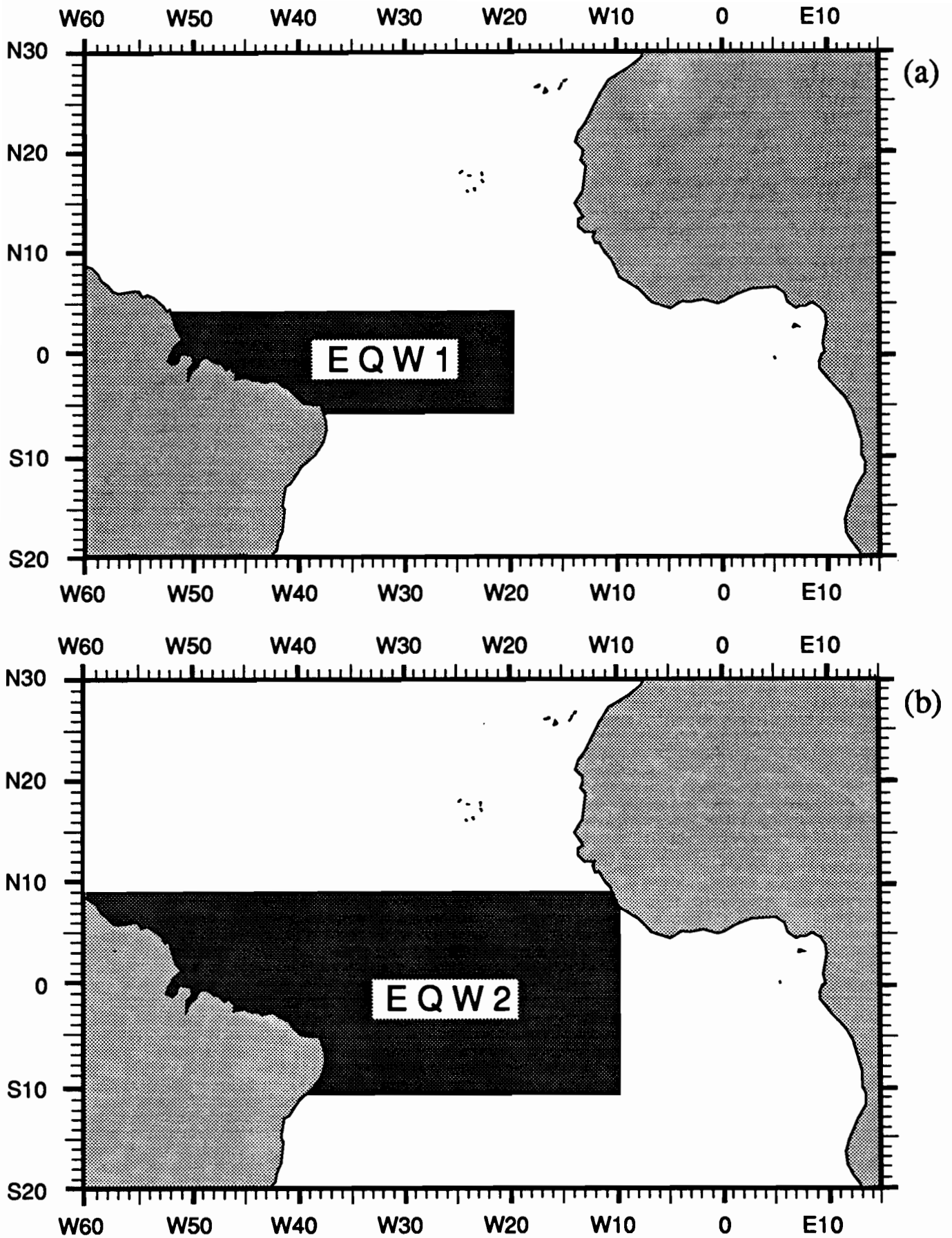
(b)

(LMD) PR \* PE \* 1er Sem. 84 moins 1er Sem. 83



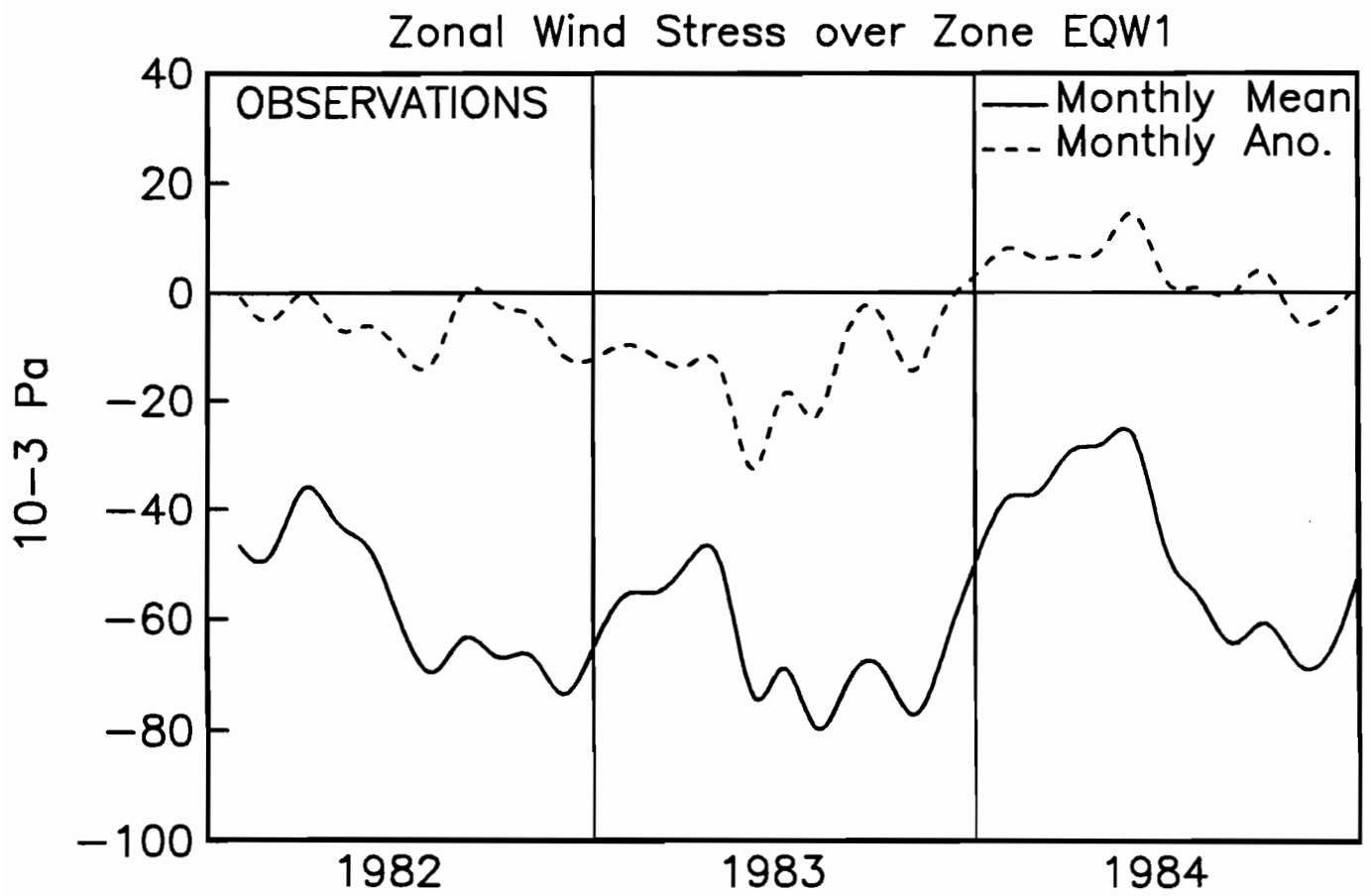
(c)

**Figure 30 :** Bilan précipitation moins évaporation ( $\text{mm}\cdot\text{mois}^{-1}$ ) pour la différence entre le premier semestre 1984 et le premier semestre 1983 :  
(a) d'après la simulation APR du MPI,  
(b) d'après la simulation APR du CNRM,  
(c) d'après la simulation APR du LMD.

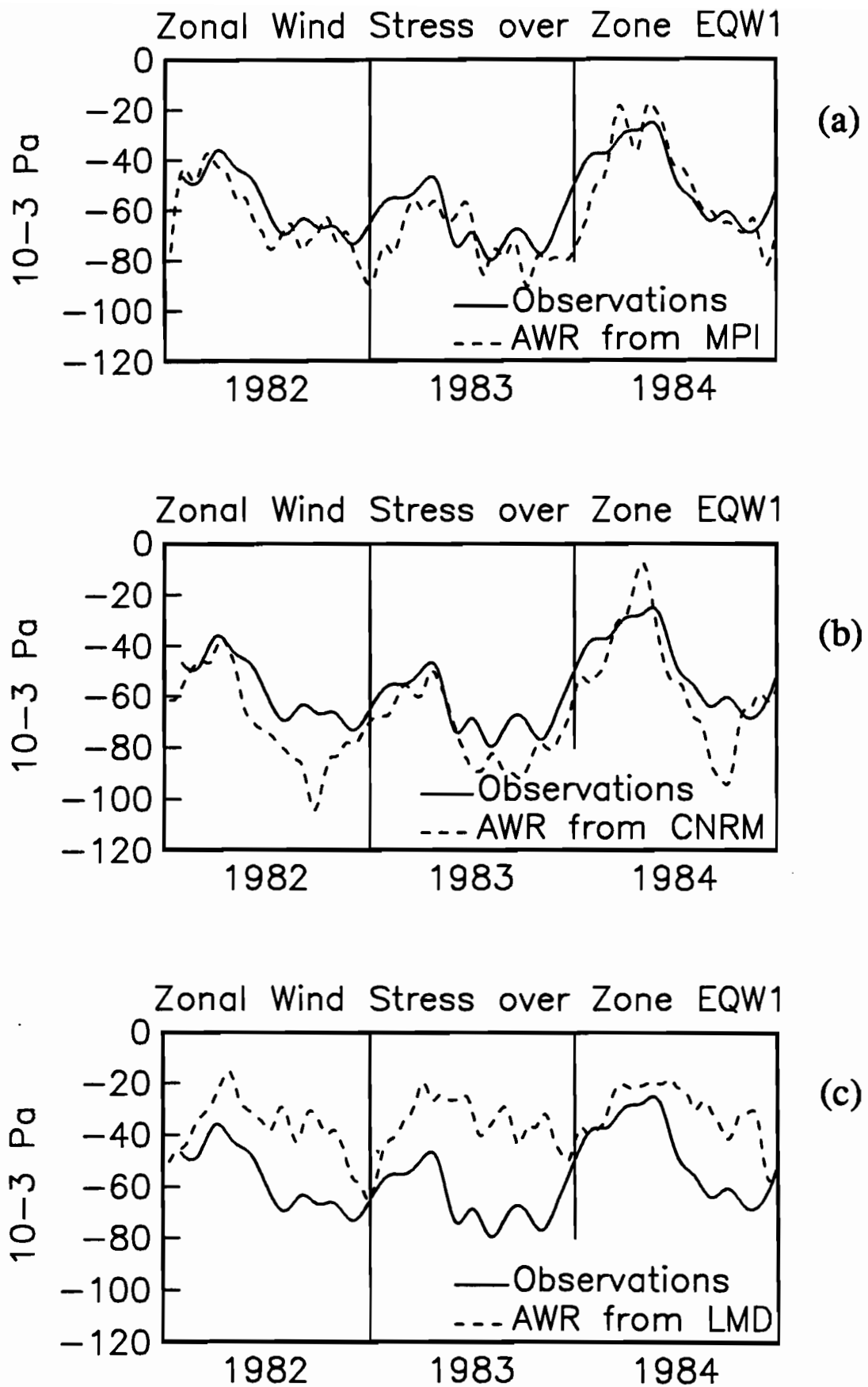


**Figure 31 :** Zones d'intégration spatiale utilisées pour les séries mensuelles (1982 - 1984) :  
 - (a) zone EQW1 pour la tension zonale du vent (voir figures 32 à 37),  
 - (b) zone EQW2 pour le bilan précipitation moins évaporation (voir figures 38 à 41).

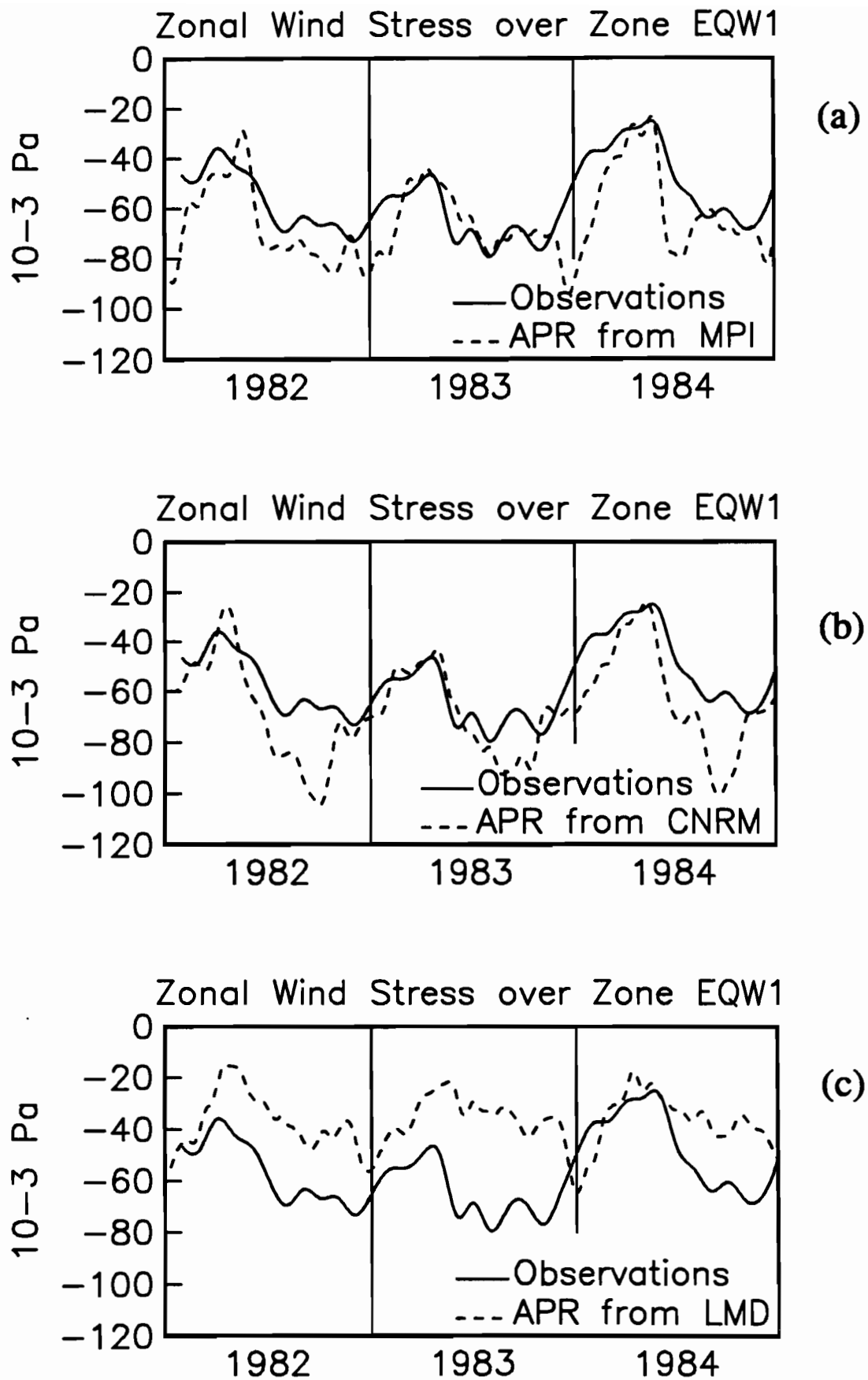
**Séries Temporelles  
de la tension Zonale du Vent  
sur la Zone EQW1**



