

**INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION**

**CENTRE DE BREST**

**COMPARAISON DES SST  
OBSERVEES ET SIMULEES  
SUR L'ATLANTIQUE TROPICAL  
DURANT LA PERIODE 1982-1990**

**Jacques SERVAIN**

LODYC/ORSTOM  
Brest

**Alain MORLIERE**

ORSTOM/LODYC  
Paris

Document Scientifique ORSTOM Brest n°61

Centre ORSTOM  
IFREMER  
B.P. 70  
29280 PLOUZANE

**Juin 1991**

## **PRESENTATION DE L'ETUDE**

### **1) Introduction**

Dans ce rapport, nous visons à rassembler sous forme de graphiques une partie de l'état actuel de nos travaux de validation du modèle océanique du LODYC sur l'Atlantique tropical. Le paramètre utilisé lors de la comparaison simulation/observation est ici la température de surface de la mer (SST). Nous avons cherché à représenter de manière synthétique les principaux éléments permettant une comparaison des champs observés et simulés de la SST sur l'ensemble du bassin. Ultérieurement, une analyse approfondie de ces résultats sera entreprise en association avec d'autres études mises parallèlement en chantier. Ce travail s'inscrit dans la partie aval de l'expérience OPERA, l'une des composantes françaises du programme TOGA.

### **2) Les données de SST utilisées**

La période étudiée va de janvier 1982 (date du début de la simulation interannuelle de l'expérience OPERA) à décembre 1990. Le pas de temps est mensuel. La zone géographique couvre l'Atlantique tropical de 30°N à 20°S et de 60°W à la côte africaine. Les données de SST, observées et simulées, sont prises sur un maillage régulier de 2° de latitude par 2° de longitude.

Les observations de SST sont extraites des fichiers construits par J. Servain (*Servain and Lukas, 1990*). Les données originales proviennent des mesures météorologiques de surface recueillies par les navires sélectionnés. Ce type d'information est transmis en temps réel sur le réseau SMT; il est archivé mensuellement par le NCC à Washington, puis transmis à l'ORSTOM-Brest via la FSU. De l'ordre de 6000 à 8000 observations sont utilisées pour le traitement mensuel sur l'ensemble du domaine étudié.

Les simulations de SST utilisées dans ce rapport ont été construites à partir des résultats d'une simulation couvrant la période 1982-1990 en utilisant la version OPA du modèle numérique tridimensionnel du LODYC. Les sorties du modèle ayant été sauvegardées par pas de temps de 5 jours, nous avons procédé à des moyennes temporelles mensuelles. De la même façon, des moyennes spatiales ont été effectuées à l'intérieur des carrés de 2 degrés de côté à partir du maillage original variable du modèle (qui est, en latitude de 1/3 de degré à l'équateur à 1.5 degré aux frontières nord et sud, et en longitude, de 0.5 degré près des côtes à 1 degré au centre du bassin).

Les caractéristiques du modèle développé par l'équipe de P. Delécluse au LODYC ont été largement décrites lors de précédentes publications (ex. *Chartier, 1986; Andrich et al., 1988*). Pour cette expérience, ainsi que pour son utilisation actuelle en mode opérationnel, ce modèle a été adapté et mis en oeuvre par A. Morlière (*Merle and Morlière, 1988; Morlière et al., 1989*). Nous ne rappellerons ici que les principales caractéristiques du forçage du modèle au niveau de son interface avec l'atmosphère.

- le forçage dynamique est déterminé à partir des champs mensuels de la pseudo tension du vent, résultant du traitement des mesures de vent effectuées à bord des navires sélectionnés (*Servain and Lukas, 1990*).

- le forçage thermique est assuré par les composantes suivantes:

\* le bilan radiatif des ondes courtes et longues est celui de la climatologie mensuelle de *Esbensen et Kushnir (1981)*.

\* les flux de chaleur sensible et latente sont calculés à l'aide des formules aérodynamiques globales où la température de l'air provient de la climatologie mensuelle d'*Esbensen et Kushnir (1981)*, l'humidité relative est forcée à une valeur constante (80 %), et la SST est celle simulée par le modèle au pas de temps précédent .

### 3) Les planches et graphiques montrés dans ce rapport

Nous avons regroupé les résultats graphiques de la comparaison entre la SST "simulée" et la SST "observée" suivant plusieurs éléments d'appréciation.

a) Les moyennes climatiques "observées" et "simulées" (en °C) calculées sur l'ensemble de la période d'étude pour une époque de l'année déterminée (p. 9 à 15)

b) Les différences arithmétiques (en °C) entre les champs "simulés" et "observés" calculées (en prenant l'"observation" comme référence), soit à partir des moyennes climatiques précédentes (p. 19 à 21), soit en intégrant sur l'ensemble d'une année unique (p. 23 à 25)

c) Les champs de "root mean square error" (RMSE) fournissant une appréciation peut-être mieux élaborée de l'écart absolu de la simulation par rapport à l'observation. La RMSE est calculée elle-aussi, soit sur l'ensemble de la période d'étude (p. 29 à 31), soit sur chacune des années à l'intérieur de cette période (p. 33 à 35).

Calculée sur la période T (i=1,T), la RMSE (en °C) au point de grille x est définie de la manière suivante:

Soit  $SST_{o(x,i)}$  et  $SST_{s(x,i)}$  les valeurs observées et simulées de la SST (en °C).

$$RMSE(x) = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (SST_{s(x,i)} - SST_{o(x,i)})^2}$$

d) Le "skill" qui est le rapport entre la RMSE et l'écart-type des fichiers d'observations (SIGMA).

$$\text{SKILL} = \frac{\text{RMSE}}{\text{SIGMA}}$$

C'est un nombre positif sans dimension qui exprime une qualité de la comparaison entre la simulation et l'observation. Tant que le skill reste inférieur à 1, cela indique que la simulation est en accord avec les observations. Si la valeur du skill dépasse 1, la qualité de la simulation se dégrade.

A noter que le SIGMA calculé ici représente la variabilité des fichiers d'observations obtenus après avoir effectué le traitement des données brutes de SST. Il ne s'agit donc pas à proprement parlé de la variabilité "naturelle" du paramètre SST.

Nous n'avons représenté qu'un seul champ de skill, celui associé à un calcul global sur l'ensemble de la période étudiée (p. 39).

e) Une sélection de séries temporelles de la SST observée et simulée calculées à l'intérieur de quelques carrés de 2° de côté. Nous avons rassemblé ces séries en fonction de leur intérêt géographique ou climatique (p. 42 à 45).

f) Les diagrammes espace-temps le long de l'axe équatorial (en fait il s'agit d'une moyenne entre 2°N et 2°S) de l'anomalie mensuelle de la SST, observée (p. 48) et simulée (p. 49), durant la période d'étude (1982-1990).

#### **4) Les premières constatations**

D'une manière générale, les résultats indiquent que la simulation de la SST à partir de la version OPA du modèle du LODYC pose quelques problèmes, en particulier le long de l'axe équatorial. Dans cette région la SST simulée est globalement trop froide si l'on se réfère aux observations. Les écarts peuvent être occasionnellement assez élevés (plusieurs degrés C°); en moyennes trimestrielles ils ne dépassent pas cependant 1.5 °C (p. 19). Précisant davantage ce problème, on remarque que les écarts les plus importants se situent à l'est de 10W, c'est-à-dire à l'est de la zone habituelle de l'upwelling équatorial saisonnier, et en juin (p. 20), c'est-à-dire au début de la grande saison froide. Ceci indique un défaut constant dans la restitution spatio-temporelle du signal saisonnier en zone équatoriale. Ce défaut est particulièrement mis en évidence sur les cartes de la RMSE (p. 29 à 35), et surtout du skill global, où cette valeur dépasse 2 à 28W et à l'équateur (p. 39).

Une autre zone à problème se situe le long de la côte nord du Golfe de Guinée. Ici cependant, le défaut de la modélisation est inverse au précédent, en ce sens que le résultat de la simulation donne des SST plus élevées que les observations. L'effet néfaste paraît cependant moins grave que pour l'ouest de la zone équatoriale puisque les écarts supérieurs à 1.5°C n'occupent en moyennes trimestrielles (p. 19) qu'une place très limitée. Le maximum de ces écarts est généralement atteint en février (p. 20), c'est-à-dire en fin de petite saison froide. Nous retrouvons sans doute là aussi une limite du modèle pour une bonne simulation du signal saisonnier.

L'upwelling saisonnier du Sénégal, ainsi que celui de l'Angola, posent aussi quelques problèmes, mais de manières différentes. (p. 20 et 21). C'est ainsi que dans la région de Dakar, la SST simulée est trop chaude (de l'ordre du degré C en moyenne mensuelle) de janvier à avril (c'est-à-dire au moment de la saison d'upwelling), alors qu'elle est trop froide, à des degrés divers il est vrai, au cours du reste de l'année. Quant à la région de l'upwelling de l'Angola, celle-ci reste trop froide tout au long de l'année, avec un écart maximum (supérieur au degré C) en septembre-octobre, c'est-à-dire au moment de la saison d'upwelling.

Dans toutes les autres régions, et ceci représente néanmoins une bonne partie du domaine étudié, la simulation peut être considéré comme satisfaisante à partir du seul examen des cartes de différences. Les écarts avec les observations y sont généralement inférieurs à 0.5 °C, tout au moins au sud de 20-25°N. Les plus grands écarts relevés au nord de cette ligne sont en fait à relier à une forte variabilité naturelle de la SST dans cette région subtropicale (p. 39). A ce propos, le résultat du skill global est très éloquent: on y observe (p. 39) que la qualité de reproduction du modèle demeure élevée même au-delà de 20N.

L'examen de la carte globale du skill amène d'ailleurs à relativiser les défauts du modèle notés précédemment. En effet, à part la région équatoriale située entre 20 et 40W, le comportement du modèle est généralement satisfaisant, y compris dans les principales zones d'upwellings saisonniers de la partie est du bassin.

Les séries temporelles des SST observée et simulée que nous reproduisons p. 42 à p. 45 servent à illustrer de manière interannuelle quelques-uns des résultats qui viennent d'être évoqués. On y retrouve la propension du modèle à simuler trop fortement, trop à l'ouest, et trop vite, l'upwelling équatorial. Ce problème à l'équateur peut aussi s'illustrer par les diagrammes espace-temps présentés p. 48 et 49. On y voit que les anomalies simulées de SST sont parfois assez éloignées des anomalies observées. Le principal problème semble avoir lieu au cours de l'année 1990: le modèle évoque une situation chaude ( $> +1^{\circ}\text{C}$  entre 0 et 10W) alors que l'analyse des observations indique au contraire une situation froide ( $< -0.5^{\circ}\text{C}$  à l'est de 12W). Pour les autres années, les simulations ont des fortunes diverses, allant du "raisonnable" (ex. 1986) au médiocre (ex. 1988-1989).

Pour terminer sur une note optimiste, le résultat reporté en haut de la page 44, qui intéresse la série temporelle des SST observée et simulée pour le carré 18/16W-08/10N, est un exemple du bon comportement du modèle, y compris en variation interannuelle.

## Remerciements

Ce travail a été financé par le département TOA de l'ORSTOM et par le PNEDC. La simulation numérique sur le Cray 2 a pu être réalisée grâce aux allocations de temps calcul accordés par le Conseil Scientifique du CCVR. Les moyens informatiques du Centre ORSTOM de Brest ont été utilisés. La transmission électronique des données a pu s'effectuer grâce aux réseaux de télécommunication mis en place par l'IFREMER. Christophe Lepage et Valérie Picolo ont participé à la réalisation du document.