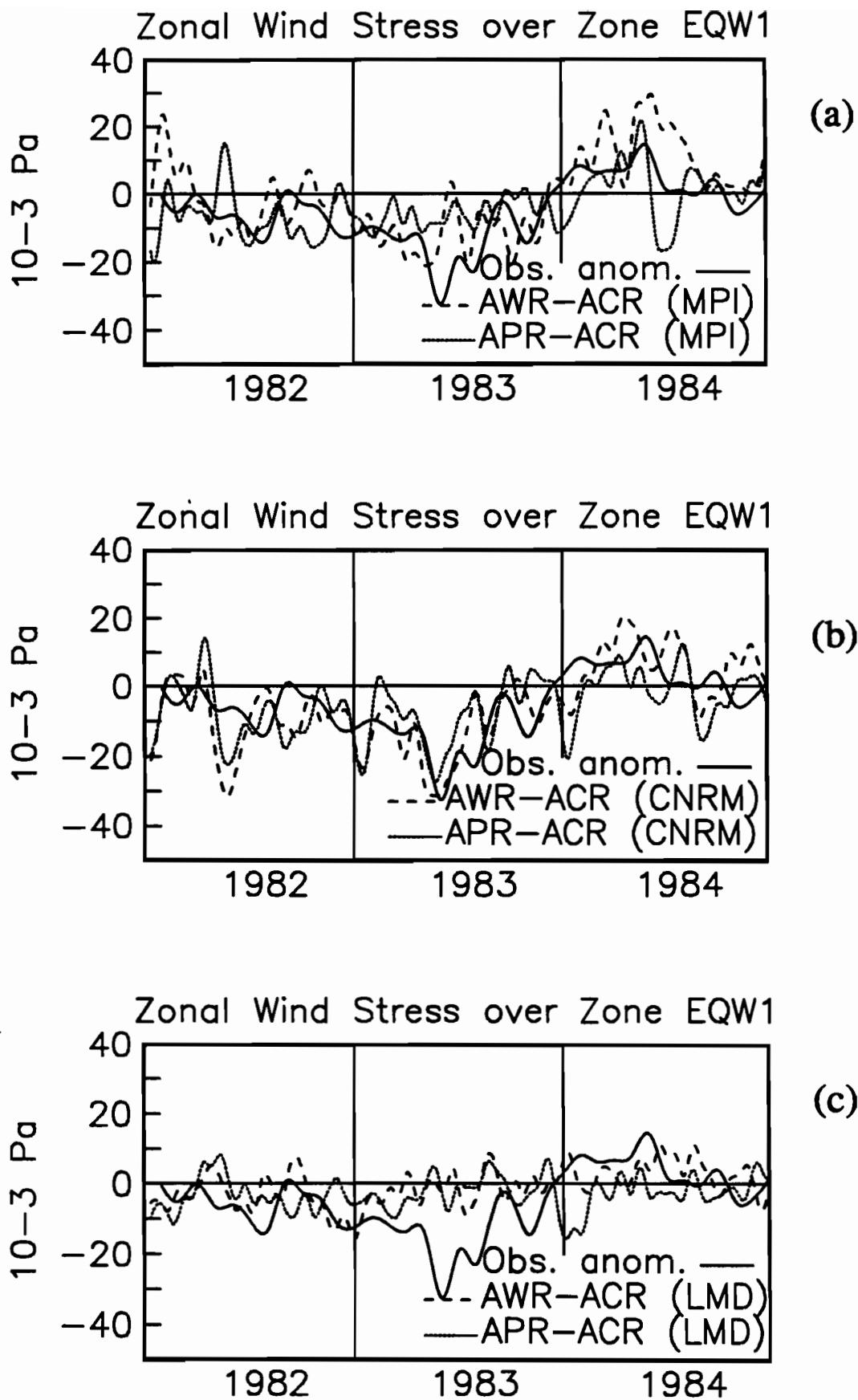
**Figure 32 :** Tension zonale du vent et son anomalie d'après les observations.



**Figure 33 :** Comparaisons entre la tension zonale du vent déduite des observations et la tension zonale du vent déduite des simulations AWR :  
 (a) d'après le modèle du MPI,  
 (b) d'après le modèle du CNRM,  
 (c) d'après le modèle du LMD.

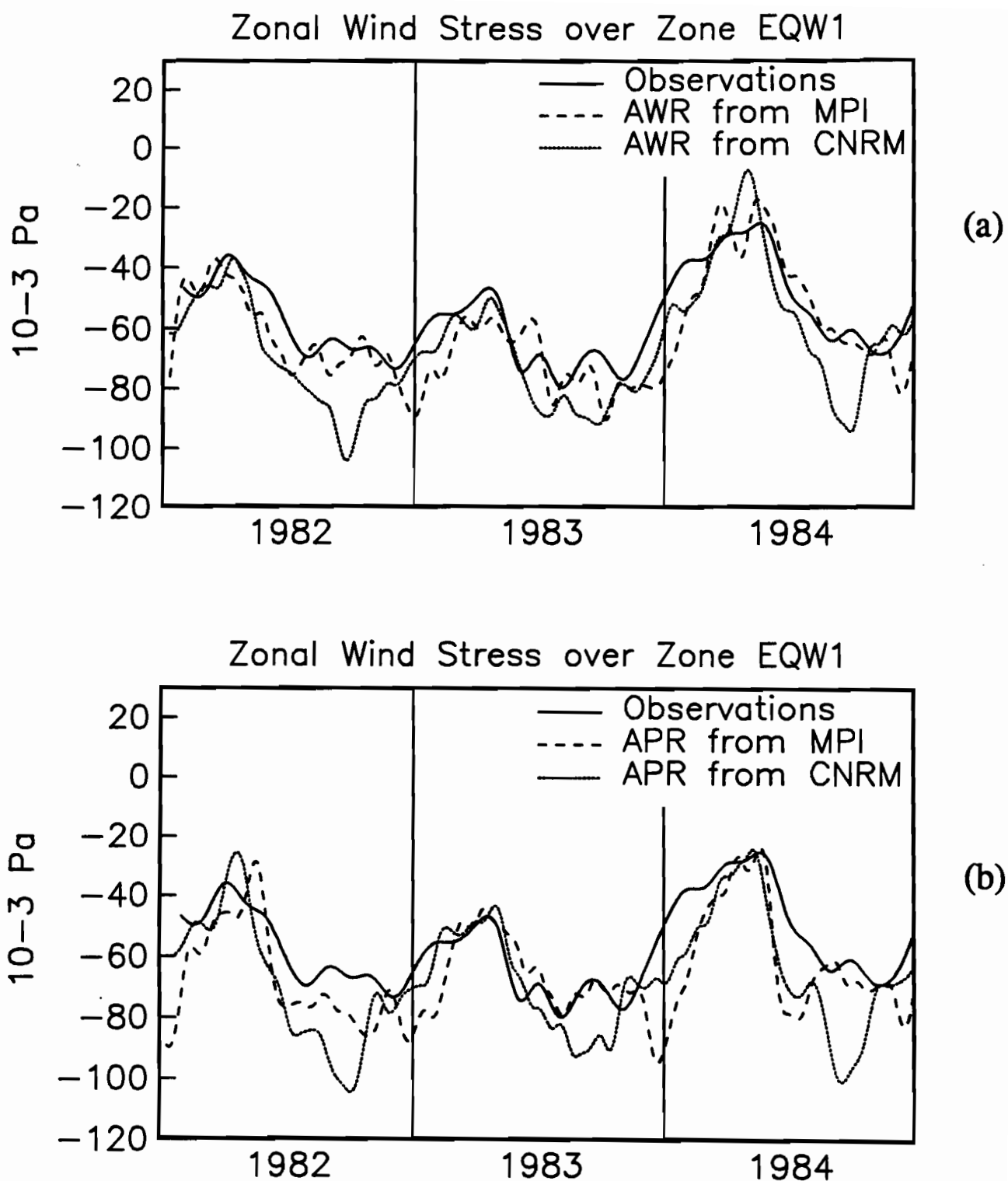


**Figure 34 :** Comparaisons entre la tension zonale du vent déduite des observations et la tension zonale du vent déduite des simulations APR :  
 (a) d'après le modèle du MPI,  
 (b) d'après le modèle du CNRM,  
 (c) d'après le modèle du LMD.

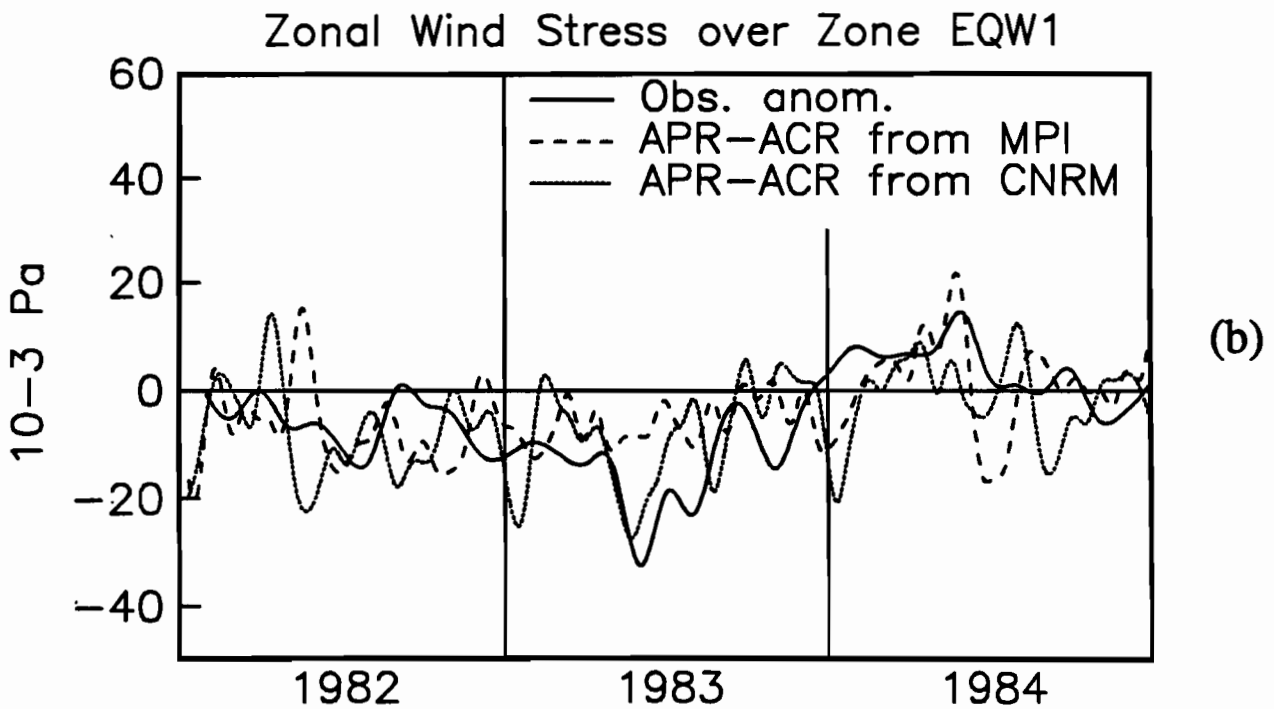
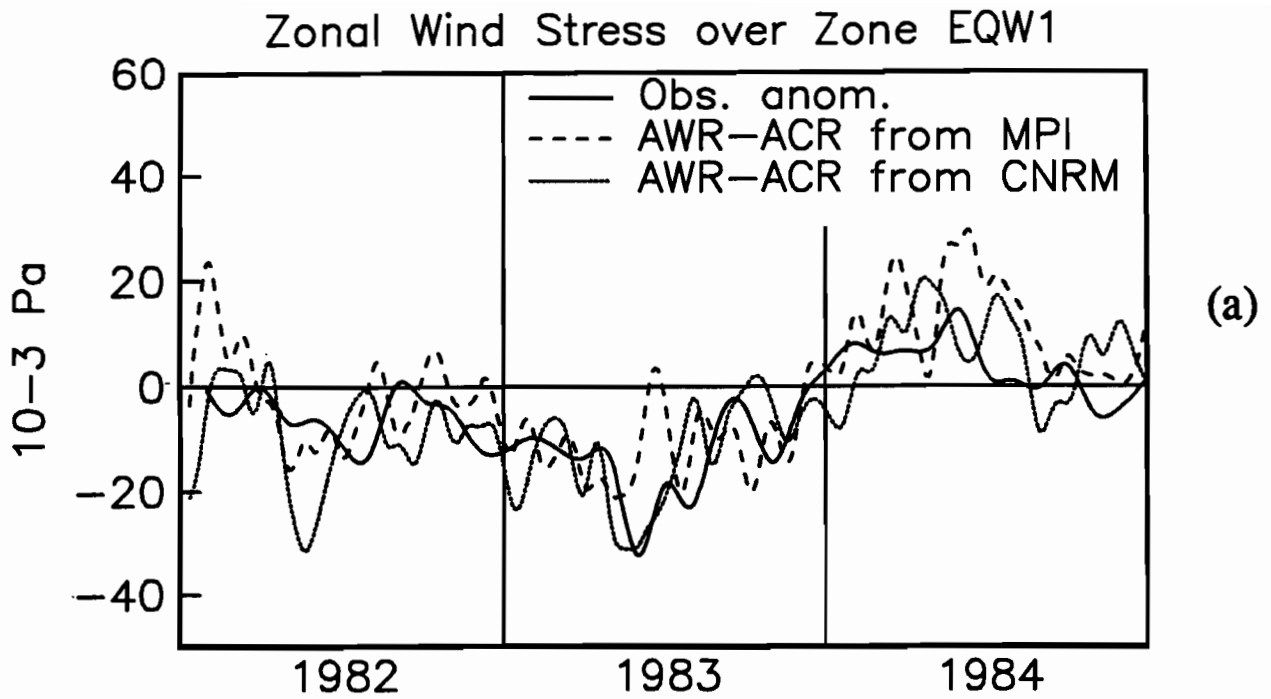


**Figure 35 :** Comparaisons entre l'anomalie de la tension zonale du vent déduite des observations et les différences de tension zonale du vent déduites des simulations AWR - ACR et APR - ACR :  
 (a) d'après le modèle du MPI,  
 (b) d'après le modèle du CNRM,  
 (c) d'après le modèle du LMD.



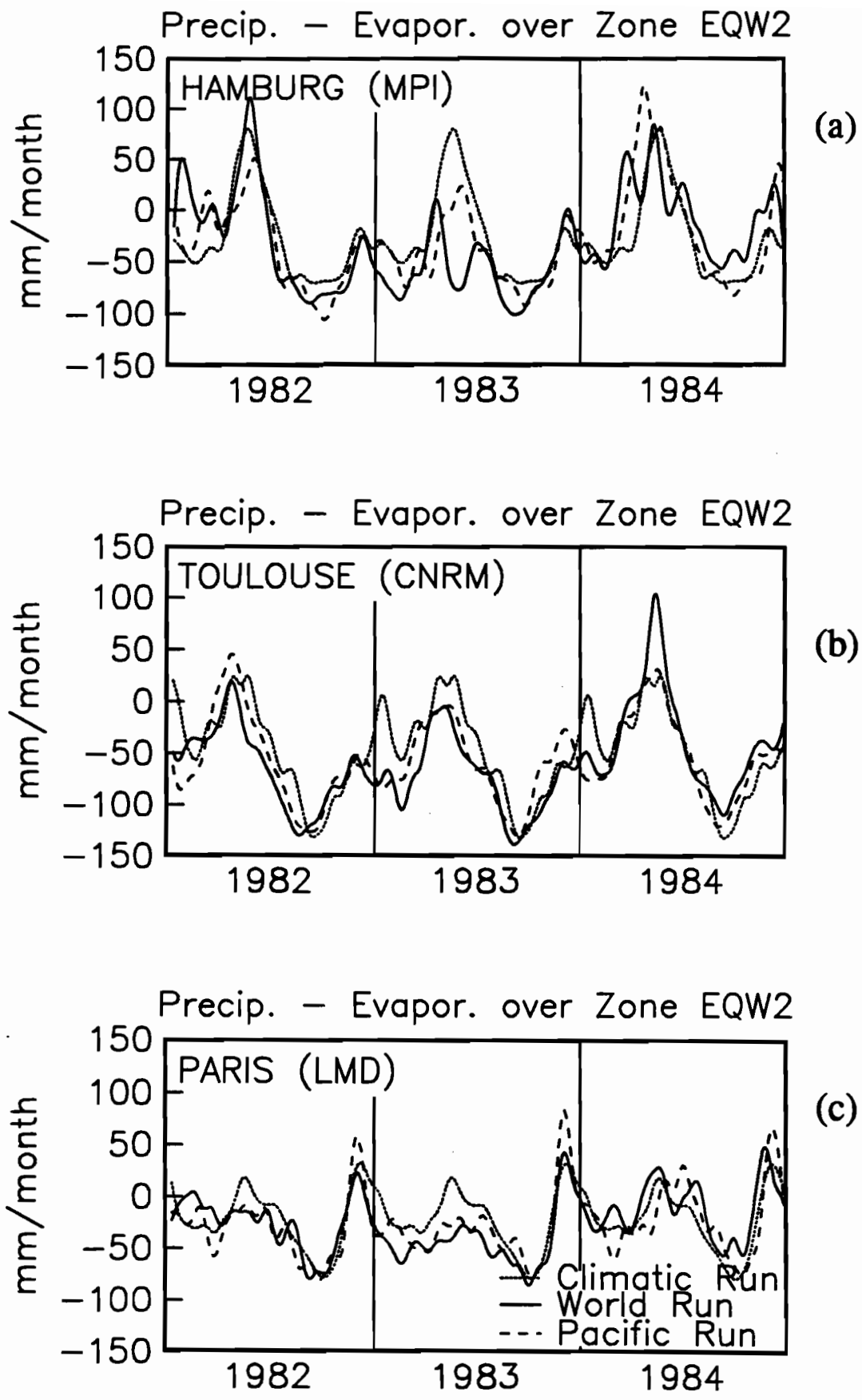


**Figure 36** : Comparaisons entre la tension zonale du vent déduite des observations et les tensions zonales du vent d'après les modèles du MPI et du CNRM :  
 (a) comparaison avec les simulations AWR,  
 (b) comparaison avec les simulations APR.

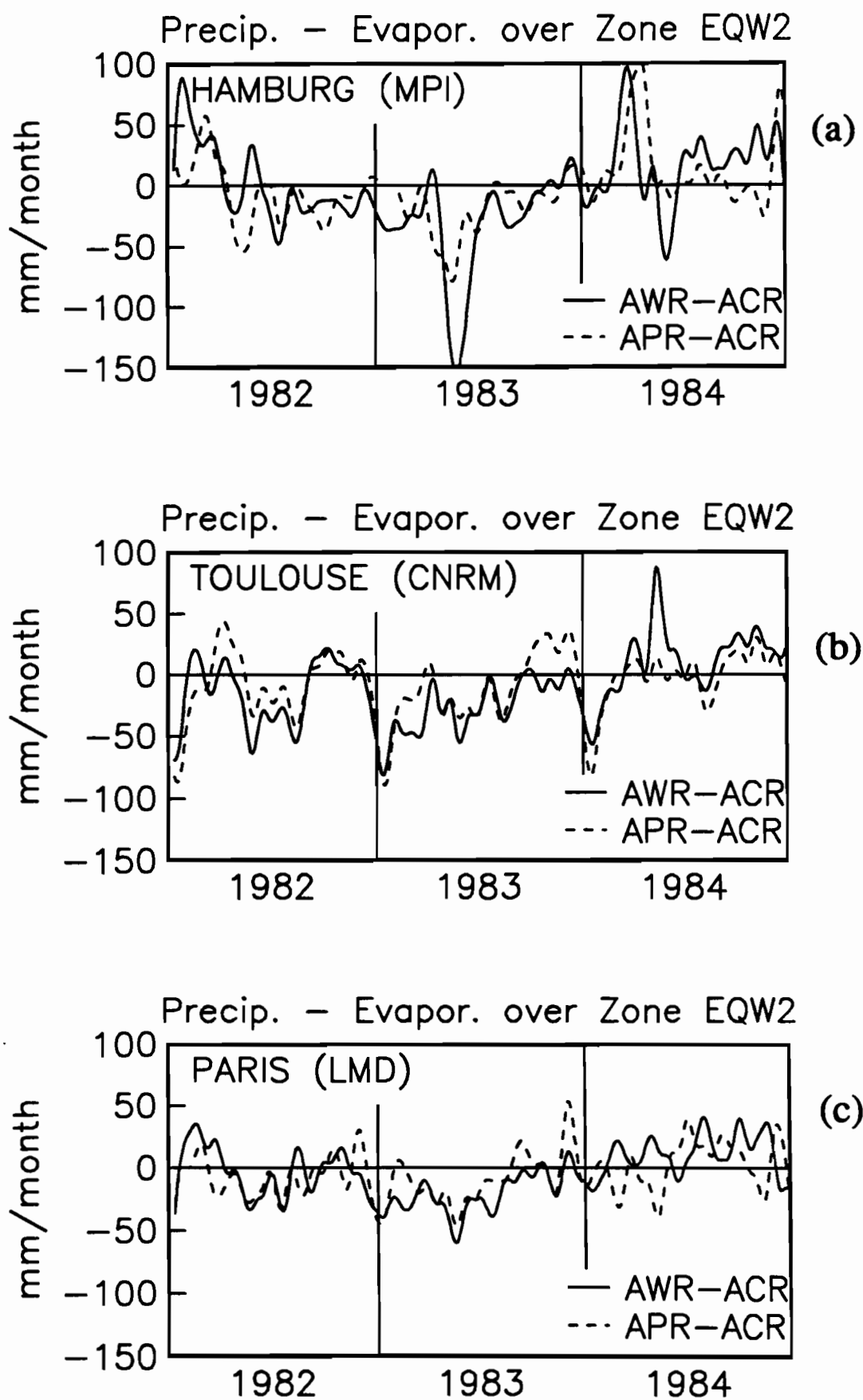


**Figure 37** : Comparaisons entre l'anomalie de la tension zonale du vent déduite des observations et les différences de tensions zonales du vent d'après les modèles du MPI et du CNRM :  
 (a) comparaison avec les différences AWR - ACR,  
 (b) comparaison avec les différences APR - ACR.

**Séries Temporelles  
du Bilan Précipitation moins Evaporation  
sur la Zone EQW2**

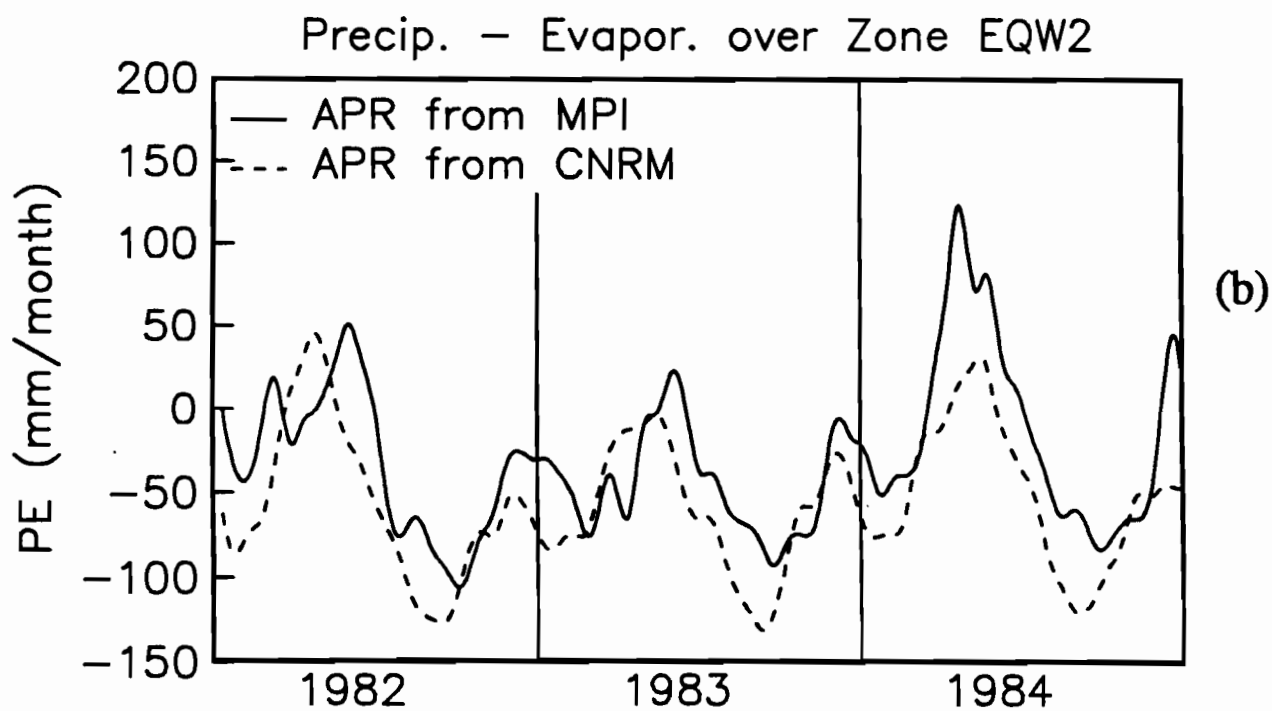
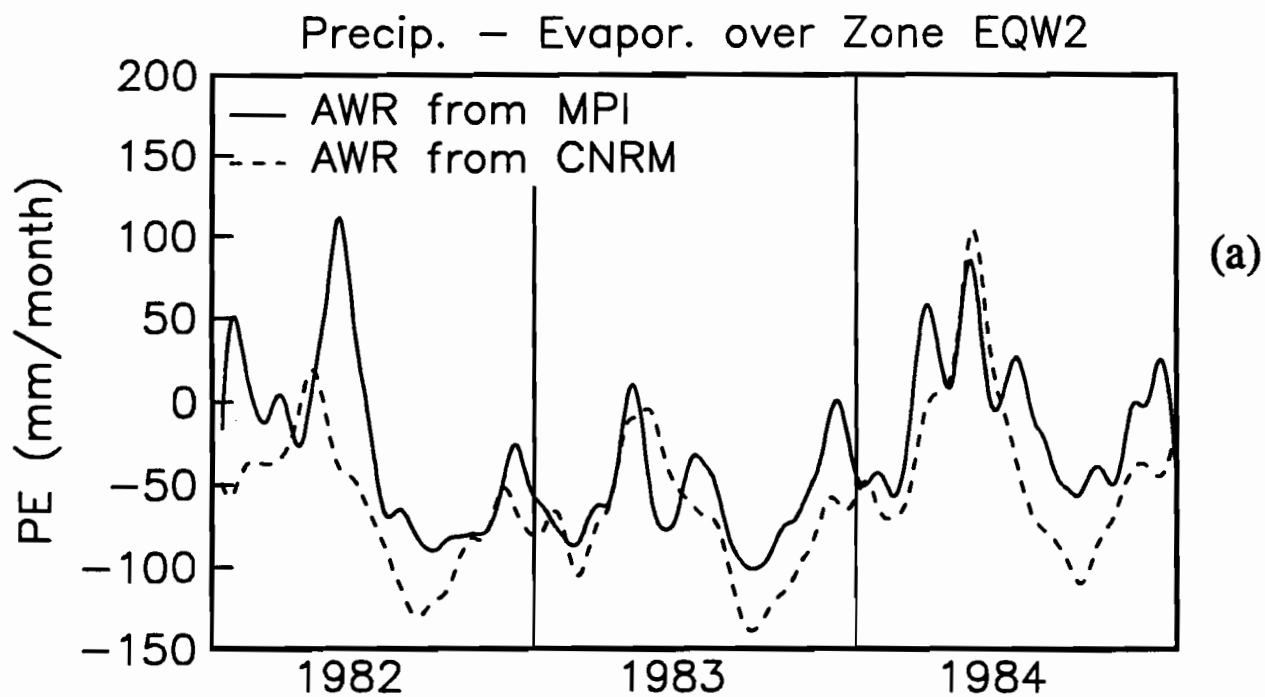


**Figure 38** : Bilans précipitation moins évaporation déduits des simulations ACR, AWR et APR :  
 (a) d'après le modèle du MPI,  
 (b) d'après le modèle du CNRM,  
 (c) d'après le modèle du LMD.



**Figure 39** : Différences du bilan précipitation moins évaporation déduites des simulations AWR - ACR et APR - ACR :

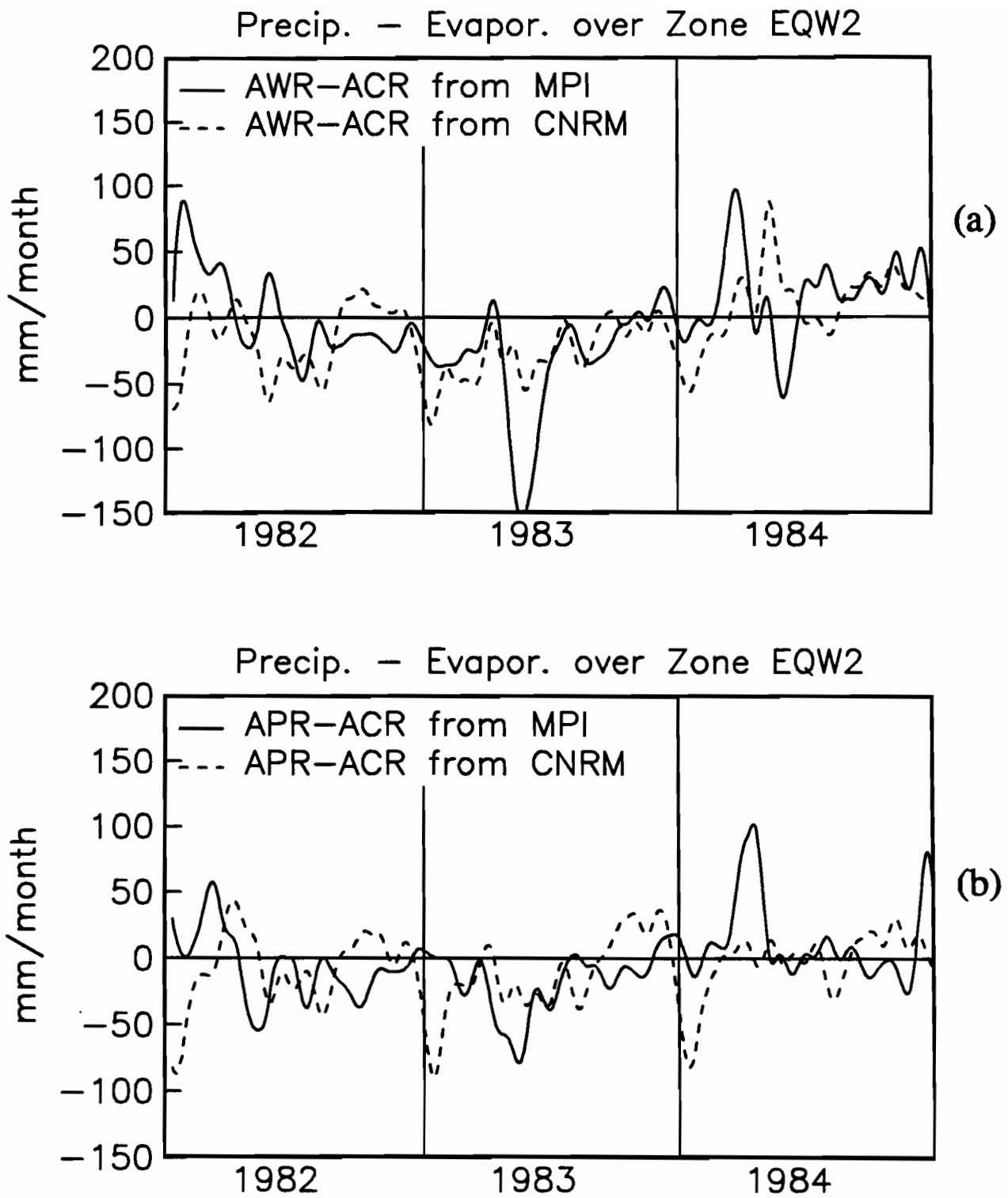
- (a) d'après le modèle du MPI,
- (b) d'après le modèle du CNRM,
- (c) d'après le modèle du LMD.



**Figure 40 :** Comparaisons entre les modèles du MPI et du CNRM du bilan précipitation moins évaporation:

(a) comparaison des simulations AWR,

(b) comparaison des simulations APR.



**Figure 41** : Comparaisons entre les modèles du MPI et du CNRM du bilan précipitation moins évaporation:

- (a) comparaison des simulations AWR - ACR,
- (b) comparaison des simulations APR - ACR.