## Références

- Andrich, P., G. Madec and D L'Hostis, 1988. Performance evaluation for an ocean general circulation model: vectorization and multitasking, *Conference proceeding of the International Conference on Supercomputing*, July 4-8, St-Malo, France, AMC press, 295-303.
- Chartier, M., 1986. Un modèle numérique tridimensionnel aux équations primitives de circulation générale de l'océan. *Thèse Univ. P. et M. Curie*, 4 Place Jussieu 75005 Paris. Rapp. CEA-R-5372.
- Esbensen, S.K. and Y. Kushnir, 1981. The heat budget of the global ocean: an atlas based on estimates from marine surface observations. Climatic Research Institution, *Rept. N°29*, Oregon State University, Cornvallis, 27 pp.
- Merle, J. and A. Morlière, 1988. Toward an operational 3 dimensional simulation of the tropical Atlantic Ocean, *Geophys. Res. Lett.*, 15, 653-656.
- Morlière, A., G. Reverdin and J. Merle, 1989. Assimilation of temperature profiles in a general circulation model of the tropical Atlantic. *J. Phys. Oceanogr.*, 14, 1226-1238.
- Servain, J. and S. Lukas, 1990. Climatic atlas of the tropical Atlantic wind stress and sea surface temperature 1985-1989. *SDP IFREMER édition*, 143 pp.



**CLIMATOLOGIES DES OBSERVATIONS 1982-1990**

**Annuelle et trimestrielles : p. 9**

**Mensuelles : p. 10 et 11**

**CLIMATOLOGIES DES SIMULATIONS 1982-1990**

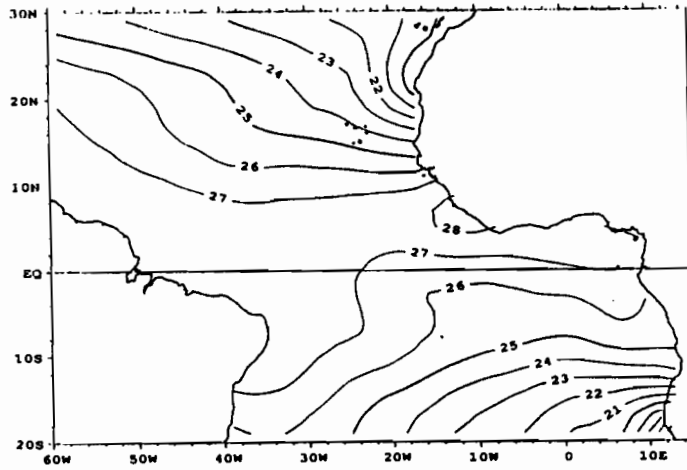
**Annuelle et trimestrielles : p. 13**

**Mensuelles : p. 14 et 15**

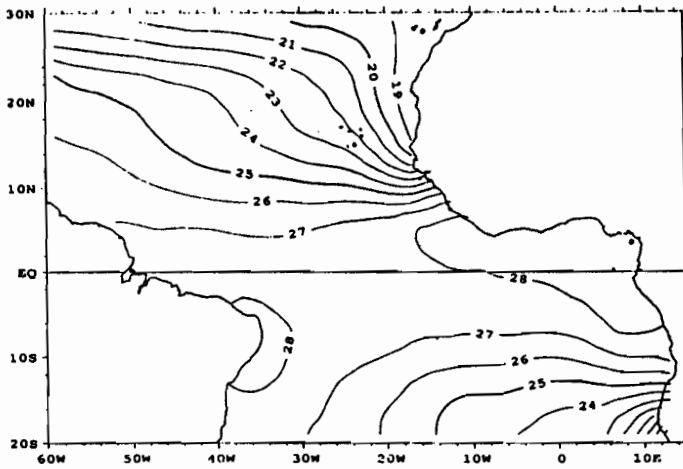




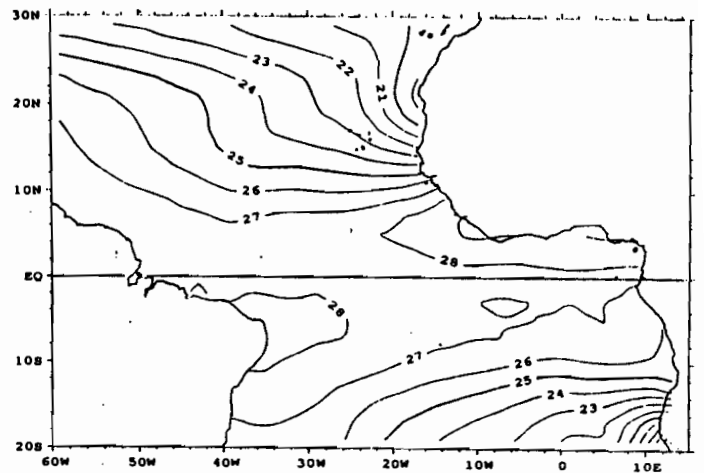
SST - OBSERVATIONS - CLIMATO ANNUELLE (82-89)



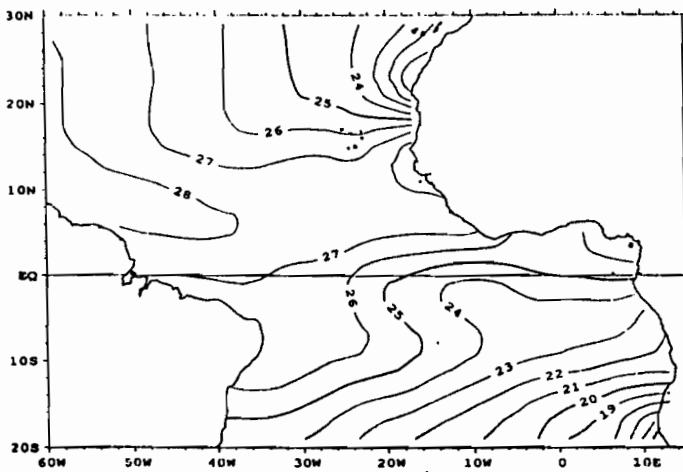
SST - OBSERVATIONS - CLIMATO TR1 (82-89)



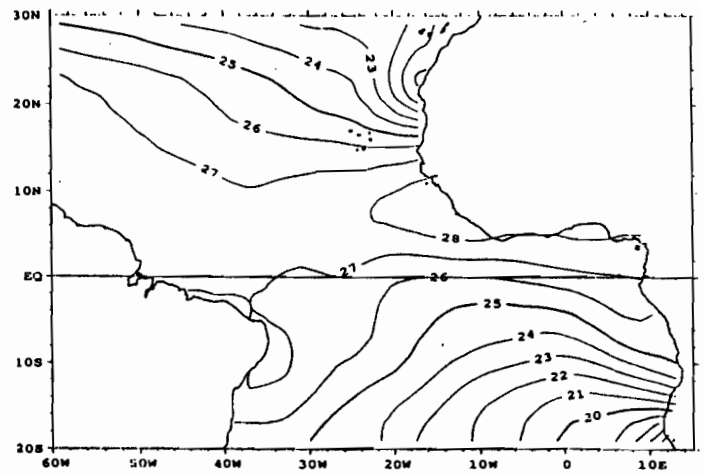
SST - OBSERVATIONS - CLIMATO TR2 (82-89)



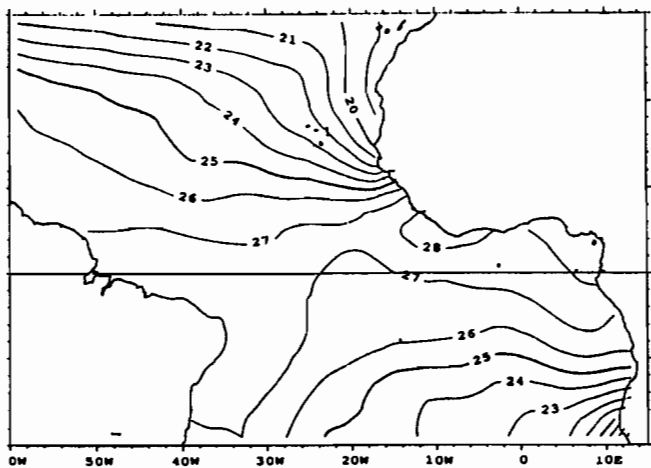
SST - OBSERVATIONS - CLIMATO TR3 (82-89)



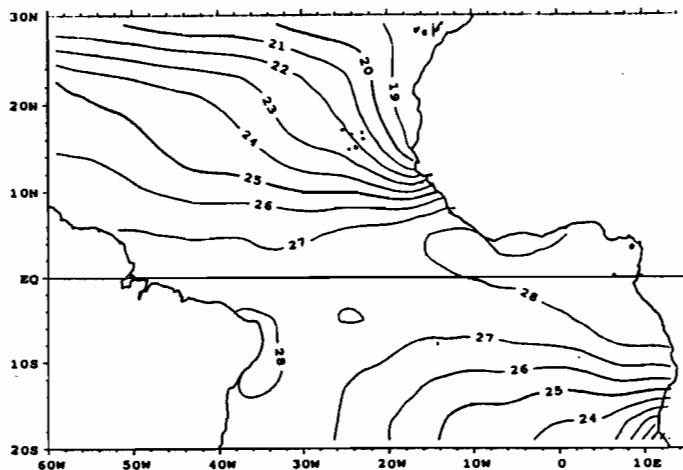
SST - OBSERVATIONS - CLIMATO TR4 (82-89)



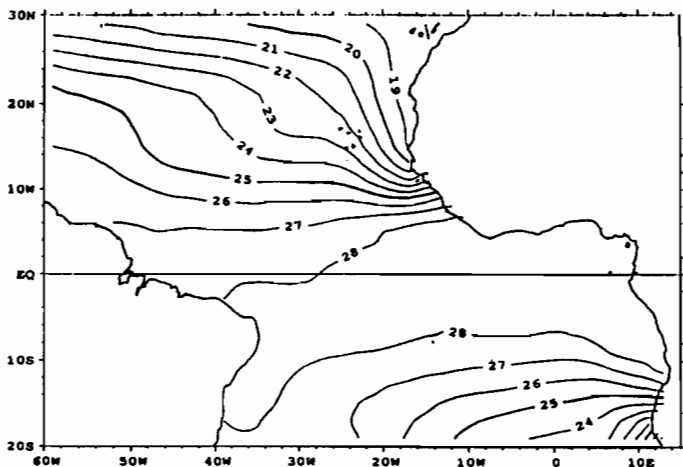
SST - OBSERVATIONS - CLIMATO 01 (82-90)



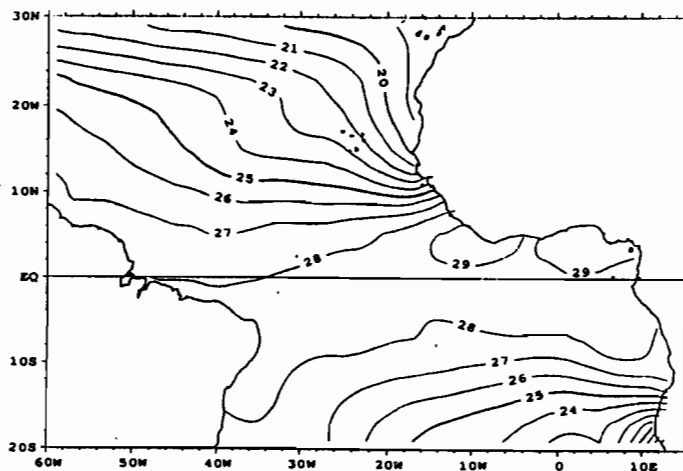
SST - OBSERVATIONS - CLIMATO 02 (82-90)



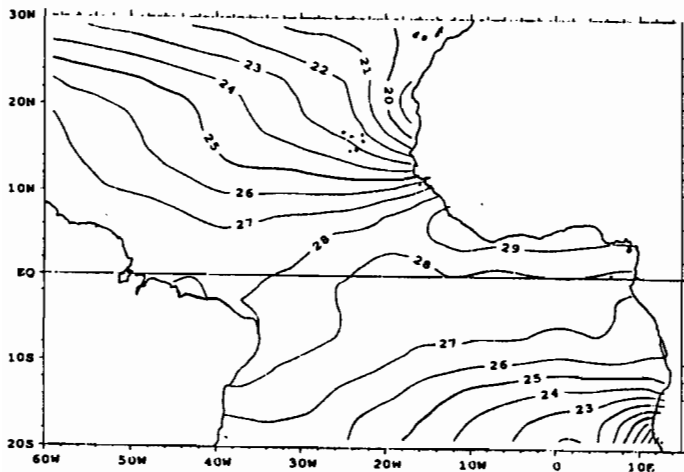
SST - OBSERVATIONS - CLIMATO 03 (82-90)