**Coefficients de Corrélacion  
entre les diverses Séries Temporelles**



## Tension Zonale du vent sur la Zone EQW1

		Observations		A C R			A W R			A P R		
		Climatologie	Observations	MPI	CNRM	LMD	MPI	CNRM	LMD	MPI	CNRM	LMD
O b s.	Climatologie	1	*	<u>0,78</u>	<u>0,95</u>	0,56	*	*	*	*	*	*
	Observations		1	*	*	*	<u>0,79</u>	<u>0,88</u>	0,35	0,61	<u>0,81</u>	0,21
A C R	MPI			1	<b>0,73</b>	<u>0,90</u>	*	*	*	*	*	*
	CNRM				1	0,48	*	*	*	*	*	*
	LMD					1	*	*	*	*	*	*
A W R	MPI						1	<b>0,77</b>	<b>0,68</b>	<b>0,72</b>	*	*
	CNRM							1	0,42	*	<u>0,93</u>	*
	LMD								1	*	*	<u>0,78</u>
A P R	MPI									1	<b>0,71</b>	<b>0,75</b>
	CNRM										1	0,47
	LMD											1

**Tableau de corrélation n° 1**  
(seuil à 1% en gras ; seuil à 0,1% en gras souligné)

## Anomalies de la Tension Zonale du Vent sur la Zone EQW1

		Anomalies observées	AWR moins ACR			APR moins ACR		
			MPI	CNRM	LMD	MPI	CNRM	LMD
Anomalies observées		1	<b>0,77</b>	<b>0,72</b>	0,42	0,45	0,46	-0,10
AWR moins ACR	MPI		1	<b>0,67</b>	0,38	0,31	*	*
	CNRM			1	0,02	*	<u>0,79</u>	*
	LMD				1	*	*	0,12
APR moins ACR	MPI					1	0,30	0,37
	CNRM						1	0,18
	LMD							1

**Tableau de corrélation n° 2**  
(seuil à 1% en gras ; seuil à 0,1% en gras souligné)

### Précipitation moins Evaporation sur la Zone EQW2

		A C R			A W R			A P R		
		MPI	CNRM	LMD	MPI	CNRM	LMD	MPI	CNRM	LMD
A C R	MPI	1	<u>0,79</u>	0,66	*	*	*	*	*	*
	CNRM		1	0,68	*	*	*	*	*	*
	LMD			1	*	*	*	*	*	*
A W R	MPI				1	0,74	0,64	0,72	*	*
	CNRM					1	0,59	*	<u>0,88</u>	*
	LMD						1	*	*	0,76
A P R	MPI							1	0,77	0,48
	CNRM								1	0,34
	LMD									1

**Tableau de corrélation n° 3**  
(seuil à 1% en gras ; seuil à 0,1% en gras souligné)

### Anomalies Précipitation moins Evaporation sur la Zone EQW2

		AWR moins ACR			APR moins ACR		
		MPI	CNRM	LMD	MPI	CNRM	LMD
AWR moins ACR	MPI	1	0,35	0,62	0,56	*	*
	CNRM		1	0,61	*	<b>0,73</b>	*
	LMD			1	0,02	*	<u>0,79</u>
APR moins ACR	MPI				1	0,07	0,23
	CNRM					1	0,33
	LMD						1

**Tableau de corrélation n° 4**  
(seuil à 1% en gras ; seuil à 0,1% en gras souligné)

## **ANNEXE 1**

**Le projet de Recherche  
(Août 1991)**

*Was the 1984 Atlantic Warm Event Driven  
by the 1982-1983 ENSO ?*

**A series of atmospheric/oceanic simulated experiments  
for investigating the indirect response of the tropical Atlantic  
to a major ENSO episode**

A multi-laboratory study proposed by  
**Jacques Servain** (LODYC/CNRS, ORSTOM/IFREMER, Brest, France)

with the active participation of :

**Jagadish Shukla** (COLA, UM, College Park, USA)  
**Antonio D. Moura** (CPTEC/INPE, São José dos Campos, Brazil)  
**Pascale Delécluse** (LODYC/CNRS, UPMC, Paris, France)  
**Alain Morlière** (LODYC/ORSTOM, UPMC, Paris, France)  
**Jean-François Royer** (EERM/CNRM, Toulouse, France)  
**Robert Sadourny** (LMD, Paris, France)  
**Lennart Bengtsson** (MPI, Hamburg, Germany)  
**Kikuro Miyakoda** (GFDL, Princeton, USA)

**Summary**

We intend to force a tropical Atlantic OGCM during the years 1982-1984(85) with the simulated results of various AGCMs, themselves forced by the observed SSTs in the equatorial Pacific Ocean during the same period. We would like to better understand how the 1984 Atlantic warm event was an indirect response of the 1982-1983 ENSO episode and how two wet years (1984-1985) in the Brazilian Nordeste followed a series of dry years.

Brest, August 12, 1991

## 1. Background of the study

The El Niño event which developed in the equatorial Pacific during 1982-1983 was certainly one of the largest abnormal climatic episodes for many decades : positive sea surface temperature (SST) anomalies exceeded 3°C during many months over large areas (Fig. 1). This event and its impact on the world climate are well documented, thanks to diagnostic studies (e.g. CAC *Climate Diagnostics Bulletin*, 1982-1983 issues; Quiroz, 1983), and modelling studies (e.g. Fenessy *et al.*, 1985; Michaud *et al.*, 1985; Tourre *et al.*, 1985).

A warm SST episode also occurred in 1984-1985 in the entire equatorial Atlantic. Positive SST anomalies exceeded 3°C during the summer of 1984 along the African coast; close to the equator (Fig. 2) the seasonal upwelling practically vanished (Fig. 3). This 1984 Atlantic warm event is considered as being one of the largest abnormal episodes of the present century in that region. It is also well documented (e.g. Philander, 1986; Servain & Séva, 1987).

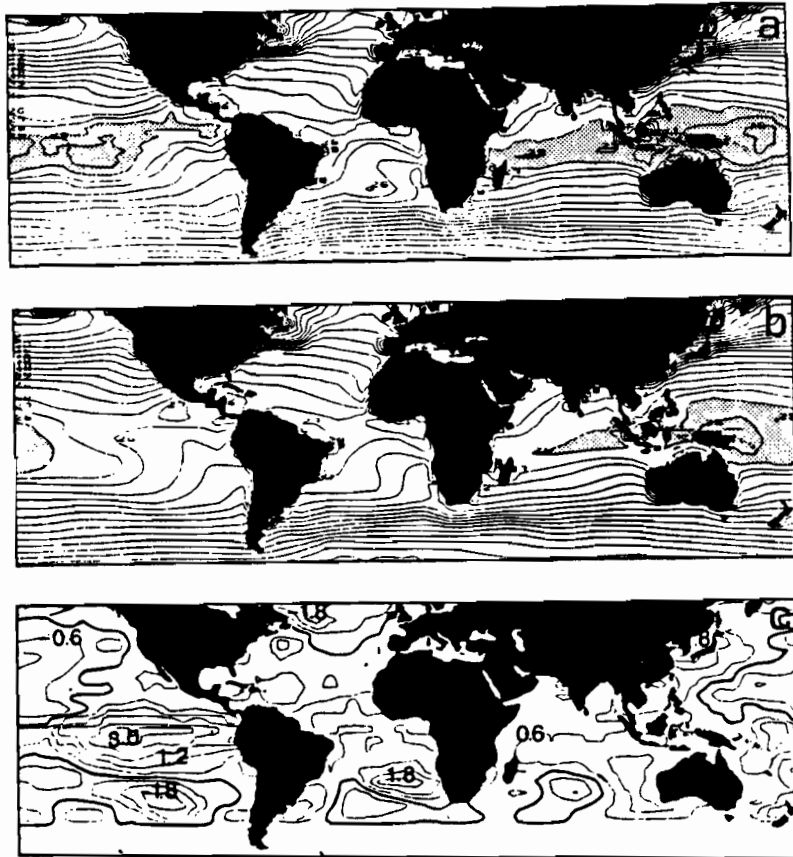
Subsurface observations made during the 1982-1984 FOCAL-SEQUAL program (see the FOCAL/SEQUAL 1987 special issue of *Geophys. Res. Lett.*, and Katz *et al.*, 1986) showed that the thermocline and sea surface slopes were abnormally flat (Fig. 4) in the beginning of 1984. Oceanic simulations (e.g. du Penhoat & Gouriou, 1987; Morlière *et al.*, 1989) allowed us to understand relatively well the sequences of the Atlantic basin-wide 1984 phenomenon.

The 1982-1983 Pacific warm event and the subsequent 1984 Atlantic warm event seem to be connected: discussions about possible links can be found in a few diagnostic studies (e.g. Horel *et al.*, 1986) and atmospheric modelling studies (e.g. Mechoso *et al.*, 1990). The physical support of such a link could be possibly explained by an abnormal Walker-type circulation of the atmosphere between central/eastern equatorial Pacific and equatorial Atlantic:

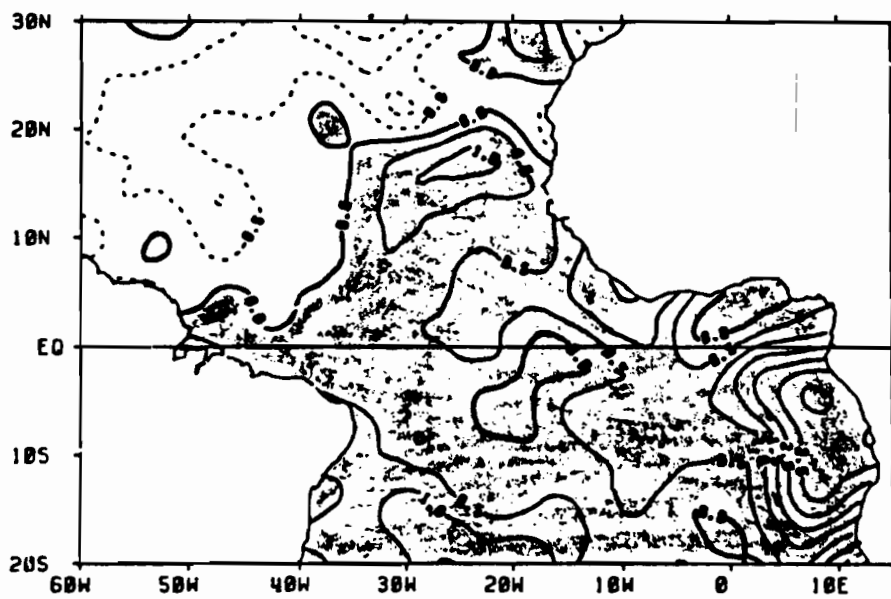
- From mid-1982 to mid-1983 (this period corresponds to the mature phase of the 1982-1983 El Niño), the trades were very weak in the central part of the equatorial Pacific. Above the equatorial Atlantic during the same time, the westerly flux at 200 mb increased while the easterly flux at 850 mb remained stronger than normal (Fig. 5a). In that region there was a decrease of the convective activity which was minimum in February 1983 (Fig. 5b).

- A reversal situation occurred drastically from mid-1983 until the beginning of year 1984 with relaxations of zonal wind at both 200 mb and 850 mb, accompanied with a peak of convective activity over the equatorial Atlantic (Fig. 5). This decrease for the Atlantic atmospheric circulation induced a strong relaxation of the wind stress in the western equatorial basin (Fig. 6). It is though this dramatic climatic event lead to the inverse tilting of the dynamic equatorial ocean slope observed during the FOCAL oceanographic experiments in 1984 and the warm SST episode which subsequently occurred in the whole tropical Atlantic basin. However, additional work is needed to better understand the dynamical and thermal processes which really happened during these years.

Another important climatic change which occurred during the 1982-1985 years is related to the rainfall regime over the Brazilian Nordeste (Fig. 7): 1982 and 1983 were the last two years of a 5-year dry period, while 1984, and especially 1985, were wet. Such a reversal of the Nordeste precipitation regime could be related (Moura & Shukla, 1981) to the main abnormal climatic features which developed during that period over the surrounding regions.



**Figure 1:** (a) Observed SST in January 1983, (b) January climatology, and (c) anomaly a-b. Contour interval: 2 degrees, 1 degree above 26°C. Stippled areas indicate temperatures exceeding 28°C. [after Michaud et al., 1985]



**Figure 2:** SST anomaly in July 1984 in the tropical Atlantic Ocean. [after Servain et al., 1985]

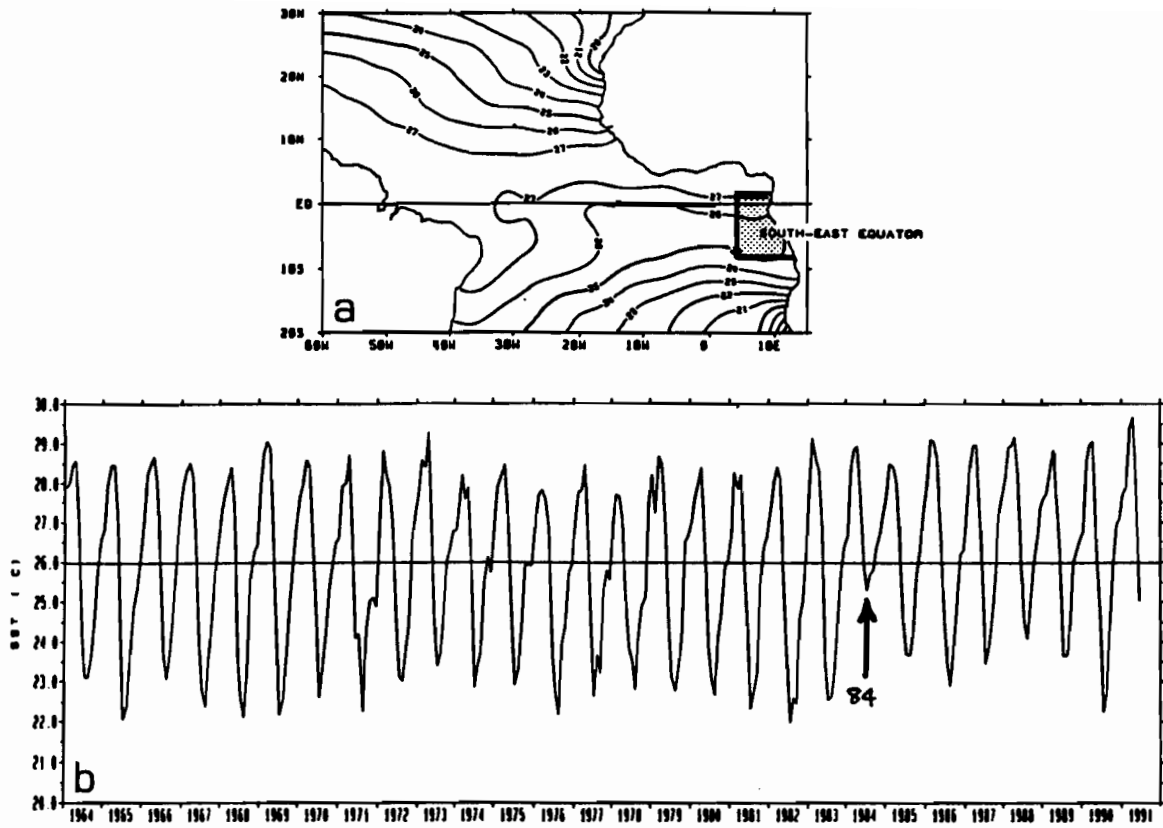


Figure 3: (a) Total monthly mean of SST (1964-1984), and (b) time series from January 1964 to June 1991 of monthly SST anomalies corresponding to the dotted zone situated along the southeast coast of the Gulf of Guinea. Note a missing cold season in 1984. [after Servain & Séva, 1987, updated 1991]

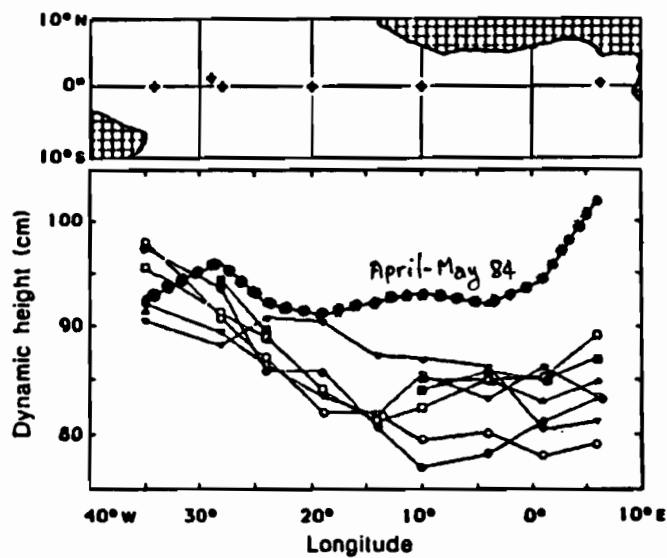


Figure 4: Quarter-annual dynamic height of the sea surface slope along the equator, relative to 500 m, for the eight FOCAL cruises from summer 1982 thru summer 1984. Note the exceptional slope of the sea surface in April-May 1984. [after Katz et al., 1986]

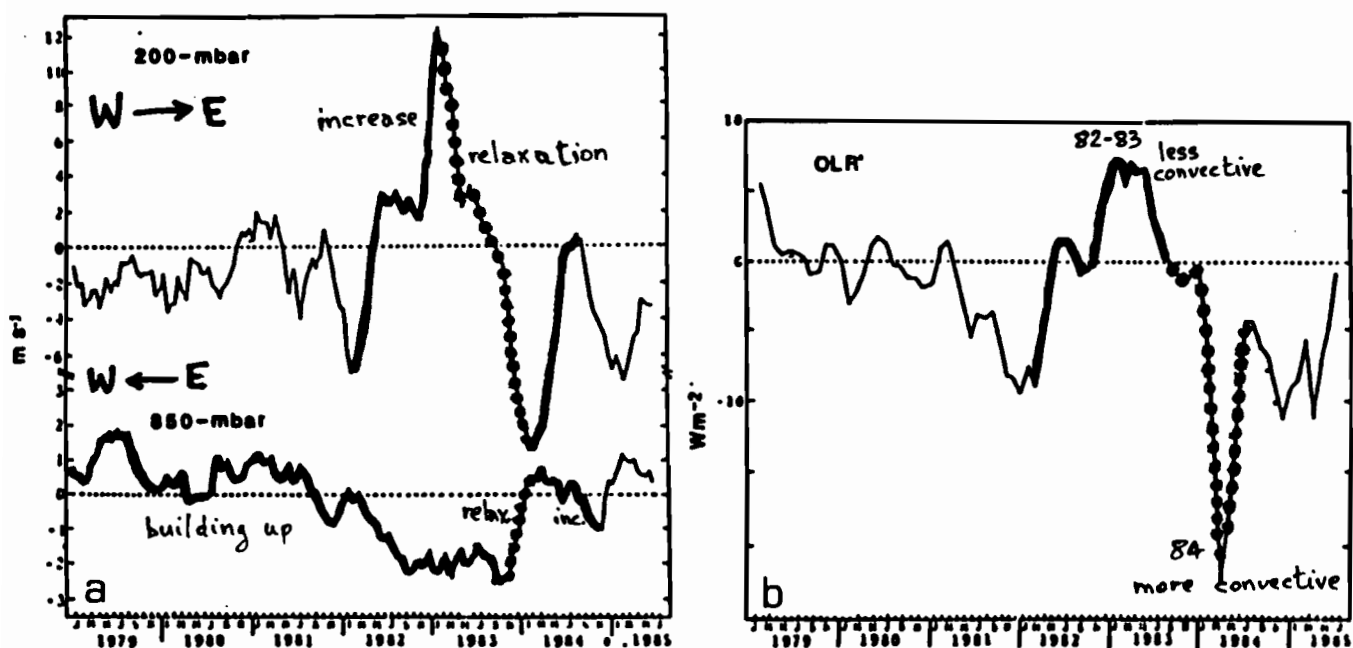
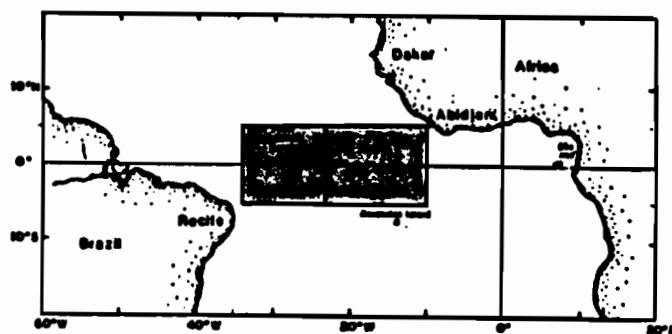


Figure 5: (a) Indices of 200-mbar zonal wind anomalies (top) and 850-mbar zonal wind anomalies (bottom), and (b) index of outgoing long-wave radiation (OLR) anomaly, during the years 1979-1985. The indices are based from CAC analyses within 5 N to 5 S and from 35 W to 10 W (see the attached map). [after Horel et al., 1986]





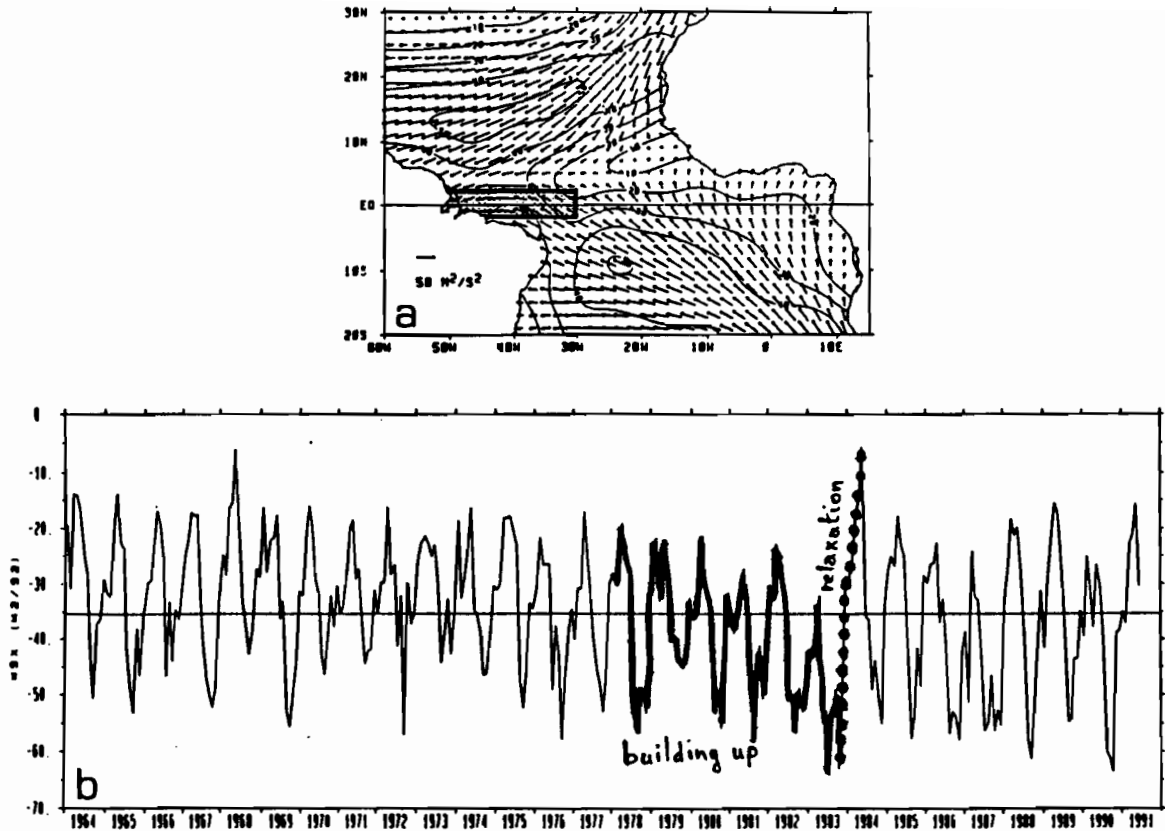


Figure 6: (a) Total monthly mean pseudo wind stress (1964-1984), and (b) time series from January 1964 to June 1991 of monthly zonal pseudo wind stress corresponding to the dotted equatorial zone in the west of the basin. Note the building up of the trades during the 1979-1983 years and the subsequent dramatic relaxation from mid-1983 to mid-1984. [after Servain & Séva, 1987, updated 1991]

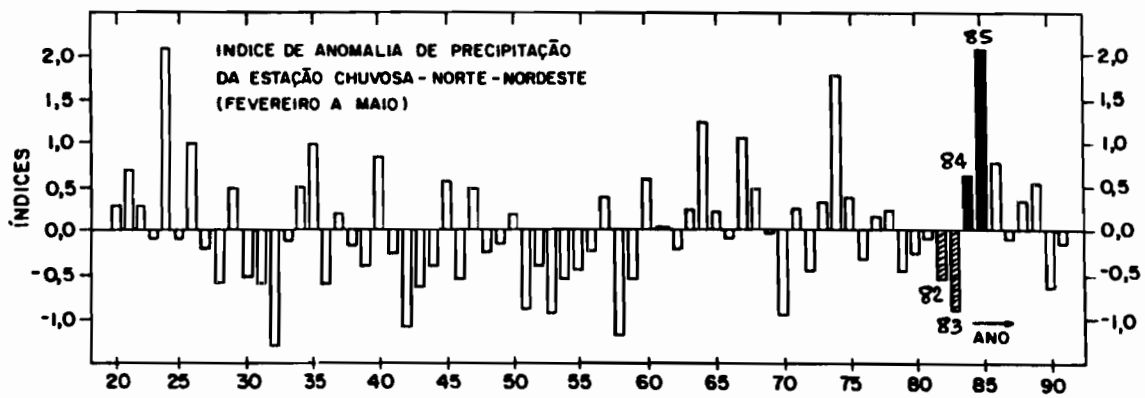


Figure 7: Index of the precipitation anomaly (1921-1991) during the rainfall season (February-May) for the Brazilian Nordeste. Note that 1982-1983 were dry, and 1984-1985 were wet. [after Barbosa de Brito et al., 1991]

## References

- Barbosa de Brito, J.I., C.A. Nobre e A.R. Zaranza, 1991: A precipitação da pré-estação e a previsibilidade da estação chuvosa do Norte do Nordeste. *Climanalise*, Vol. 6, nº 6, 39-54. edited by SCT/INPE/CPTEC, Sao José dos Campos, SP, Brazil [in portuguese]
- Climate Analysis Center (CAC), 1982-1983 monthly issues: *Climate Diagnostics Bulletin*, edited by V.E. Kousky, N.O.A.A., N.W.S., N.M.C., Washington, DC.
- Fennessy, M.J., L. Marx and J. Shukla, 1985: GCM sensitivity to 1982-83 equatorial Pacific sea-surface temperature anomalies. *Coupled Ocean-Atmosphere Models*, edited by J.C.J. Nihoul (Elsevier Ed.), 121-130.
- Geophysical Research Letter, 1984: SEQUAL/FOCAL, first year results on the circulation in the equatorial Atlantic. *Geophys. Res. Lett.*, special issue, 11, 713-804.
- Horel, J.D., V.E. Kousky and M.T. Kagano, 1986: Atmospheric conditions in the Atlantic sector during 1983 and 1984. *Nature*, 322, 248-251.
- Katz, E.J., P. Hisard, J.-M. Verstraete and S. Garzoli, 1986: Annual change of sea surface slope along the equator of the Atlantic Ocean in 1983 and 1984. *Nature*, 322, 248-251.
- Mechoso, C.R., S.W. Lyons and J.A. Spahr, 1990: The impact of sea surface temperature anomalies on the rainfall over Northeast Brazil. *J. Climate*, 3, 812-826.
- Michaud, R., T.N. Krishnamurty and R. Sadourny, 1985: Preliminary experiments of the sensitivity of atmospheric monthly mean prediction to sea-surface temperature specification. *Coupled Ocean-Atmosphere Models*, edited by J.C.J. Nihoul (Elsevier Ed.), 591-611.
- Morlière, A., G. Reverdin and J. Merle, 1989: Assimilation of temperature profiles in a general circulation model of the tropical Atlantic. *J. Phys. Oceanogr.*, 19, 1892-1899.
- Moura, A.D. and J. Shukla, 1981: On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *J. Atmos. Sc.*, 38, 2653-2675.
- du Penhoat, Y. and Y. Gouriou, 1987: Hindcasts of equatorial sea surface dynamic height in the Atlantic in 1982-1984. *J. Geophys. Res.*, 92, 3729-3740.
- Philander, S.G.H., 1986: Unusual conditions in the tropical Atlantic Ocean in 1984. *Nature*, 322, 236-238.
- Quiroz, R.S., 1983: The climate of the "El Niño" winter of 1982-83, a seasonal of extraordinary climatic anomalies. *Mon. Wea. Rev.*, 111, 1685-1706.
- Servain, J and M. Séva, 1987: On relationships between tropical Atlantic sea surface temperature, wind stress and regional precipitation indices: 1964-1984. *Ocean-Air Interactions J.*, 1, 183-190.
- Servain, J., M. Séva, S. Lukas and G. Rougier, 1987: Climatic atlas of the tropical Atlantic wind stress and sea surface temperature: 1980-1984. *Ocean-Air Interactions J.*, 1, 109-182.
- Tourre, Y., M. Déqué and J.-F. Royer, 1985: Atmospheric response of a general circulation model forced by a sea surface temperature distribution analogous to the winter 1982-83 El Niño. *Coupled Ocean-Atmosphere Models*, edited by J.C.J. Nihoul (Elsevier Ed.), 479-490.

## **2. The main steps of the study (and estimated durations)**

Tentative start of the experience: September-October 1991

### **Step 1. (2 months)**

To run a series of AGCMs forced by the same 1982-83-84-(85) worldwide SST patterns including the 1982-1983 ENSO episode (see in *Annex 1* the specifications of the inputs for the atmospheric experiences)

To select the AGCM resulted fields at the first level above the sea surface over the tropical Atlantic domain only (see in *Annex 2* the specifications of the outputs for the atmospheric experiences)

### **Step 2. (3-4 months)**

To uniformly arrange the AGCM results fields for the tropical Atlantic in space and time and to make an inter-comparison study between each ones; also make comparisons with some available surface observations

To write an intermediate report of the two first steps of the experience

### **Step 3. (2 months)**

To run the LODYC tridimensional tropical Atlantic OGCM (TKE version) forced by the 1982-1984(85) series of AGCM results over the same Atlantic domain

### **Step 4a. (3 months)**

To make an inter-comparison study between the different oceanic responses and to compare them to available oceanic observations (particularly with the FOCAL/SEQUAL data set)

### **Step 4b. (3 months, concurrently with Step 4a)**

To use the 1982-1985 COLA-AGCM and 1982-1985 OGCM results to study the reversal situation in the rainfall regime over the Brazilian Nordeste from 1983 to 1985

### **Step 5. (2 months)**

To collect and discuss the different elements of the study and write a multi-author paper relating the main results of the total experience

### **3. Suggested responsibilities of each participant**

- **J. Servain** is the initiator and the coordinator of the experiment. He reassembles the advice of each participant to propose the physical specifications of the experiment. He is in charge of collecting the AGCM results, uniformly arranging them and proceeding to an inter-comparison analysis (step 2). He prepares an intermediate report which circulates between all the participants. He provides the input fields for running the oceanic model. He analyses the oceanic model results (step 4) and compares them to available observations (especially with A. Morlière). He prepares a preliminary manuscript describing the experiment and coordinates corrections-enhancements suggested by each co-author participant (step 5).

- **J. Shukla, J.-F. Royer, R. Sadourny, L. Bengtsson and K. Myakoda** are each one answerable of their own AGCM experiment (step 1) for the required financial support and staff availability. They participate in the intermediate discussion related to the inter-comparison between the different AGCM results, and in the final discussion of the experiment. They are co-authors of the final document.

- **P. Delécluse and A. Morlière** are answerable of the OGCM experiment (step 3) for the required financial support and staff availability. They participate in the intermediate discussion related to the inter-comparison between the different AGCM results and in the comparisons between the different OGCM results (step 4) with the available oceanic observations. They participate in the final discussion of the experience. They are co-authors of the final document.

- **A.D. Moura** is in charge for the step 4b, in collaboration with all the other participants, and especially with J. Shukla and J. Servain. He participates in the intermediate and the final discussions. He is a co-author of the final document.

#### 4. A brief history of this proposal

- Rio de Janeiro, September 1985: Fourth Session of the Tropical Atlantic Studies Panel, CCCO

Undoubtedly, one of the first international meeting where the very important warm event observed over the equatorial Atlantic in 1984 was discussed as being a possible indirect response to the 1982-1983 ENSO episode. Figures 4, 5 and 6 (limited at year 1984) of the background section have been presented during that meeting.