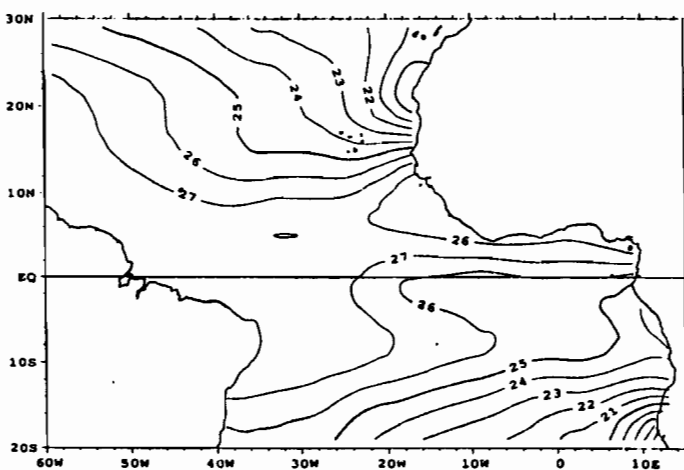
SST - OBSERVATIONS - CLIMATO 04 (82-90)



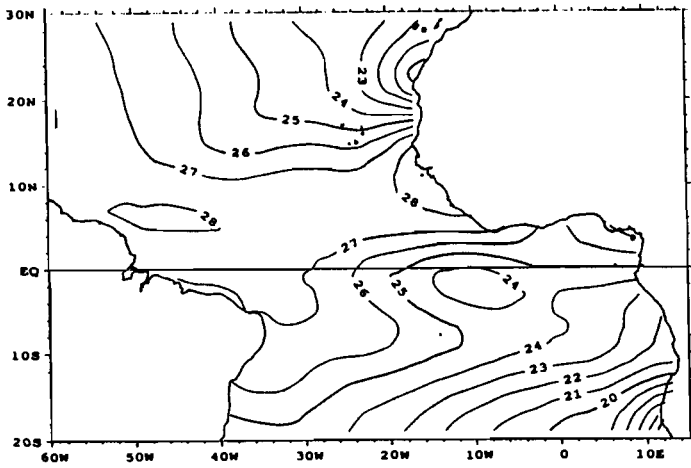
SST - OBSERVATIONS - CLIMATO 05 (82-89)



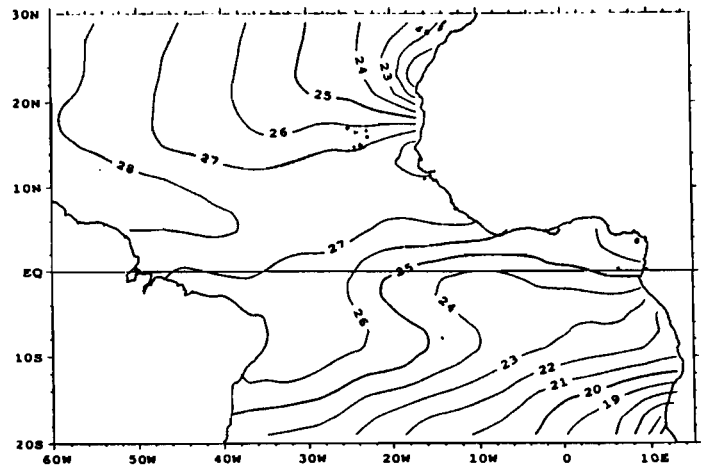
SST - OBSERVATIONS - CLIMATO 06 (82-89)



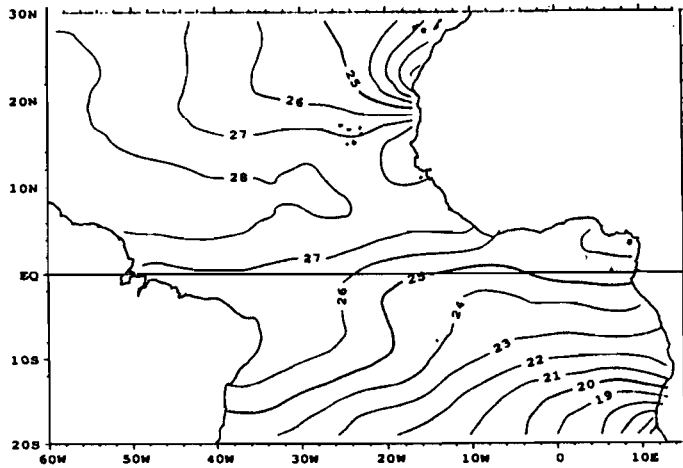
SST - OBSERVATIONS - CLIMATO 07 (82-89)



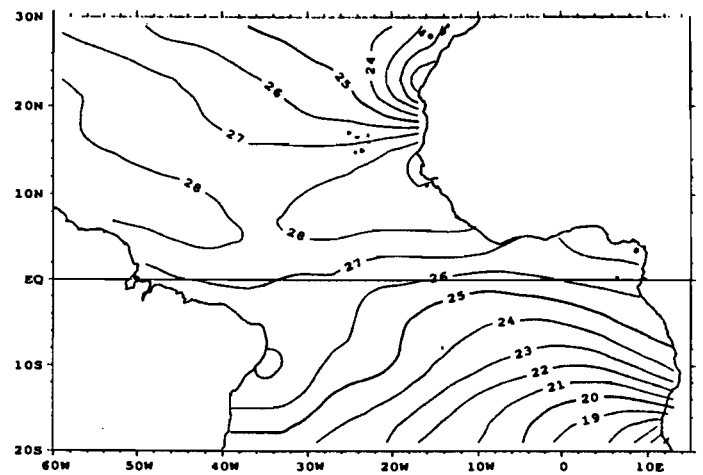
SST - OBSERVATIONS - CLIMATO 08 (82-89)



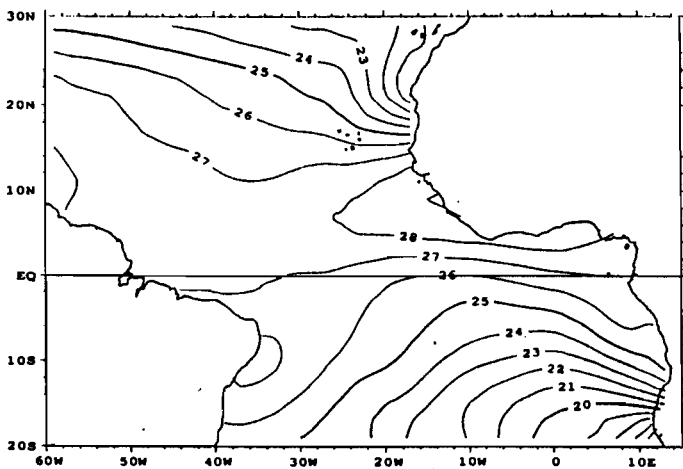
SST - OBSERVATIONS - CLIMATO 09 (82-90)



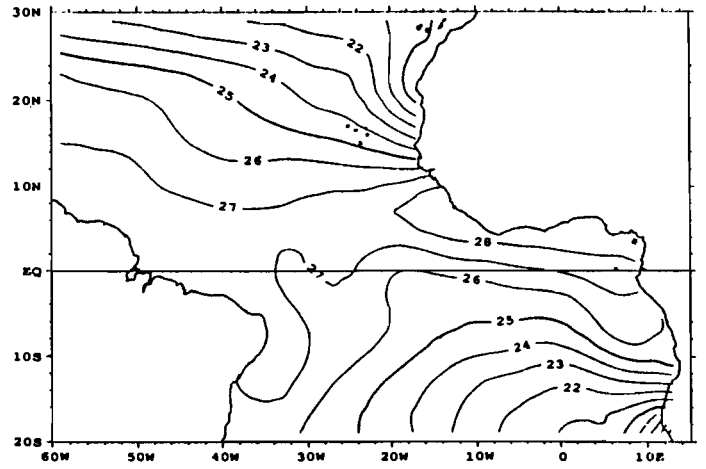
SST - OBSERVATIONS - CLIMATO 10 (82-90)



SST - OBSERVATIONS - CLIMATO 11 (82-90)

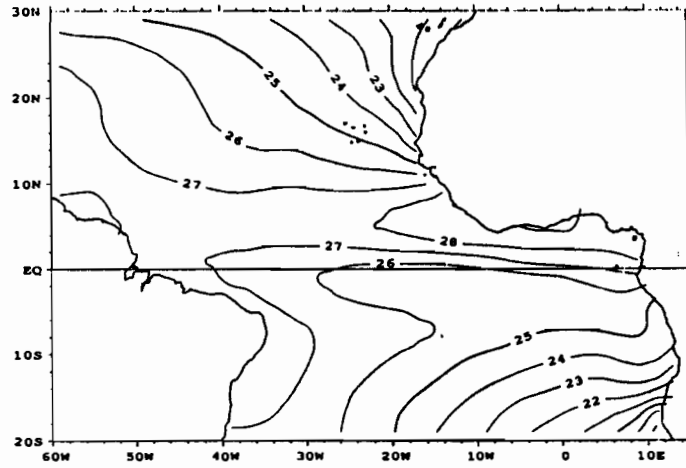


SST - OBSERVATIONS - CLIMATO 12 (82-90)

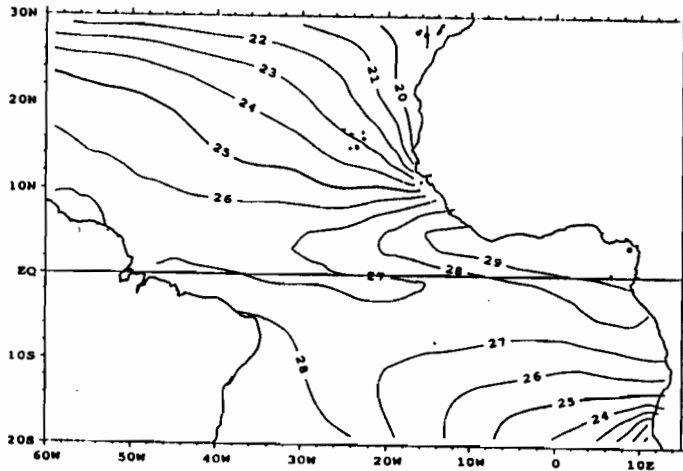




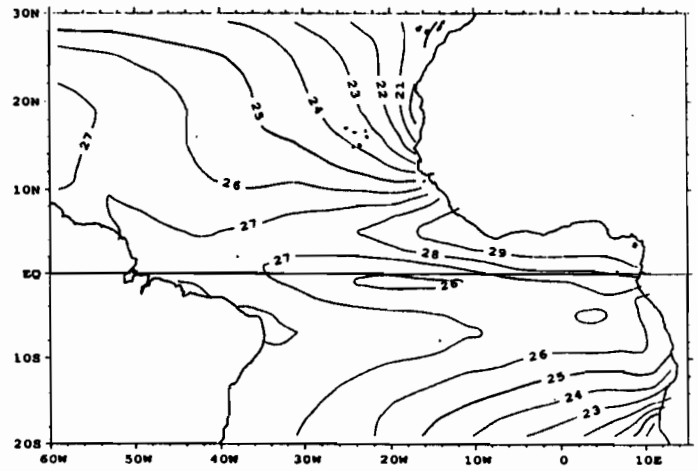
SST - SIMULATIONS - CLIMATO ANNUELLE (82-89)



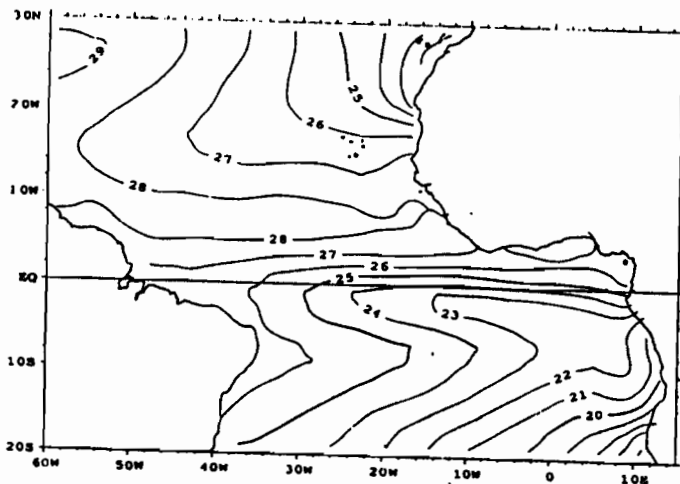
SST - SIMULATIONS - CLIMATO TR1 (82-89)