- São José dos Campos, INPE, October 1985

A first discussion between J. Servain and A.D. Moura about the feasibility to numerically simulate the 1984 Atlantic warm event and to understand the reversal situation in the Brazilian Nordeste rainfall regime around 1983-1984.

- College Park, COLA, April 1986

After preliminary discussions between J. Servain and J. Shukla, first specifications of the experience were established using the COLA-AGCM and the GFDL Atlantic OGCM.

Figure 8 results from this previous work.

- Because of various impediments and other priority activities of J. Servain, J. Shukla and A.D. Moura, the study project remained in stand-by from mid-1986 to mid-1990.

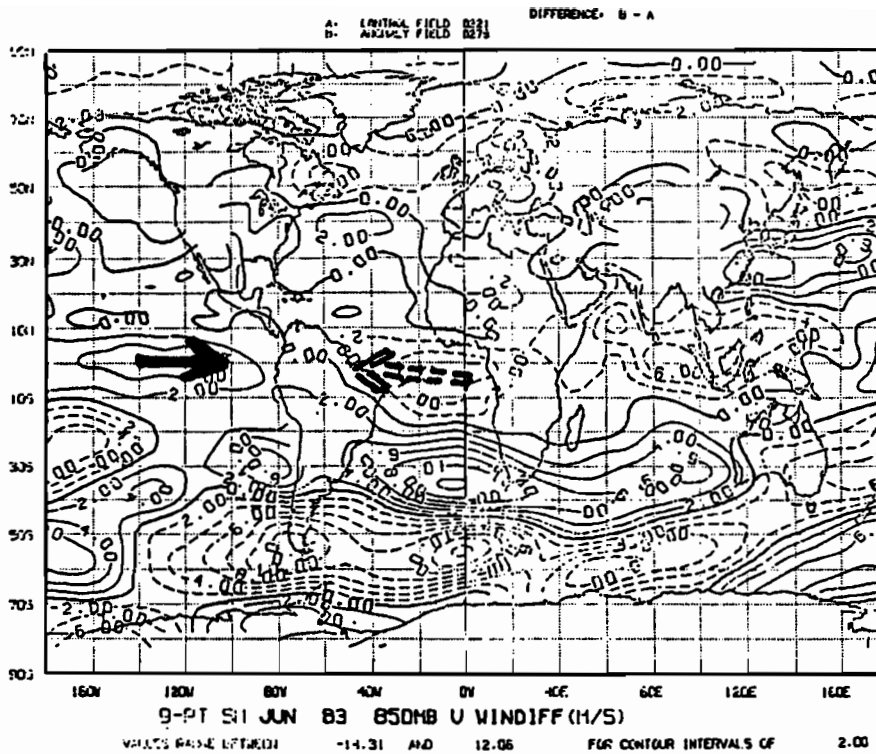
- The discussion was taken up again in July 1990 during the *TOGA meeting* which has been held at Honolulu, Hawaii (between J. Shukla and J. Servain) and during the *US-Brazil Workshop on the Relationship of the Atlantic Ocean to Regional and Global Climate Variation* which has been held in October 1990 at Fortaleza, Brazil (between J. Servain, J. Shukla, A.D. Moura and J. Merle).

A first tentative proposal was written by J. Servain in December 1990, after recommendations made by P. Delécluse and A. Morlière, and was submitted to J. Shukla and A.D. Moura.

- The specifications of this experience have been definitely drawn up during the *NATO Workshop on Prediction of Interannual Climate Variations* which has been held in Trieste, Italy, in last July and was organized by J. Shukla.

At this occasion, some other participants of this workshop (J.-F. Royer, R. Sadourny, L. Bengtsson and K. Miyakoda) have suggested joining our experiment using their own AGCM capacities.

We wish that experience will provide some contribution to reaching the scientific objectives of the TOGA program.



**Figure 8:** Zonal wind perturbation (versus the climatic situation) in June 1983 at 850-mbar simulated by the COLA-AGCM forced by the observed SST anomalies in the equatorial Pacific during the 1982-1983 ENSO episode. Note the westerly perturbation (= relaxation) over the eastern equatorial Pacific and the easterly perturbation (= increase) over the equatorial Atlantic. [M. Fennessy, *personal communication*, 1986]

## **Annex 1**

### **Input specifications for the AGCM runs**

Three runs of each AGCM are needed.

In each case, the SST fields used to force the AGCMs derive from the SST data set prepared by the Center for Ocean-land-Atmosphere Interactions (COLA) at the University of Maryland and the Climate Analysis Center (CAC) at the National Meteorological Center (NMC), Washington, for the 1979-1988 Atmospheric Model Intercomparison Project (known as the "AMIP-SST" data set).

#### **1st Run : Control Worldwide Run (CWR)**

AGCMs forced by the worldwide monthly climatological SST (the monthly average of the total 1979-1988 AMIP-SST data set) from 1st January until 31 December.

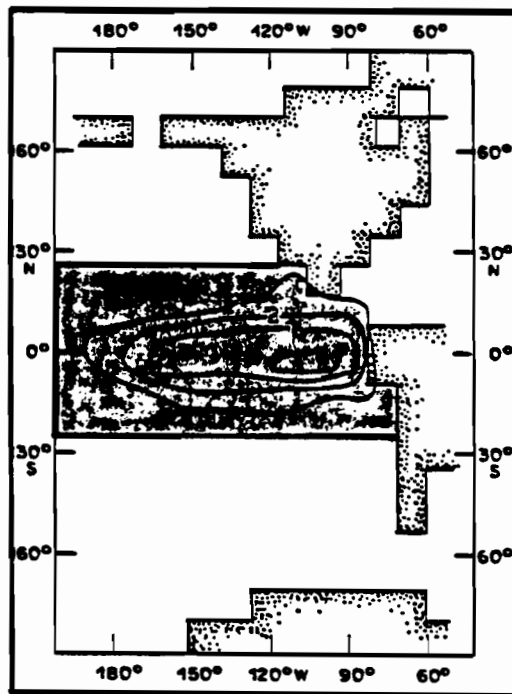
#### **2nd Run : Real Worldwide Run (RWR)**

AGCMs forced by the worldwide monthly observed AMIP-SST data set, from 1st January 1982 until 31 December 1984 (or 31 December 1985).

#### **3rd Run : Real Pacific Run (RPR)**

AGCMs forced by the monthly observed AMIP-SST data set inside the tropical Pacific sector limited by about 25 N, 25 S, 160 E and American coast (see on Fig. 9) and monthly climatological AMIP-SST for the rest of the world, from 1st January 1982 until 31 December 1984 (or 32 December 1985).

A smoothed procedure is suggested along a few degrees band outside the selected equatorial Pacific sector.



**Figure 9** : Schematic SST anomaly pattern of the 1982-1983 ENSO episode previously used in sensitivity experiences [after *Tourre et al., 1985*]. The suggested area used in the present experience is shaded.



## Annex 2

### Output specifications for the AGCM runs

**a) List of variables** provided by each AGCM run we need for forcing the Atlantic OGCM :

- 1 - Wind stress components : Tx and Ty
- 2 - Incident visible solar flux
- 3 - Incident IR solar flux
- 4 - Sensible heat flux
- 5 - Latent heat flux
- 6 - Evaporation - Precipitation (E-P)

All these variables, are needed solely at the level nearest to the sea surface (1st level of the AGCMs)

**b) Geographical limits** = The minimal geographical limits of the AGCM output should be 56 N - 34 S , 100 W - 16 E (see Fig. 10) (which corresponds to the geographical limits of the OGCM)

**c) Spatial grid** : For each AGCM model, it is necessary to have the spatial grid and the land-ocean-ice mask in order to correctly process the output onto a common grid (see step 2)

**d) Time resolution** : means or integrations of each variables at least every 10 days (5 would be better)

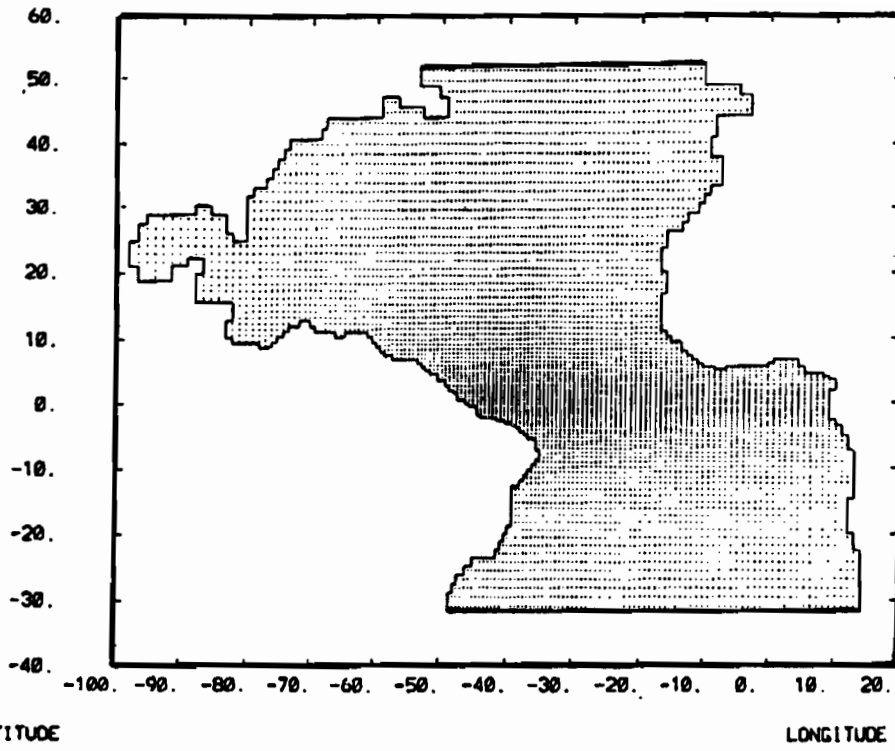


Figure 10 : The grid of the LODYC Atlantic OGCM [P. Delécluse, personal communication, 1991]

## **Mailing list of this proposal document**

### **1 . Participants**

J. Shukla  
A.D. Moura  
P. Delécluse  
A. Morlière  
J.-F. Royer  
R. Sadourny  
L. Bengtsson  
K. Miyakoda

### **2 . TOGA management**

K. Mooney (US TOGA Project Office; NOAA)  
B. Voituriez (TOGA France ; IFREMER)

### **3 . French Institutes Responsibles**

D. Cadet (CNRS/INSU)  
L. Merlivat (LODYC/CNRS)  
F. Jarrige (ORSTOM/TOA)  
J. Merle (ORSTOM/UR1A)  
J.-C. André (EERM/METEO-France)

Jacques Servain  
Centre ORSTOM de Brest / IFREMER  
B.P. 70 29280 Plouzané France

Téléphone : (33) 98 22 45 06  
Télex : 940 627 OCEAN-FR  
Télécopie : (33) 98 22 45 14  
Telemail : ORSTOM.BREST/OCEAN [Omnet]  
e-mail : jacques.servain@ifremer.fr  
servain@orstom.orstom.fr

## **ANNEXE 2**

**Un Exposé des Premiers résultats**  
**(Septembre 1993)**

# IMPACT CLIMATIQUE DU EL-NIÑO 1982-1983 SUR L'ATLANTIQUE TROPICAL : INTERCOMPARAISON D'AGCMs ET FORÇAGE D'UN OGCM

Jacques Servain (ORSTOM/UBO-Brest)

Pascale Delecluse (LODYC-Paris)

## Résumé

L'événement chaud qui s'est développé en 1984 dans l'Atlantique équatorial est considéré par les diagnosticiens comme étant partiellement et indirectement induit par l'El Niño 1982-1983. Afin de mesurer le bien-fondé de cette hypothèse trois AGCMs (ECHAM3 du MPI, Émeraude de MétéoFrance et le modèle du LMD) ont été forcés suivant des conditions identiques de perturbation SST sur le Pacifique durant la période 1982-1984. Leurs réponses sur l'Atlantique sont comparées et confrontées aux observations. Elles sont ensuite utilisées pour forcer l'OGCM OPA-Atlantique du LODYC et les réponses de ce modèle océanique sont elles aussi confrontées aux observations. Les premiers résultats de cette expérience confirment numériquement l'hypothèse de départ : une partie de la variabilité atmosphérique et océanique sur l'Atlantique durant 1983-1984 peut être simulée à partir uniquement de la perturbation océanique sur le Pacifique liée à l'El Niño 1982-1983.

## 1. Les deux événements chauds de 1982-83-84 sur le Pacifique et l'Atlantique :

L'El Niño qui se développa dans le Pacifique équatorial (central et est) durant 1982-1983 fut certainement l'un des épisodes climatiques les plus anormaux depuis de nombreuses décades : des anomalies positives de la température de surface de la mer (SST) supérieures à 3°C furent observées durant plusieurs mois et sur de vastes étendues océaniques (*e.g.* Climate Diagnostic Bulletin, 1982-83 issues).

L'épisode chaud observé en été boréal 1984 sur l'Atlantique équatorial fut aussi un événement climatique marquant : des anomalies positives de SST de l'ordre de 3°C (ce qui est remarquable pour l'Atlantique compte tenu de l'importance du signal saisonnier dans cette région) s'échelonnèrent le long de la côte africaine dans le fond du Golfe de Guinée (Servain *et al.*, 1987). Cet événement thermique anormal succéda à un net approfondissement de la thermocline le long de l'équateur en début de l'année 1984 (Katz *et al.*, 1986). Il fut contemporain de fortes précipitations sur l'ensemble du bassin, ce qui marqua en particulier la fin de plusieurs années de sécheresse sur le Nordeste brésilien.

Les premières discussions d'une possible téléconnexion entre ces deux événements climatiques majeurs de ces trente dernières années se trouvent dans la littérature. Citons par exemple l'étude diagnostique de Horel *et al.* (1986) et l'étude de simulation atmosphérique de Mechoso *et al.* (1990). Le support physique d'un tel lien est expliqué par une modification (en déplacement et en intensité) des cellules de circulation atmosphériques de type Walker au-dessus de la région équatoriale située entre le Pacifique et l'Afrique de l'Ouest :

- De la mi-1982 à la mi-1983 (cette période correspond à la phase de maturité de l'El Niño 1982-1983), les alizés étaient très faibles sur le Pacifique équatorial central. Durant ce laps de temps, au-dessus de l'Atlantique équatorial, la circulation atmosphérique s'intensifia (circulation d'ouest à 200 mb; circulation d'est - les alizés - au niveau de la surface de la mer). Dans cette région de l'Atlantique on observa, grâce aux mesures satellitaires ("Outgoing Longwave Radiation, OLR"), un minimum d'activité convective en février 1983.

- Cette situation s'inversa complètement de la mi-1983 à la mi-1984 : tandis que l'on est revenu à une situation quasi "normale" sur le Pacifique, on assista à un relâchement de la circulation atmosphérique sur l'Atlantique équatorial (à la fois à 200 mb et près de la surface océanique), accompagné par un net accroissement de la convectivité (et des précipitations) sur cette région. Cette importante relaxation des alizés sur l'Atlantique entre la mi-1983 et la mi-1984 est supposée être à l'origine d'une réponse dynamique de l'océan, se traduisant par un affaissement de la thermocline le long de l'équateur (de type "remote forcing") et un échauffement anormal des couches de subsurface dans le Golfe de Guinée.

## 2. Notre démarche scientifique

Dans le cadre de la présente étude nous nous proposons d'examiner numériquement comment la perturbation de SST observée sur le Pacifique durant l'El Niño 1982-1983 peut être rendue responsable de l'événement climatique observé dans l'Atlantique équatorial en 1984. Plutôt que l'utilisation d'un modèle couplé océan-atmosphère, cet examen fait appel à une combinaison originale entre divers (trois) modèles de circulation générale de l'Atmosphère (AGCMs) et un modèle de circulation océanique de l'Atlantique (OGCM). les différents AGCMs sont forcés suivant de conditions identiques<sup>1</sup> de perturbation SST, liées à l'El Niño 1982-1983.

Les résultats sur le domaine géographique de l'Atlantique de ces trois simulations atmosphériques sont ensuite confrontées entre eux et comparés aux observations disponibles. Ceux correspondant à l'un des AGCMs servent ensuite à forcer l'OGCM-Atlantique et les simulations océaniques ainsi produites sont comparées à la fois aux observations et aux simulations réalisées antérieurement lorsque le forçage était d'origine purement observationnel.