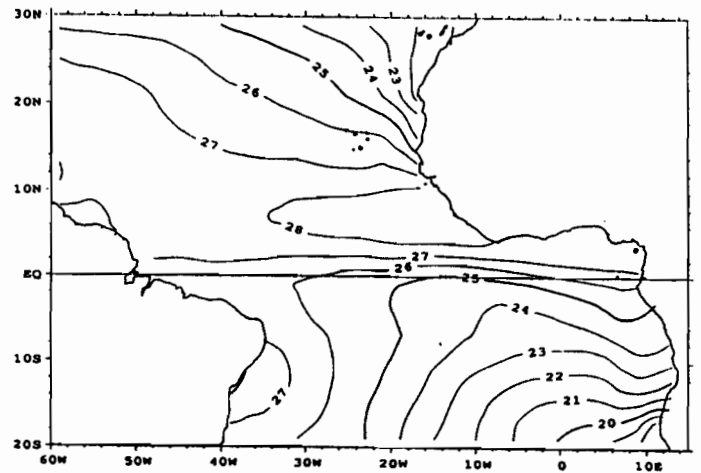
SST - SIMULATIONS - CLIMATO TR2 (82-89)



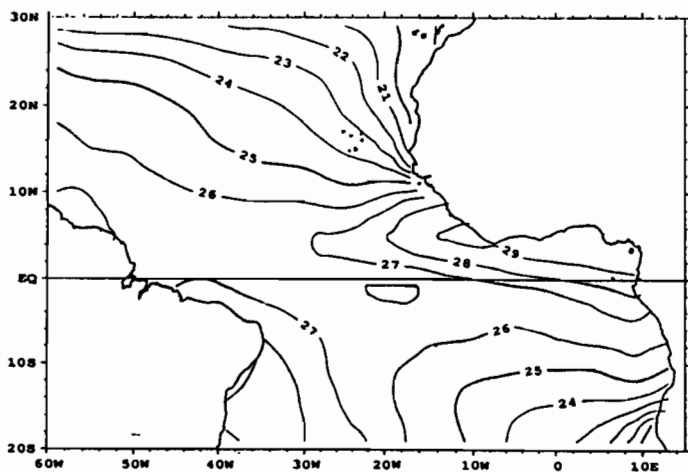
SST - SIMULATIONS - CLIMATO TR3 (82-89)



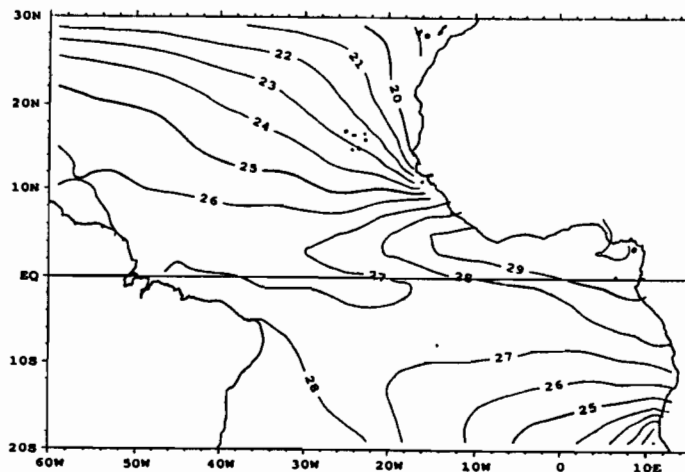
SST - SIMULATIONS - CLIMATO TR4 (82-89)



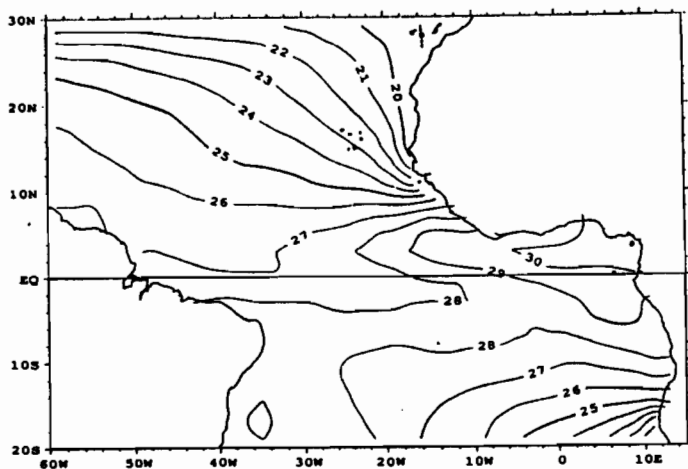
SST - SIMULATIONS - CLIMATO 01 (82-90)



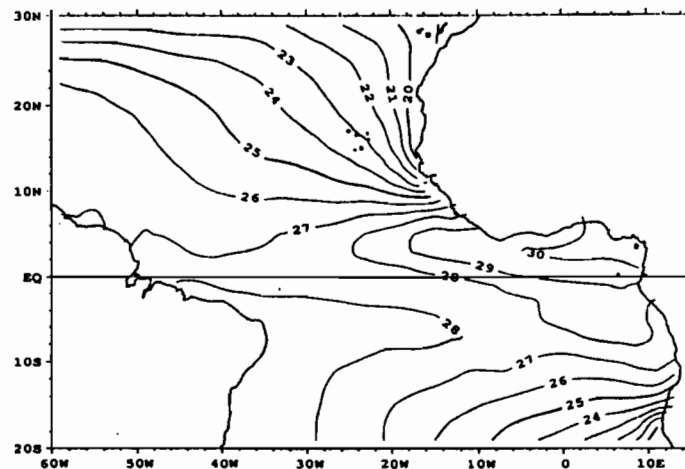
SST - SIMULATIONS - CLIMATO 02 (82-90)



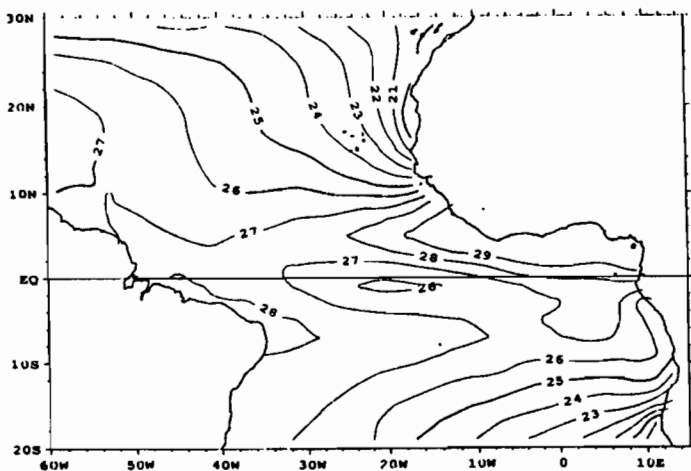
SST - SIMULATIONS - CLIMATO 03 (82-90)



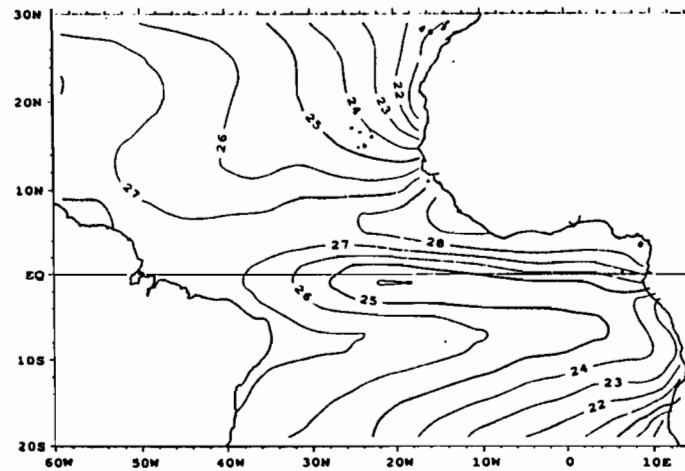
SST - SIMULATIONS - CLIMATO 04 (82-90)



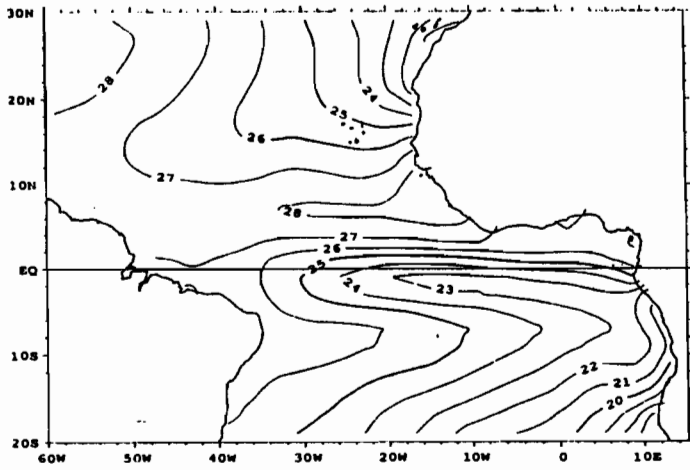
SST - SIMULATIONS - CLIMATO 05 (82-89)



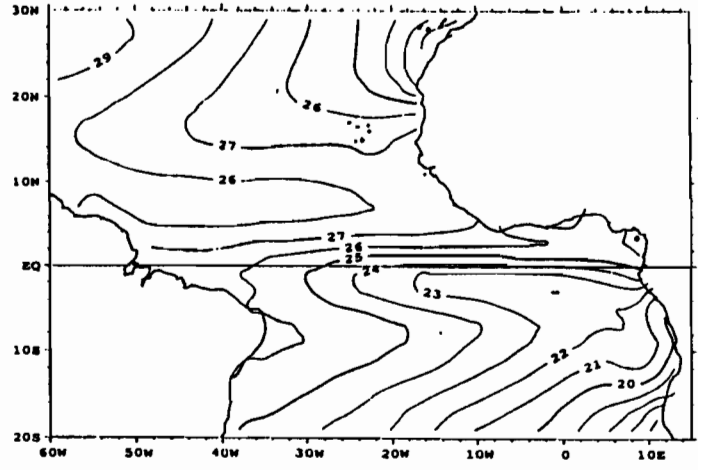
SST - SIMULATIONS - CLIMATO 06 (82-89)



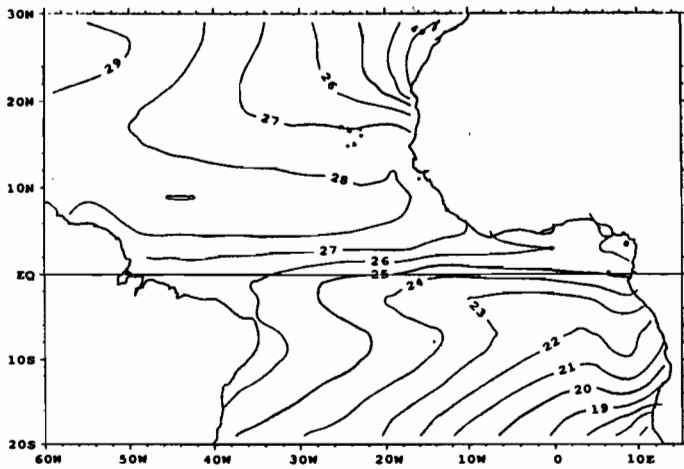
SST - SIMULATIONS - CLIMATO 07 (82-89)



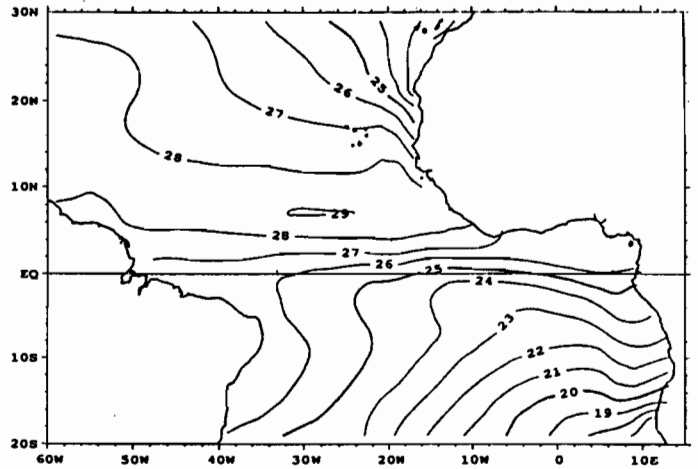
SST - SIMULATIONS - CLIMATO 08 (82-89)



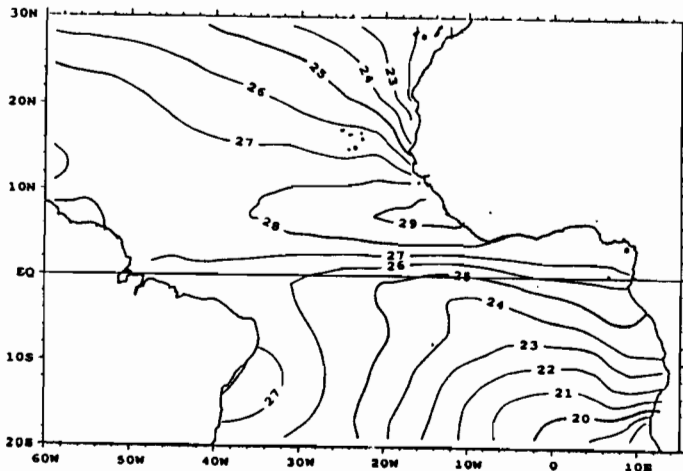
SST - SIMULATIONS - CLIMATO 09 (82-90)



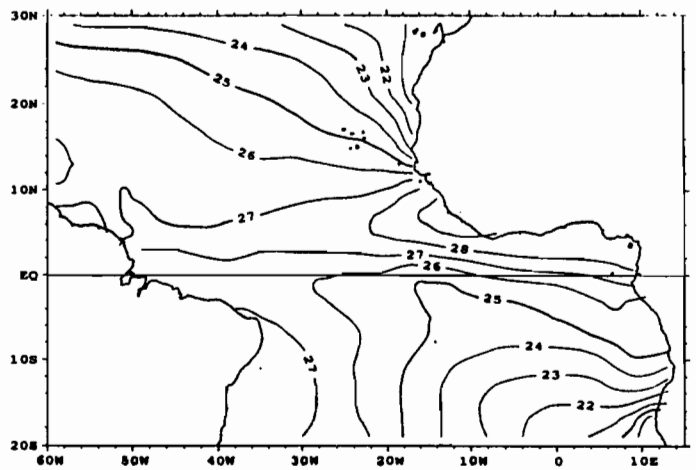
SST - SIMULATIONS - CLIMATO 10 (82-90)



SST - SIMULATIONS - CLIMATO 11 (82-90)



SST - SIMULATIONS - CLIMATO 12 (82-90)







**ECARTS DES SIMULATIONS  
PAR RAPPORT AUX OBSERVATIONS**

**1. A PARTIR DES CLIMATOLOGIES 1982-1990:**

Anuelle et trimestrielles : p. 19

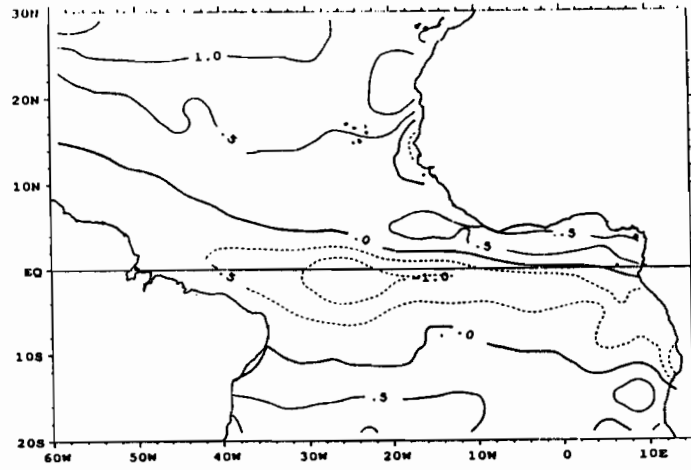
Mensuelles : p. 20 et 21

**2. A PARTIR DES ANNEES MOYENNES (1982 à 1990) :**

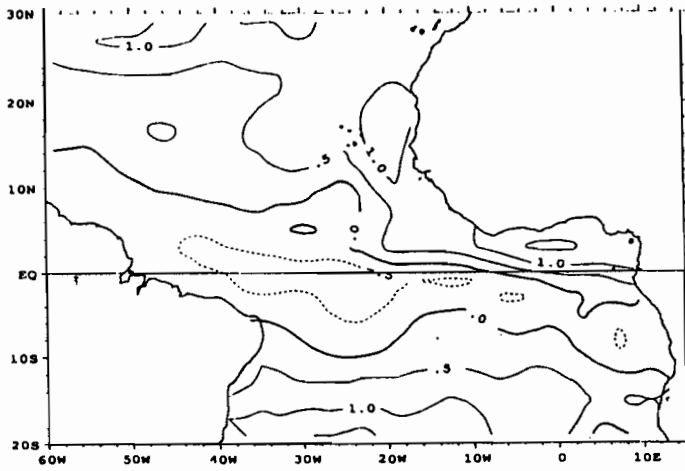
p. 23 à 25



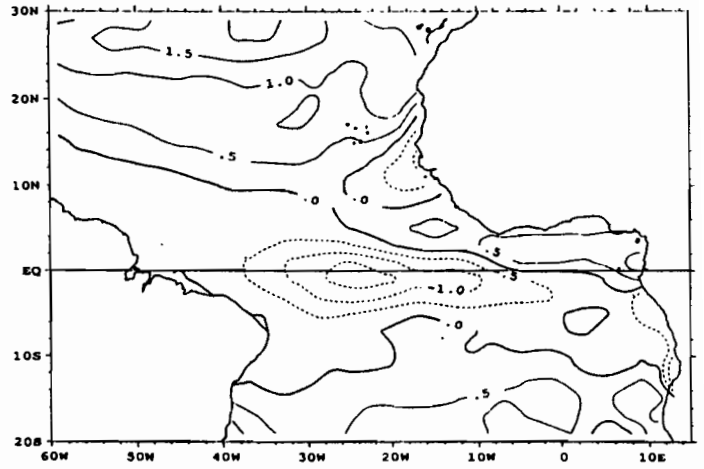
DIFF SST - (SIM-OBS) - CLIMATO ANNUELLE (82-89)



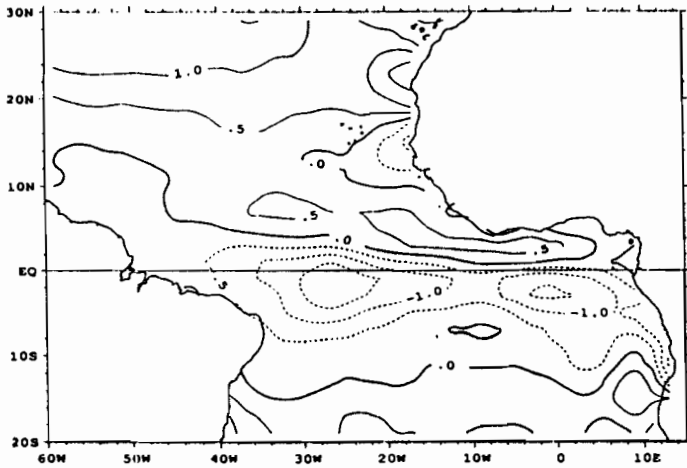
DIFF SST - (SIM-OBS) - CLIMATO TR1 (82-89)



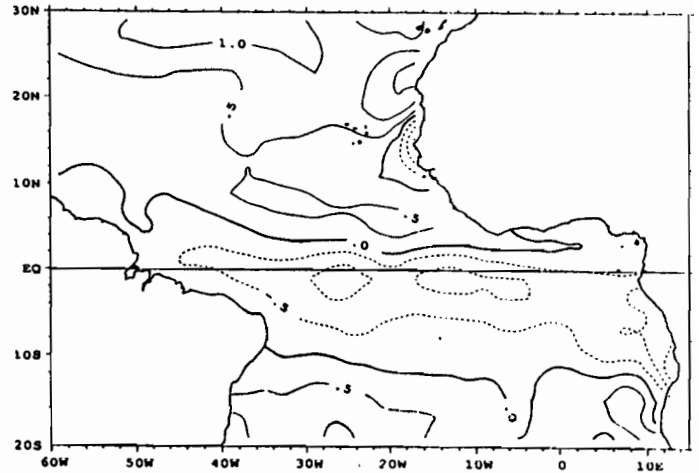
DIFF SST - (SIM-OBS) - CLIMATO TR2 (82-89)



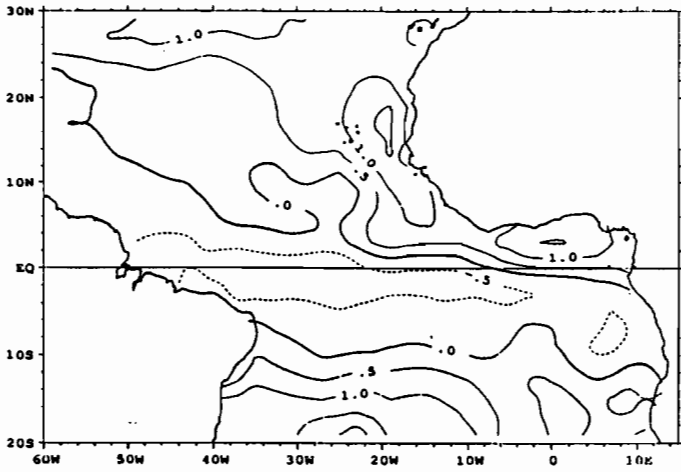
DIFF SST - (SIM-OBS) - CLIMATO TR3 (82-89)



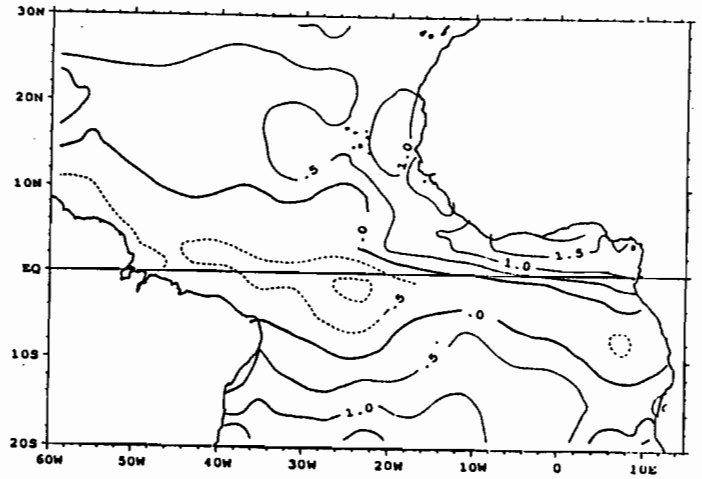
DIFF SST - (SIM-OBS) - CLIMATO TR4 (82-89)



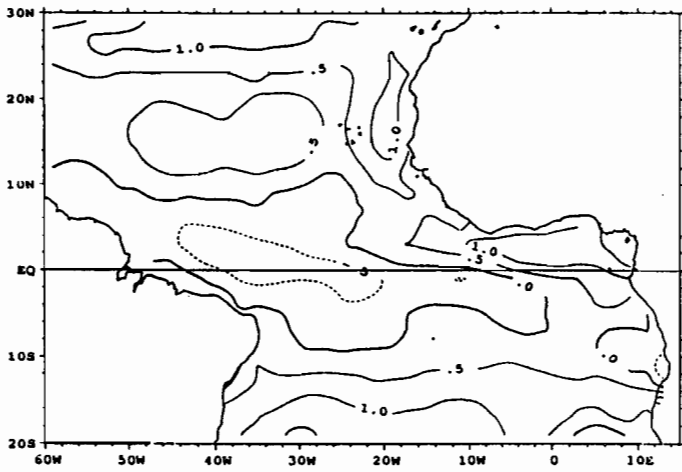
DIFF SST - (SIM-OBS) - CLIMATO 01 (82-90)