## 3. Description de l'expérience

Il s'agit d'une expérience multi-laboratoires, associant le Max-Planck Institut (MPI) à Hambourg (avec L. Bengtsson et K. Arpe), Météofrance à Toulouse (avec J.F. Royer), le Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD) à Paris (avec R. Sadourny et A. Harzallah) et le Laboratoire d'Océanologie et de Climatologie du Climat (LODYC) à Paris (avec P. Delecluse et C. Levy). La coordination du projet se fait au Centre ORSTOM de Brest (avec J. Servain).

### a) Modélisations atmosphériques

Les trois AGCMs utilisés ici travaillent en mode climat. C'est :

- pour le MPI : ECHAM3 (version T42 / 19 niveaux)  
grille horizontale de sortie des résultats : 64 ( $\phi$ ) x 128 ( $\lambda$ )  
ce modèle est décrit dans Roeckner *et al.*, 1992.
- pour Météofrance : Emeraude (version T42 / 30 niveaux)

---

<sup>1</sup> Pour cette expérience nous avons utilisé le fichier SST, dit AMIP (Atmospheric Model Intercomparison Program) préparé par le Center for Ocean-Land-Atmosphere Interaction (COLA) et le Climate Analysis Center (CAC) pour la période 1979-1988.

- grille horizontale identique à celle du MPI<sup>2</sup>  
 quelques différences dans la physique et la dynamique par rapport à ECHAM3  
 ce modèle est décrit dans Royer *et al.*, 1990
- pour le LMD : modèle du LMD (11 niveaux)  
 grille horizontale : 50 (sin  $\phi$ ) x 64 ( $\lambda$ )  
 ce modèle est décrit dans Sadourny & Laval, 1984.

Chacun de ces trois modèles a été utilisé pour effectuer trois simulations dans des conditions identiques de forçage par la SST :

- 1ère simulation : ACR ( pour "Atmospheric Climatic Run")  
 ici les trois AGCMs sont forcés durant une année (1er janvier au 31 décembre) par la SST climatique sur l'océan mondial. C'est une première simulation de référence.
- 2ième simulation : AWR (pour "Atmospheric World Run")  
 ici les trois AGCMs sont forcés entre le 1er janvier 1982 et le 31 décembre 1984 par la SST réellement observée (fichier AMIP) sur l'océan mondial. C'est une seconde simulation de référence.
- 3ième simulation : APR (pour "Atmospheric Pacific Run")  
 ici les trois AGCMs sont forcés entre le 1er janvier 1982 et le 31 décembre 1984 par la SST réellement observée (fichier AMIP) sur la zone Pacifique 25°N-25°S (zone El Nino) et par la SST climatique sur le reste de l'océan mondial. C'est notre simulation test.

En sortie de chacune de ces 3 x 3 simulations nous sauvegardons pour la "fenêtre" Atlantique (60°N-40°S ; 100°W-20°E) les champs suivants, au niveau le plus proche de la surface océanique et intégrés temporellement sur 10 jours :

- tension du vent (composante zonale  $\tau^x$  et méridienne  $\tau^y$ )
- transferts turbulents de chaleur (chaleur sensible  $Q_s$  et chaleur latente  $Q_l$ )
- bilan radiatif (rayonnement visible S et rayonnement infrarouge IR)
- bilan eau douce (évaporation E moins précipitation P)

Ces champs sont d'abord analysés pour une intercomparaison et une confrontation aux observations lorsque celles-ci sont disponibles (tension du vent). Ils servent ensuite au forçage de l'OGCM.

## b) Modélisations océaniques

L'OGCM est le modèle 3D développé au LODYC par l'équipe de P. Delecluse dans sa version TKE (pour "Turbulent Kinetic Energy"). Il est décrit dans Reverdin *et al.*, 1991 et dans Blanke & Delecluse, 1993. Bien que ce modèle s'étende sur une bonne partie de l'Atlantique (environ 60°N - 40°S), seule la région tropicale (25°N - 25°S) est entièrement prognostique. La discussion doit donc être limitée à cette ceinture équatoriale.

L'OGCM est forcé par les flux de quantité de mouvement, de chaleur et d'eau douce déduits des trois simulations de chacun des trois AGCMs<sup>3</sup>. Ces simulations océaniques sont notées respectivement OCR, OWR et OPR, similairement à la notation utilisée précédemment pour les AGCMs. Elles sont comparées entre elles et confrontées aux observations.

<sup>2</sup> Les modèles du MPI et de Météofrance sont équivalents pour ce qui concerne la résolution horizontale des équations par la méthode spectrale (troncature triangulaire au nombre d'onde 42).

<sup>3</sup> En fait, dans cette note nous ne ferons état que des simulations océaniques déduites du forçage par le modèle de MPI.

## 4. Premiers résultats

### a) Comparaisons des résultats des AGCMs

Tous les champs en sortie des AGCMs ont été interpolés<sup>4</sup> suivant une même grille  $2^\circ \times 2^\circ$  sur le domaine de l'Atlantique. Seront abordés dans cette note uniquement les comparaisons des champs de tension de vent ( $\tau$ ) et de bilan en eau douce (E-P).

Les simulations ACR permettent de vérifier que l'orientation générale des alizés est bien reproduite par chacun des trois AGCMs. Si l'on prend comme référence les champs déduits des observations (navires marchands) on constate toutefois que l'intensité simulée de ces alizés est globalement réduite d'environ 10% pour les modèles de MPI et de Météofrance, légèrement plus pour le modèle du LMD.

Un test instructif est de comparer pour chaque AGCM la tension du vent simulée par AWR et APR entre mai 1983 et mai 1984. On sait en effet que ces deux mois étaient fortement contrastés sur l'Atlantique et que la différence mai 1984 moins mai 1983 doit faire apparaître une perturbation de circulation ouest près de la côte du Brésil. La figure 1 montre cette différence pour les trois AGCMs et les observations. On constate que les modèles MPI (Fig. 1a) et Météofrance (Fig. 1b) donnent des résultats satisfaisants, en bon accord avec les observations (Fig. 1d) qui indiquent une différence supérieure à  $50 \cdot 10^{-3}$  Pa au large du Brésil. La réponse donnée par le modèle du LMD (Fig. 1c) est très en-deçà des observations et de celles des autres modèles. Il semble que le modèle du LMD capture mal la variabilité interannuelle dans les conditions de notre expérience.

Un calcul semblable effectué à partir des simulations APR est reporté sur la figure 2a pour MPI et 2b pour Météofrance. On constate que la relaxation des alizés entre mai 1983 et mai 1984 sur l'Atlantique y est correctement reproduite, quoique avec une intensité moindre que lors des simulations AWR. Ceci prouve la véracité de notre hypothèse concernant l'influence océanique du El Niño sur la circulation atmosphérique en Atlantique équatorial. A noter que cette démonstration ne peut être réalisée à l'aide du modèle du LMD, sans doute pour la raison évoquée plus haut, à savoir une déficience dans la prise en compte de la variabilité interannuelle.

Une étude similaire effectuée à partir des différentes simulations de P-E (précipitation moins évaporation) fournies par les trois AGCMs avait pour but de vérifier si le système convectif sur l'Atlantique équatorial était plus important durant le 1er semestre 1984 en comparaison avec le 1er semestre 1983. Les simulations AWR (non montrées ici) confirment pleinement cette idée. La différence atteint 250 mm/mois pour le modèle du MPI le long de l'équateur et 150 mm/mois pour les deux autres modèles dans la partie ouest du bassin équatorial. Cette différence est encore de l'ordre de 150 mm/mois tout le long de l'équateur pour la simulation APR du MPI (Fig. 3). Elle demeure légèrement positive (environ 50 mm/mois) pour les simulations APR de Météofrance et du LMD, mais uniquement à proximité des côtes brésiliennes.

En conclusion, notre hypothèse de départ semble vérifiée numériquement : il est possible de simuler une réponse atmosphérique sur l'Atlantique à partir uniquement d'une perturbation SST de type El Niño sur le Pacifique. Parmi les trois AGCMs testés, celui du MPI semble le

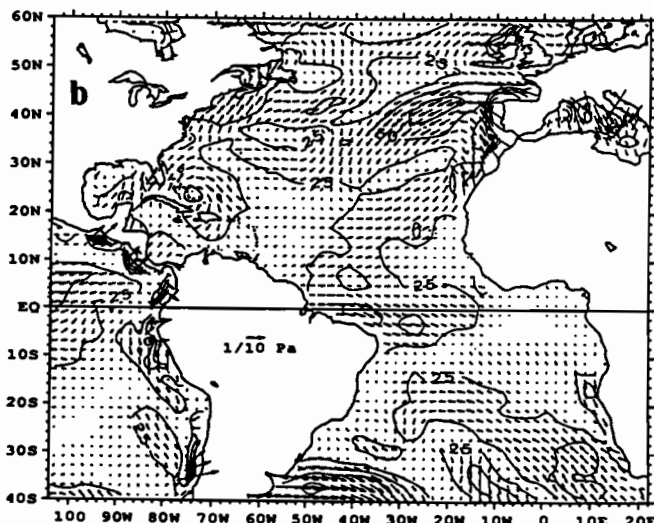
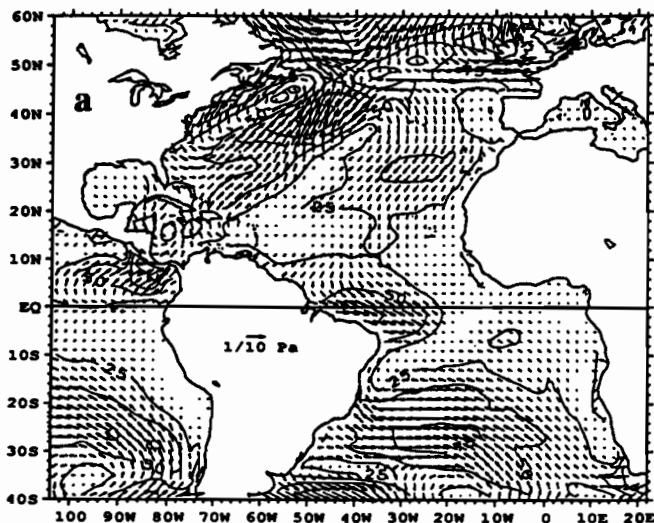
---

<sup>4</sup> La grille du modèle du LMD est beaucoup plus lâche que celle des deux autres AGCM. Il s'ensuit un effet de lissage important.



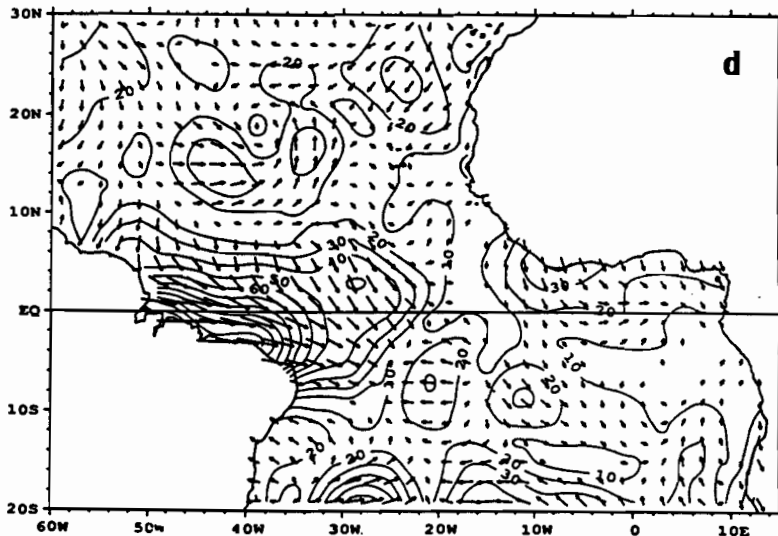
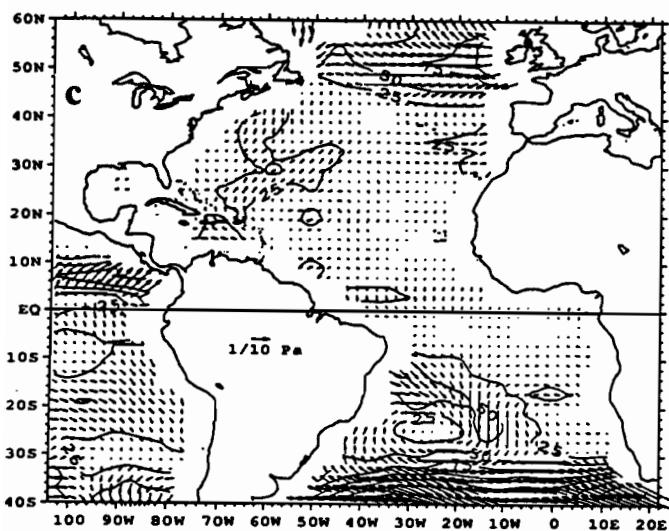
(MPI) \* WS Diff. from WR \* 05/84 - 05/83

(TOU) \* WS Diff. from WR \* 05/84 - 05/83



(LMD) \* WS Diff. from WR \* 05/84 - 05/83

WS Diff. from OBSERVATIONS \* 05/84 - 05/83



**Figure 1 : Différence de la tension du vent (en  $10^{-3} \text{ Pa}$ ) entre mai 1984 et mai 1983 (84-83) :**  
(a) à partir de la simulation AWR du MPI, (b) à partir de la simulation AWR de MétéoFrance,  
(c) à partir de la simulation AWR du LMD, (d) à partir des observations de navires marchands.  
L'intervalle du contour est de  $25 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}$  pour les simulations et de  $10 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}$  pour les observations.  
A noter que pour les simulations, seules doivent être pris en compte les résultats en zone tropicale, région où la variabilité présente un caractère déterministe. On remarque que c'est la simulation du MPI qui se rapproche le plus des observations.

(MPI) \* WS Diff. from PR \* 05/84 - 05/83

(TOU) \* WS Diff. from PR \* 05/84 - 05/83

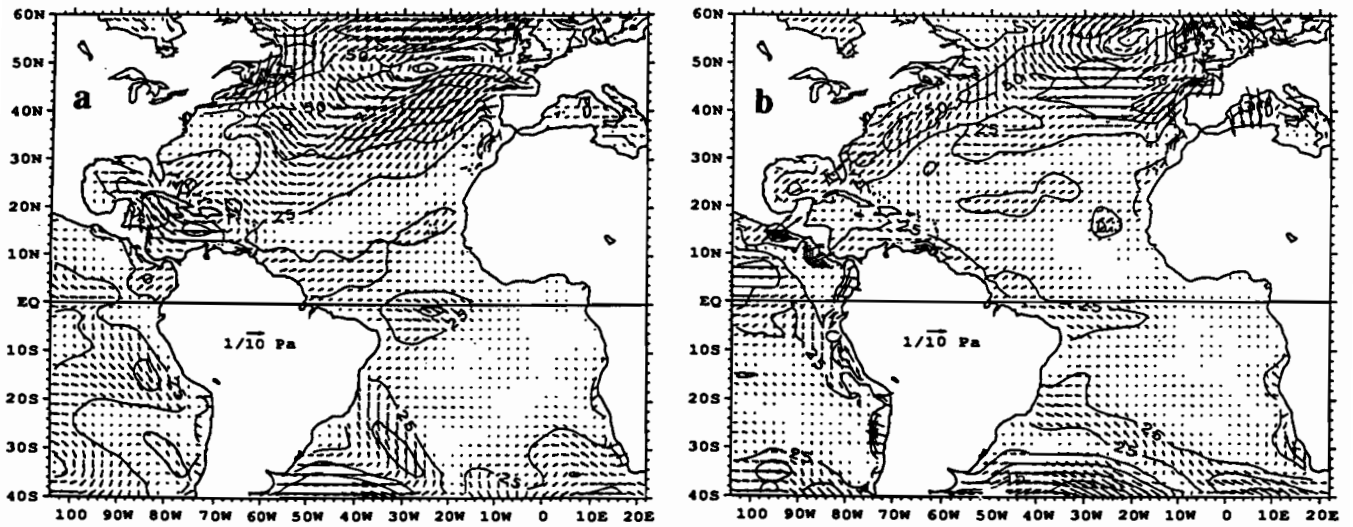


Figure 2 : Idem à la figure 1, excepté : (a) à partir de la simulation APR du MPI, (b) à partir de la simulation APR de MétéoFrance. Cette figure doit être comparée à la figure 1 pour ce qui concerne les résultats en Atlantique équatorial.