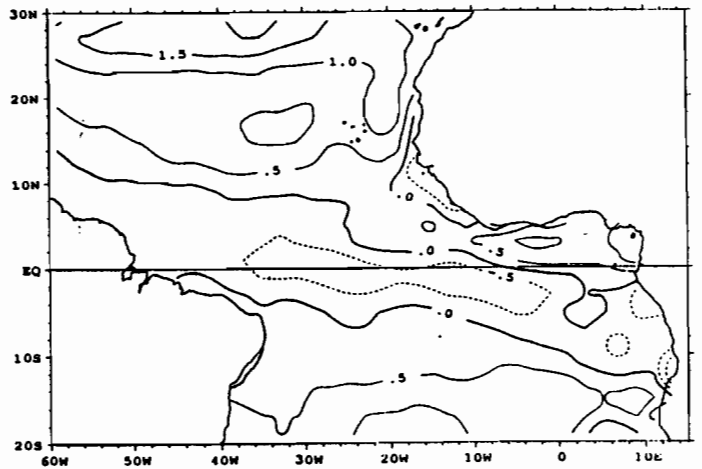
DIFF SST - (SIM-OBS) - CLIMATO 02 (82-90)



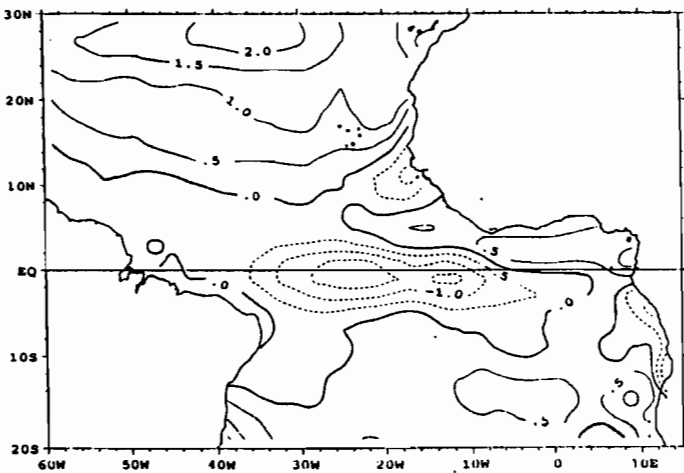
DIFF SST - (SIM-OBS) - CLIMATO 03 (82-90)



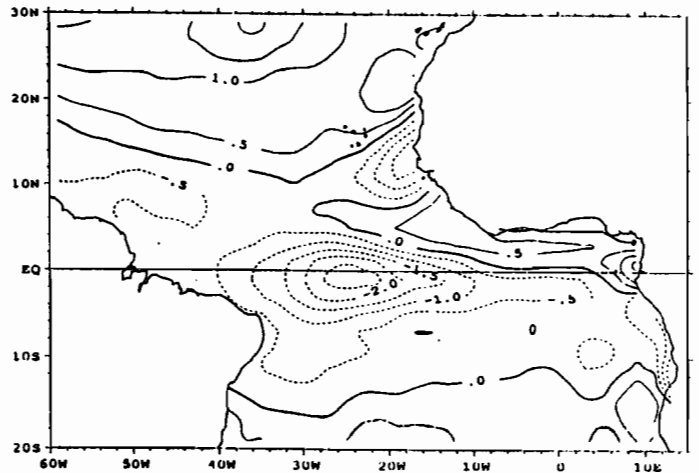
DIFF SST - (SIM-OBS) - CLIMATO 04 (82-90)



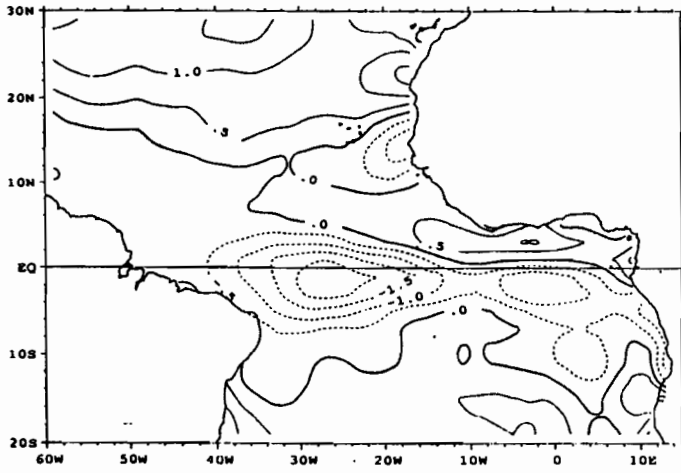
DIFF SST - (SIM-OBS) - CLIMATO 05 (82-89)



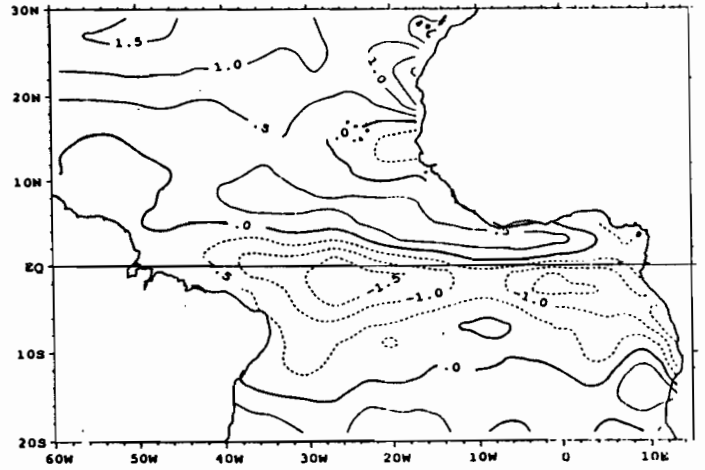
DIFF SST - (SIM-OBS) - CLIMATO 06 (82-89)



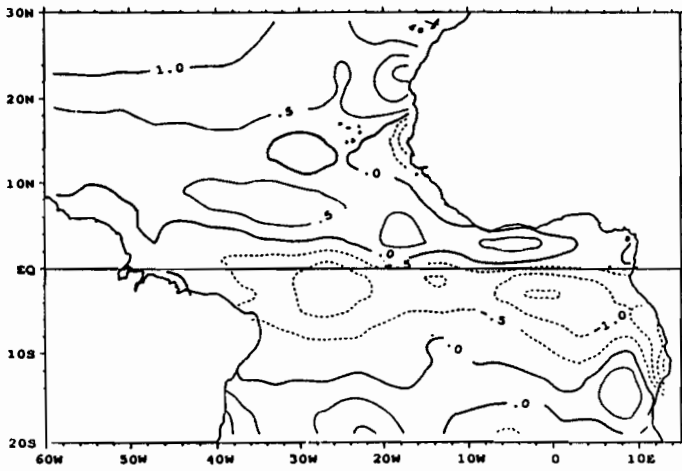
DIFF SST - (SIM-OBS) - CLIMATO 07 (82-89)



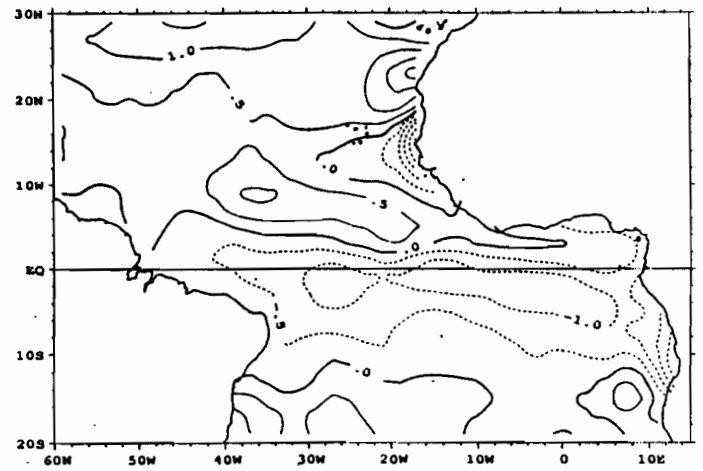
DIFF SST - (SIM-OBS) - CLIMATO 08 (82-89)



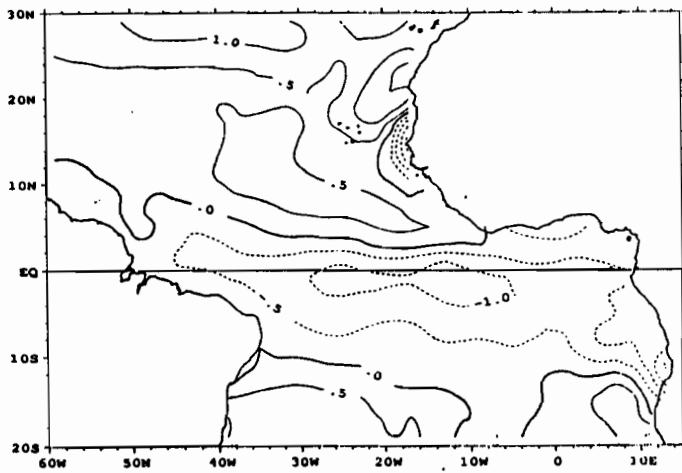
DIFF SST - (SIM-OBS) - CLIMATO 09 (82-90)



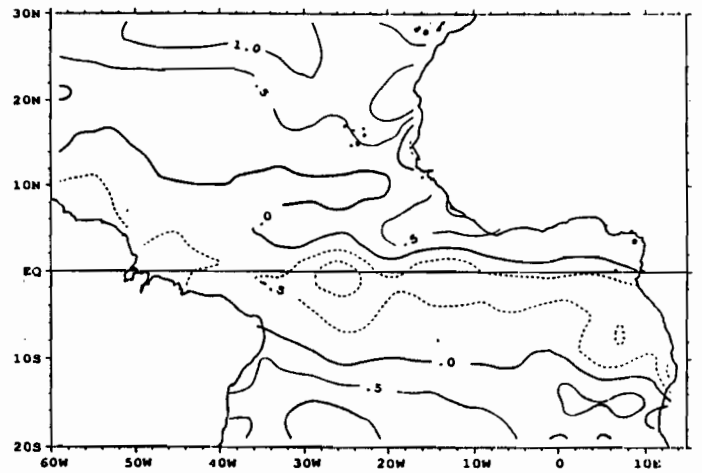
DIFF SST - (SIM-OBS) - CLIMATO 10 (82-90)



DIFF SST - (SIM-OBS) - CLIMATO 11 (82-90)

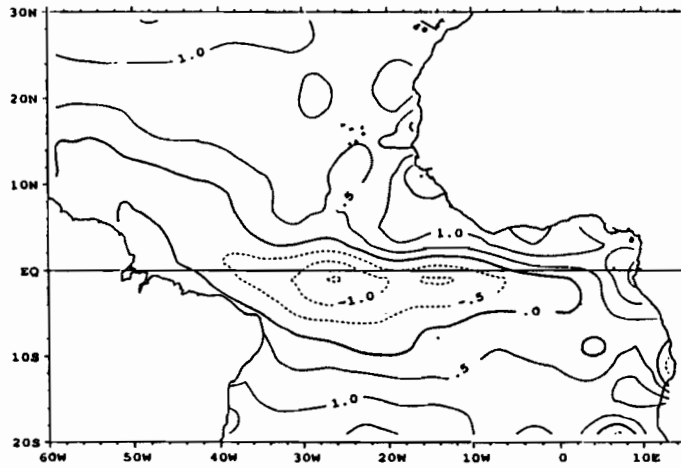


DIFF SST - (SIM-OBS) - CLIMATO 12 (82-90)

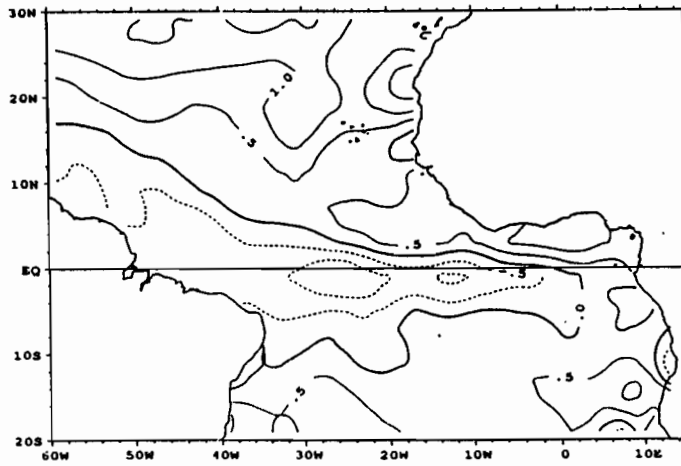




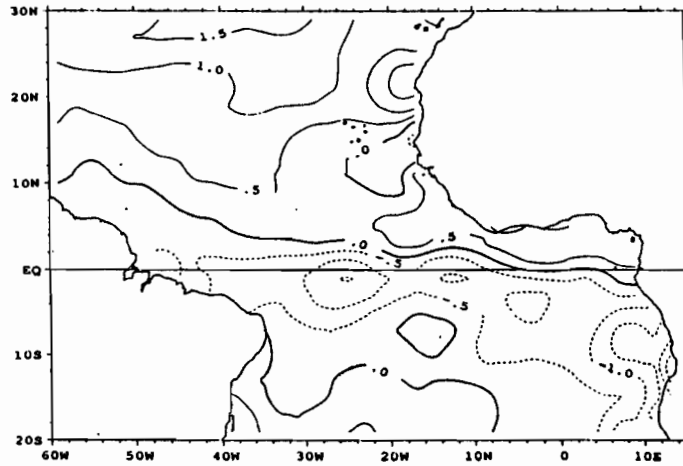
DIFF SST - (SIM-OBS) - ANNEE 1982



DIFF SST - (SIM-OBS) - ANNEE 1983

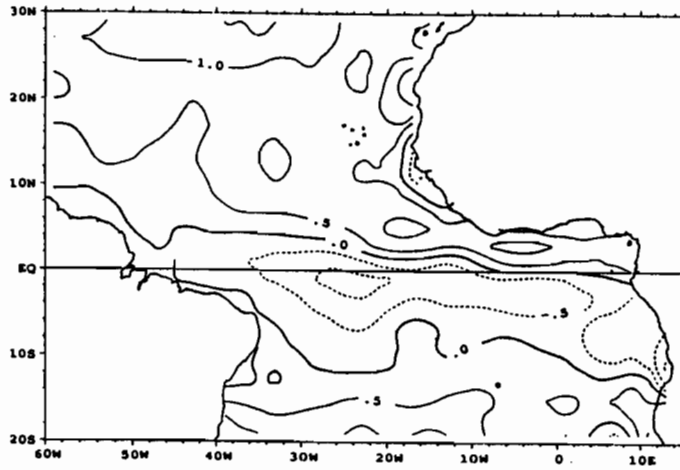


DIFF SST - (SIM-OBS) - ANNEE 1984

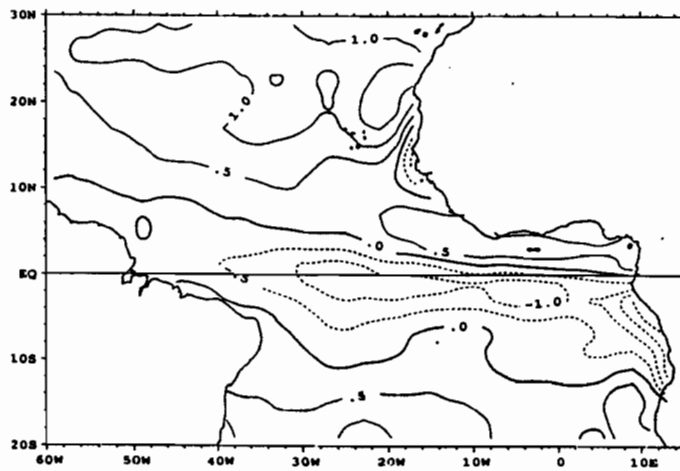




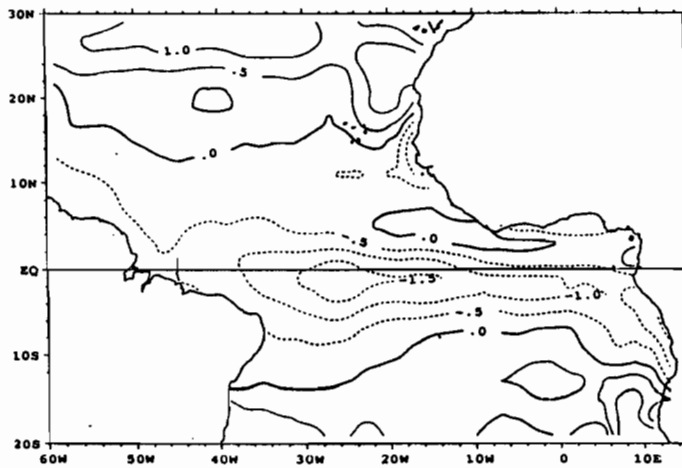
DIFF SST - (SIM-OBS) - ANNEE 1985



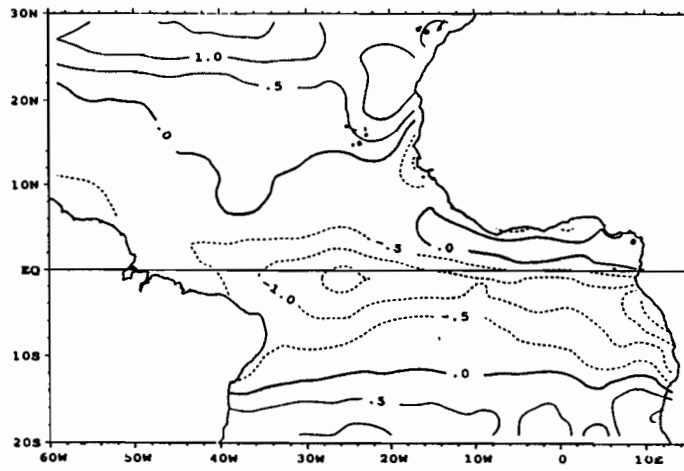
DIFF SST - (SIM-OBS) - ANNEE 1986



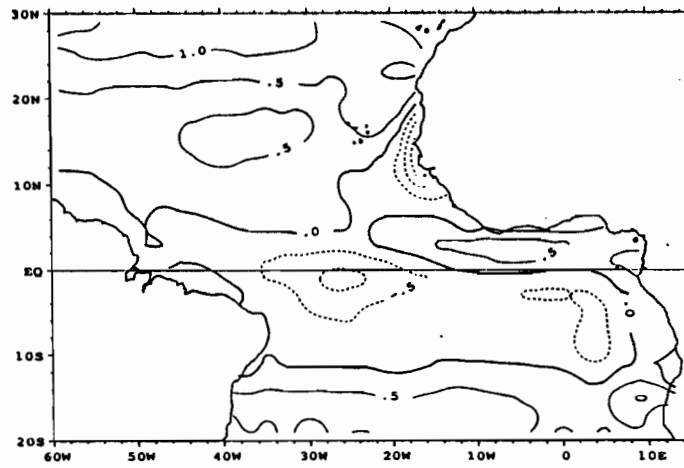
DIFF SST - (SIM-OBS) - ANNEE 1987



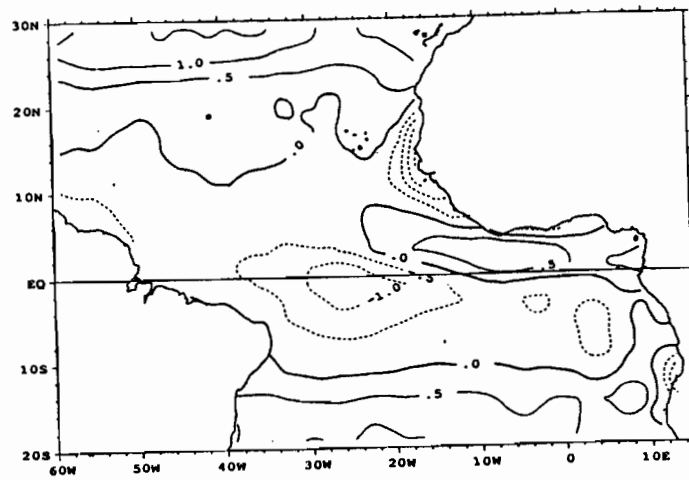
DIFF SST - (SIM-OBS) - ANNEE 1988



DIFF SST - (SIM-OBS) - ANNEE 1989



DIFF SST - (SIM-OBS) - ANNEE 1990





**"ROOT MEAN SQUARE ERROR" (RMSE)**

**DES SIMULATIONS**

**CALCULEES EN PRENANT LES OBSERVATIONS COMME REFERENCES**

**1. SUR L'ENSEMBLE DE LA PERIODE 1982-1990:**

Calculs annuel et trimestriels : p. 29

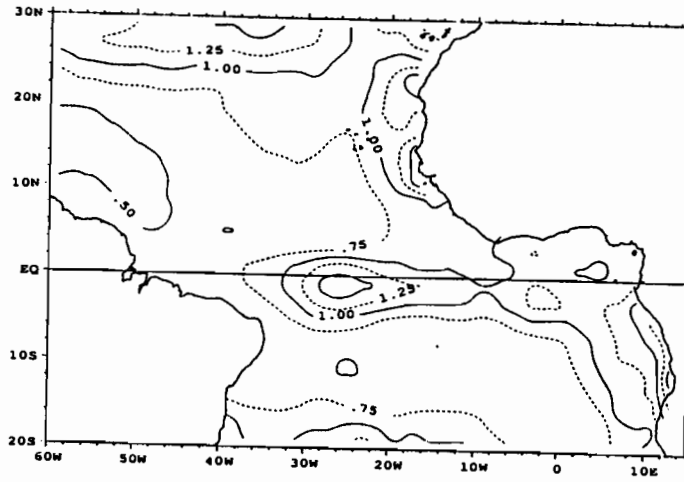
Calculs mensuels : p. 30 et 31

**2. SUR CHACUNE DES ANNEES 1982 A 1990**

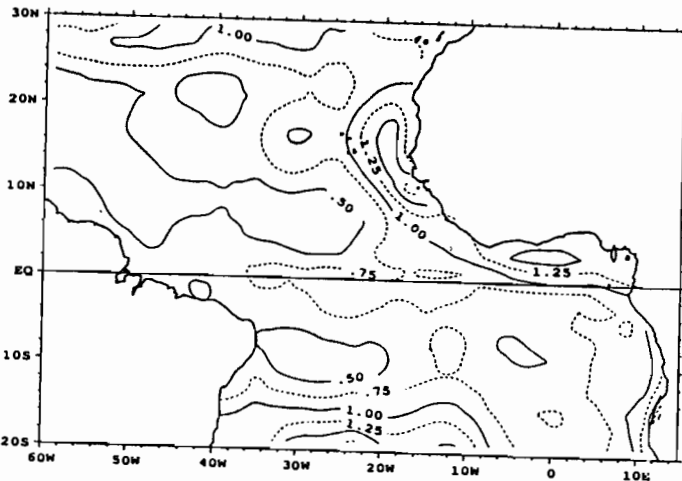
p. 33 à 35



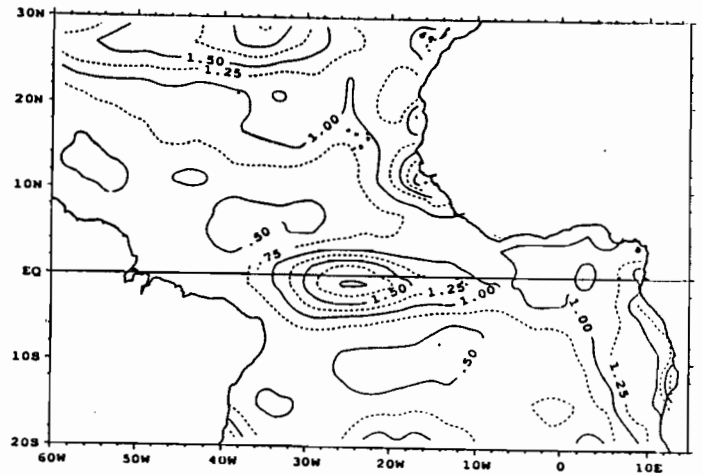
RMSE-SST - ANNEE MOYENNE (82-89)