(MPI) PR \* PE \* 1er Sem. 84 moins 1er Sem. 83

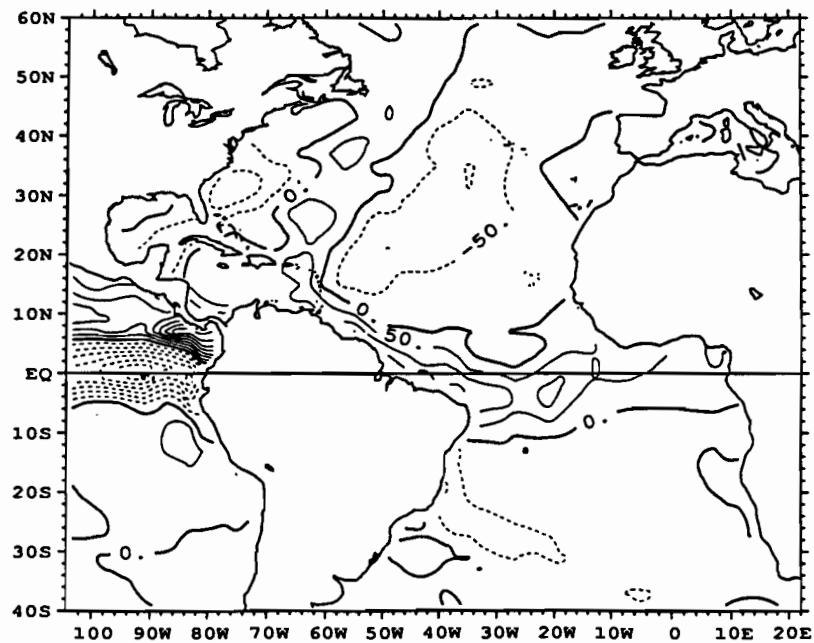


Figure 3 : Différence du bilan en eau douce (Précipitation moins Evaporation en mm/mois) entre le 1er semestres 1984 et le 1er semestre 1983 (84-83), à partir de la simulation APR du MPI. L'intervalle du contour est de 50 mm/mois.

plus approprié pour rendre compte quantitativement du phénomène observé durant les années 1982-1984. Ce sont les résultats de cet AGCM qui ont été utilisés pour forcer l'OGCM du LODYC.

## **b) Simulations océaniques**

Les trois simulations (ACR, AWR et APR) du modèle atmosphérique du MPI ont permis de forcer successivement trois simulations équivalentes (OCR, OWR et OPR) du modèle océanique du LODYC sur l'Atlantique.

Afin de confronter le résultat de ces simulations océaniques à nos connaissances sur le terrain nous avons testé l'évolution de la profondeur de l'isotherme 20°C<sup>5</sup> ainsi que l'évolution de la SST.

On constate que la simulation AWR capture correctement le contraste entre 1983 et 1984. L'approfondissement de la thermocline dans le Golfe de Guinée le long de l'équateur entre ces deux années est en effet bien mis en évidence sur la figure 4a. On perçoit sur cette figure une propagation vers l'est assez lente (d'environ 3-4 mois en début d'année) du signal d'anomalie. La réponse en SST fait apparaître un réchauffement de l'ordre de 2.0-3.5°C entre juillet 1983 et juillet 1984 le long de la côte africaine, juste au sud de l'équateur (Fig. 5a) qui est en excellent accord avec les observations (Fig. 5b). L'ensemble de ces résultats suggère que les conditions de cette simulation permettent un effet de couplage entre le vent et la SST.

Les résultats obtenus avec la simulation APR "collent" moins aux observations. Ils sont cependant tout aussi intéressants à discuter. Un calcul effectué dans les mêmes conditions que celui de la figure 4a fait apparaître une succession de dilatations et de compressions de la structure thermique de subsurface dans le Golfe de Guinée (Fig. 4b) avec un phénomène de propagation vers l'est plus rapide (1-2 mois) du signal d'anomalie par rapport à la simulation OWR. Dans le cas OPR, les conditions de la simulation n'autorisent pas un effet de couplage entre l'atmosphère et l'océan et ceci se traduit par l'établissement d'une réponse de type purement impulsif.

## **Conclusion**

Les premiers résultats de cette expérience peuvent se résumer ainsi :

- Forcés par la SST observée sur l'océan mondial ("runs" AWR) les deux AGCMs ECHAM3 du MPI et Emeraude de Météofrance sont qualifiés pour reproduire correctement le contraste des conditions climatiques anormales entre les années 1983 et 1984 sur l'Atlantique tropical : intensification/relaxation des alizés en 1983/1984 ; minimum/maximum convectif en 1983/1984. Le signal interannuel simulé par le modèle du LMD est faible pour ce qui concerne la quantité de mouvement en surface; il est à peine suffisant pour ce qui concerne le bilan en eau douce.

- Forcés uniquement par la perturbation SST de 1982-1984 sur la zone El Niño ("runs" APR) les modèles ECHAM3 et Emeraude sont capables de reproduire une partie significative des conditions climatiques sur l'Atlantique tropical. Ceci prouve l'existence d'une

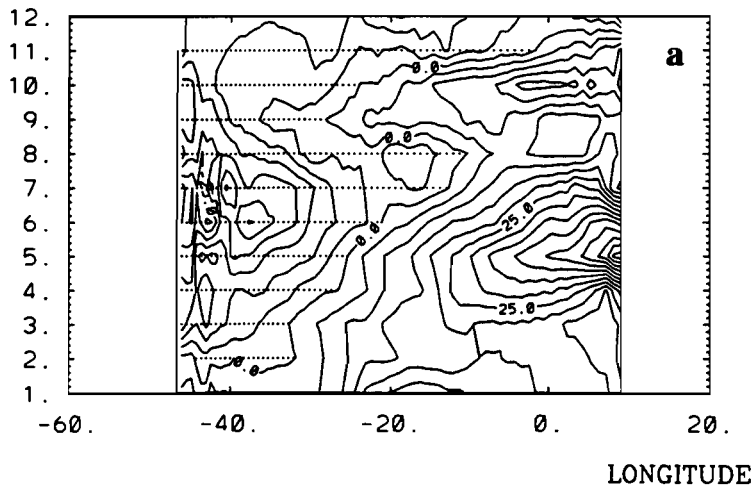
---

<sup>5</sup> La profondeur de cette isotherme est en effet couramment utilisée par les océanographes comme étant représentative de la profondeur de la thermocline dans le Golfe de Guinée.

DIFF 84-83 MPIEX

Z20 I= 42 0.0N

TEMPS



DIFF 84-83 DEPAK

Z20 I= 42 0.0N

TEMPS

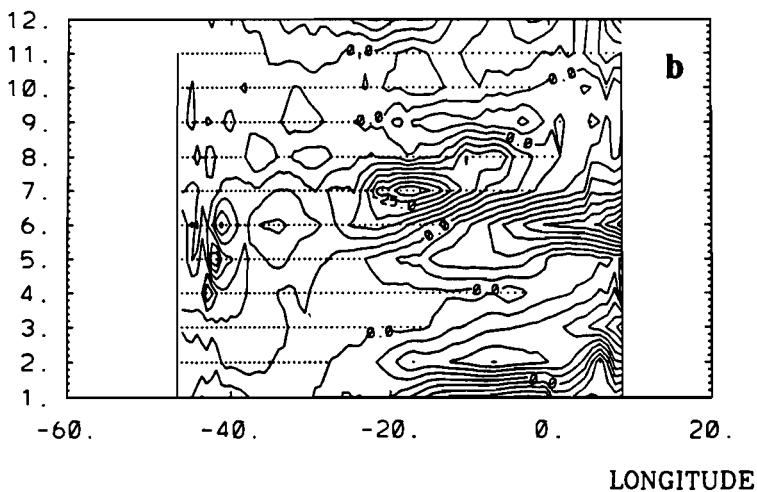
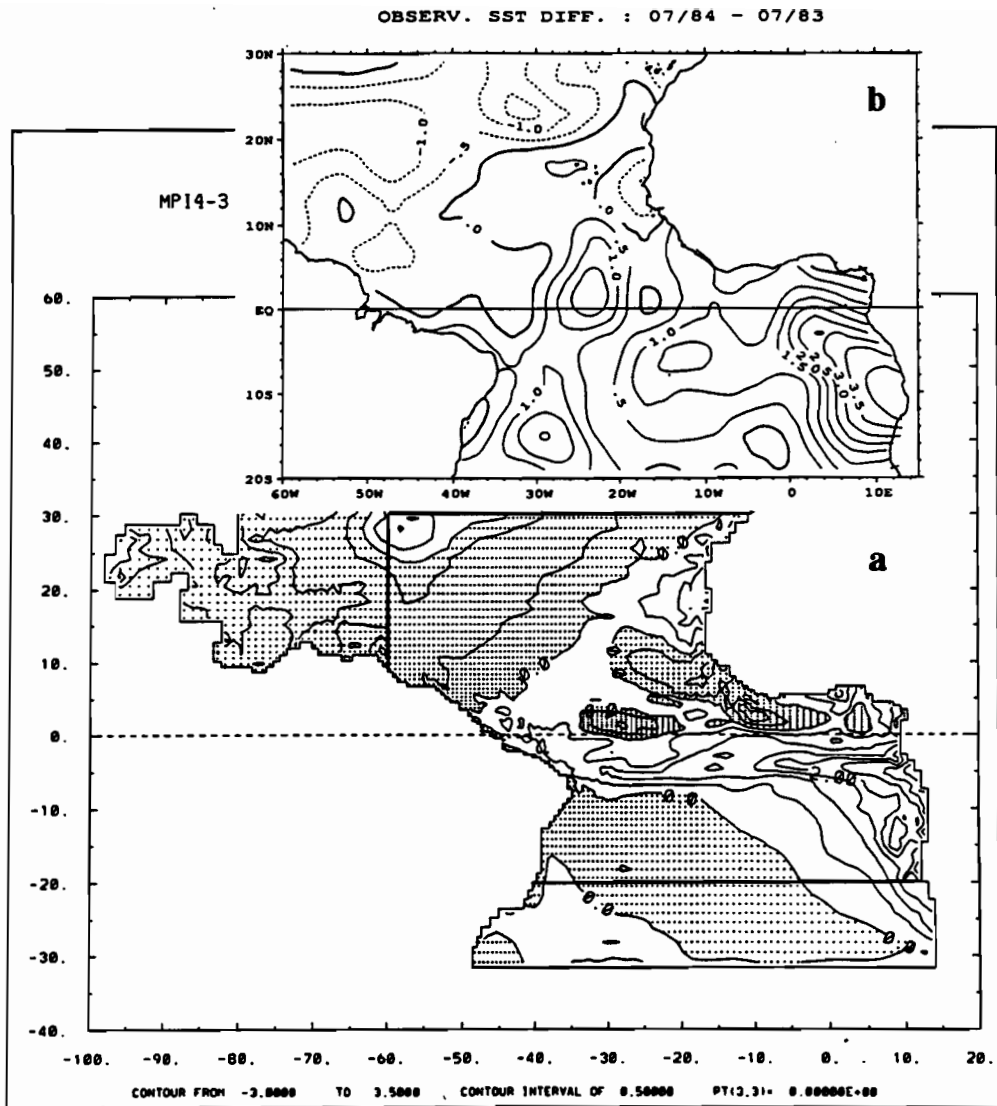


Figure 4 : Séries temporelles le long de l'équateur de la profondeur de l'isotherme 20°C : différence entre l'année 1984 et l'année 1983 (84-83) simulée par l'OGCM du LODYC : (a) à partir de la simulation OWR, (b) à partir de la simulation OPR. Les zones en pointillées correspondent à un niveau plus profond en 1983 par rapport à la situation de 1984. L'intervalle du contour est de 5 m.



**Figure 5** : Différence de la SST entre juillet 1984 et juillet 1983 (84-83) : (a) à partir de la simulation OWR, (b) à partir des observations des navires marchands. Les zones en pointillées sur (a) et les traits discontinus sur (b) représentent une différence négative. L'intervalle du contour est de 0.5°C.

téléconnexion entre le Pacifique et l'Atlantique, et qu'en particulier l'événement El Niño de 1982-1983 a eu des conséquences climatiques importantes sur l'Atlantique équatorial.

- Forcé par les résultats des simulations atmosphériques (AWR) du modèle ECHAM3 du MPI, l'OGCM du LODYC capture correctement un approfondissement de la thermocline dans le Golfe de Guinée entre 1983 et 1984, ainsi qu'un réchauffement durant l'été boréal entre ces deux années. La réponse couplée atmosphère-océan est correctement suggérée dans ce cas.

- Forcé par les résultats des simulations APR, le modèle océanique simule encore un approfondissement de la thermocline entre 1983 et 1984, mais de manière atténuée et nettement plus rapide que dans le cas précédent. Ici la réponse couplée atmosphère-océan est absente.

En définitive, les premiers résultats de cette expérience ont prouvé numériquement que certains aspects de l'événement climatique anormal de 1984 sur l'Atlantique équatorial sont en partie la réponse à l'El Niño 1982-1983 sur le Pacifique. Un complément de l'étude se poursuit actuellement (Delecluse *et al.*, 1993) pour tenter de cerner avec plus de détails la mise en place des processus physiques et dynamiques mis en jeu dans cette téléconnexion.

#### Remerciements

Nous tenons à remercier Lennart Bengtsson, Jean-François Royer et Robert Sadourny qui ont accepté de participer à ce projet, permettant ainsi la réalisation des simulations atmosphériques. Ces simulations atmosphériques ont été préparées et réalisées par Peter Lenzen et Klaus Arpe (MPI), Jean-François Royer (Météofrance) et Ali Harzallah (LMD). Les simulations océaniques ont été préparées et réalisées par Claire Levy (LODYC). Daniel Corre (ORSTOM-Brest) participa à l'exploitation des simulations atmosphériques. Cette étude bénéficia d'un support financier de l'IFREMER, de l'ORSTOM et de l'INSU-CNRS.

#### Bibliographie

- Blanke, B. and P. Delecluse, 1993 : Low frequency variability of the tropical Atlantic Ocean simulated by a General Circulation Model with mixed layer Physics. *J. Phys. Oceanogr.*, 23, 1363-1388.
- Climatic Analysis Center (CAC), 1982-1983 monthly issues : *Climate Diagnostics Bulletin*. Edited by V.E. Kousky, NOAA, NWS, NMC, Washington, DC, USA.
- Delecluse, P., J. Servain, C. Levy, K. Arpe and L. Bengtsson, 1993 : Was the 1984 Atlantic warm event driven by the 1982-1983 ENSO ? Soumis à *Tellus* (août 1993).
- Horel, J.D., V.E. Kousky and M.T. Kagano, 1986 : Atmospheric conditions in the Atlantic sector during 1983 and 1984. *Nature*, 322, 248-251.
- Katz, E.J., P. Hisard, J.-M. Verstraete and S. Garzoli, 1986 : Annual change of sea surface slope along the equator of the Atlantic Ocean in 1983 and 1984. *Nature*, 322, 245-248.
- Mechoso, C.R., S.W. Lyons and J.A. Spahr, 1990 : The impact of sea surface temperature anomalies on the rainfall over Northeast Brazil. *J. Climate*, 3, 812-826.

- Reverdin, G., P. Delecluse, C. Levy, P. Andrich, A. Morlière and J.-M. Verstraete, 1991 : The near surface tropical Atlantic in 1982-1984 - Results from a numerical simulation and a data analysis. *Prog. Oceanogr.*, 27, 273-340.
- Roeckner, E., K. Arpe, L. Bengtsson, S. Brinkop, L. Dümenil, M. Esch, E. Kirk, F. Lunkeit, M. Ponater, B. Rockel, R. Sausen, U. Schlese, S. Schubert and M. Windelband, 1992 : Simulation of the present-day climate with the ECHAM model : Impact of model physics and resolution. *Report No. 93*, ISSN 0937-1060, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg, Allemagne.
- Royer, J.-F., S. Planton and M. Déqué, 1990 : A sensitivity experiment for the removal of Arctic sea ice with the French spectral General Circulation Model. *Climate Dynamics*, 5, 1-17.
- Sadourny, R. and K. Laval, 1984 : January and July performance of the LMD General Circulation Model. *Rapport interne*. Laboratoire de Météorologie Dynamique, Paris, 28 pp.
- Servain, J., M. Séva, S. Lukas and G. Rougier : Climatic atlas of the tropical Atlantic wind stress and sea surface temperature : 180-1984. *Ocean-Air Interactions*, 1, 109-182.