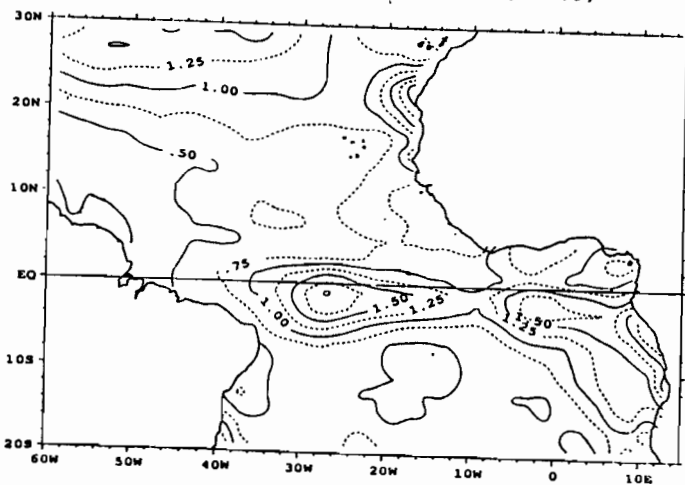
RMSE-SST - JAN/FEV/MAR (82-89)



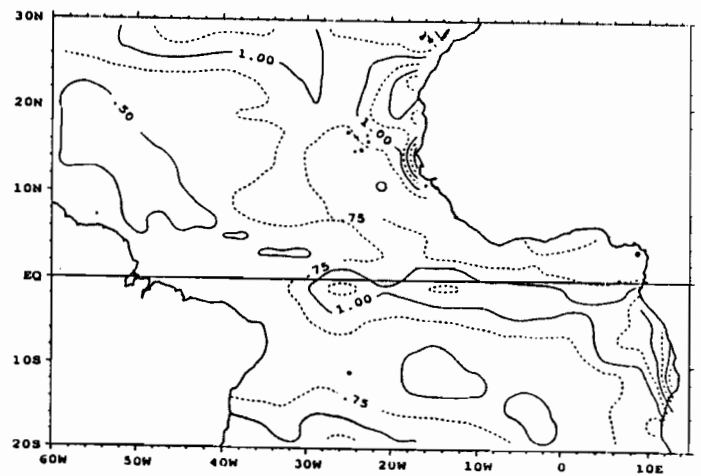
RMSE-SST - AVR/MAI/JUI (82-89)



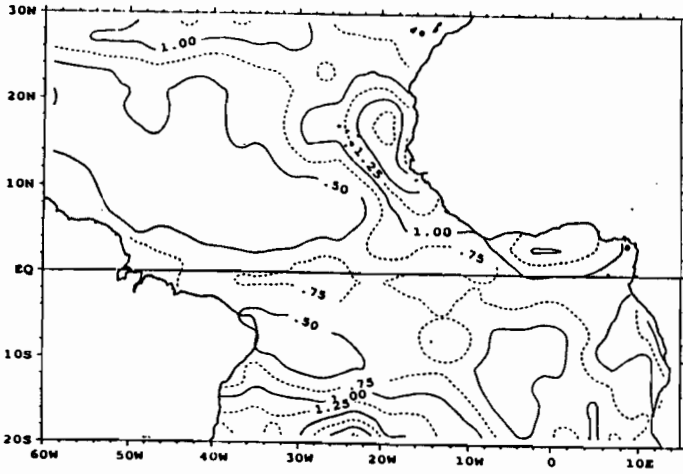
RMSE-SST - JUI/AOU/SEP (82-89)



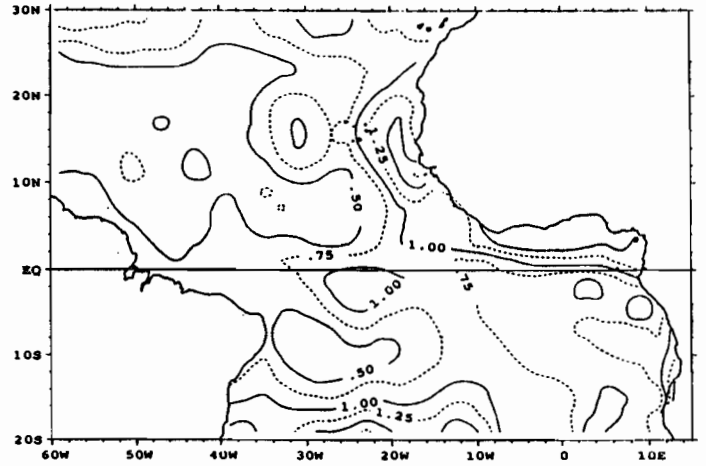
RMSE-SST - OCT/NOV/DEC (82-89)



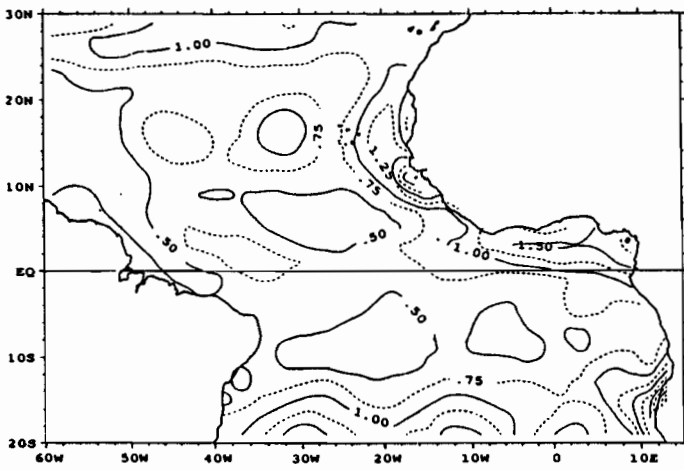
RMSE-SST - JANVIER (82-89)



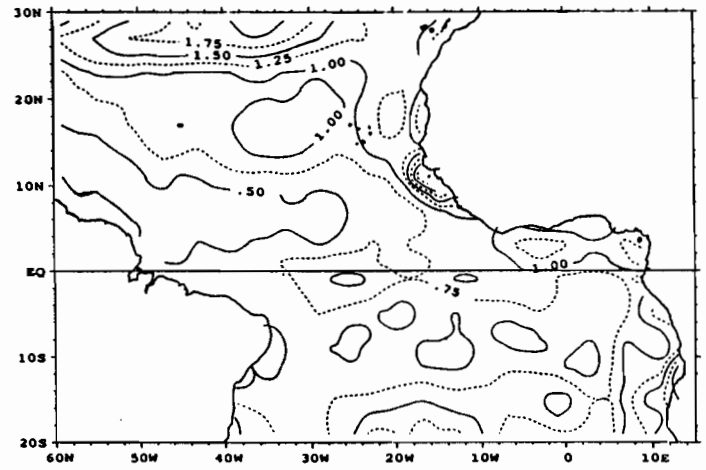
RMSE-SST - FEVRIER (82-89)



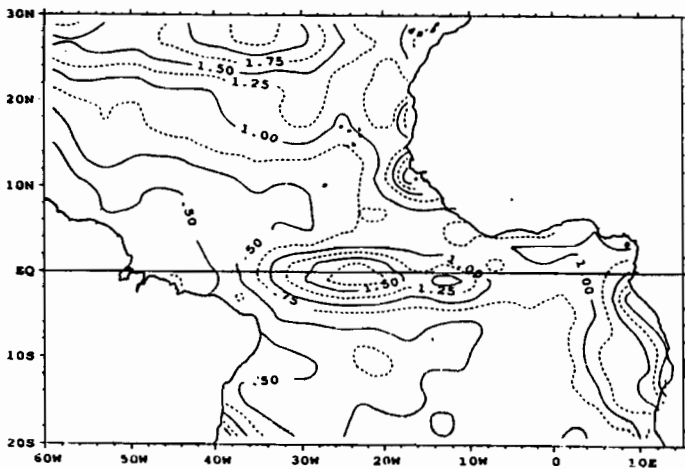
RMSE-SST - MARS (82-89)



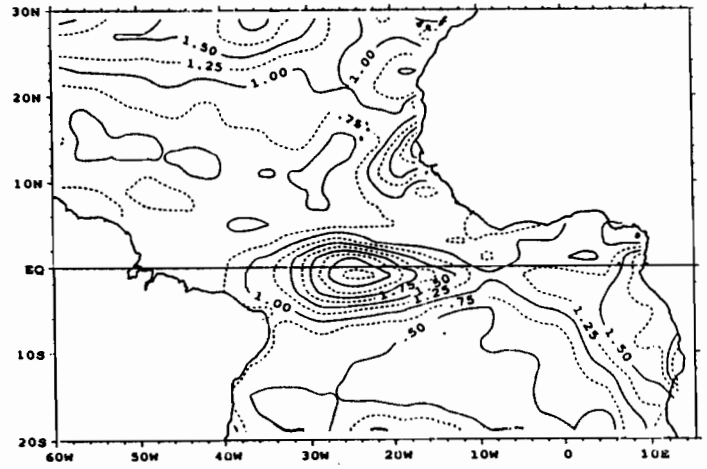
RMSE-SST - AVRIL (82-89)



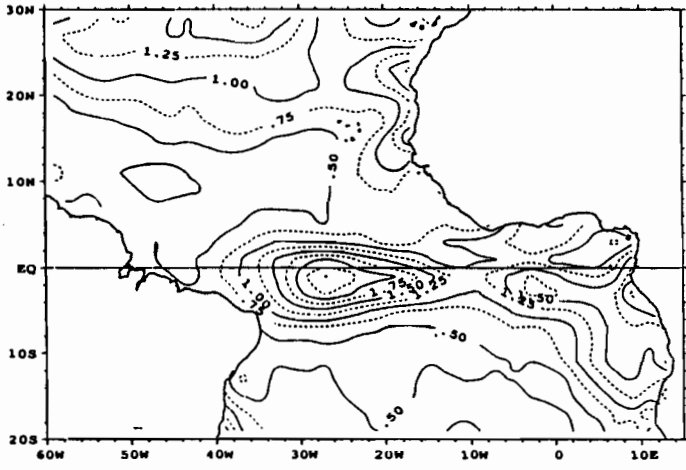
RMSE-SST - MAI (82-89)



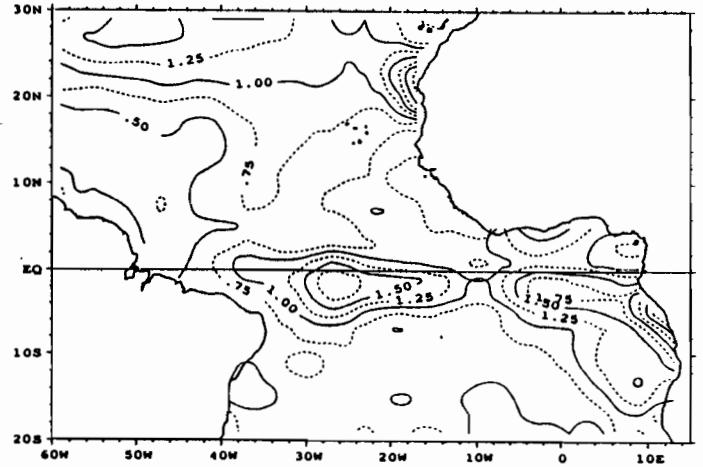
RMSE-SST - JUIN (82-89)



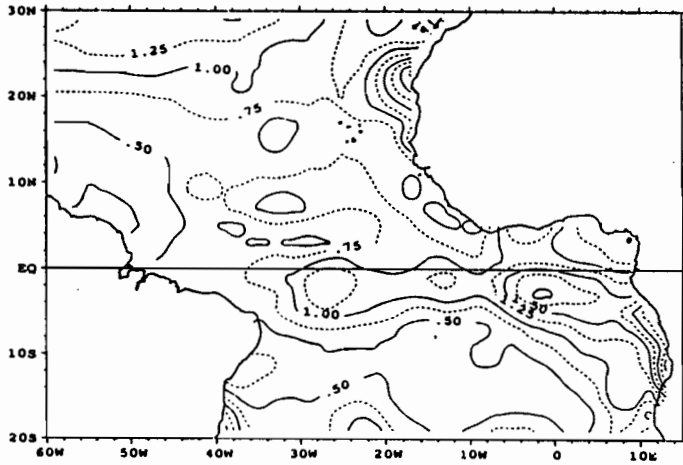
RMSE-SST - JUILLET (82-89)



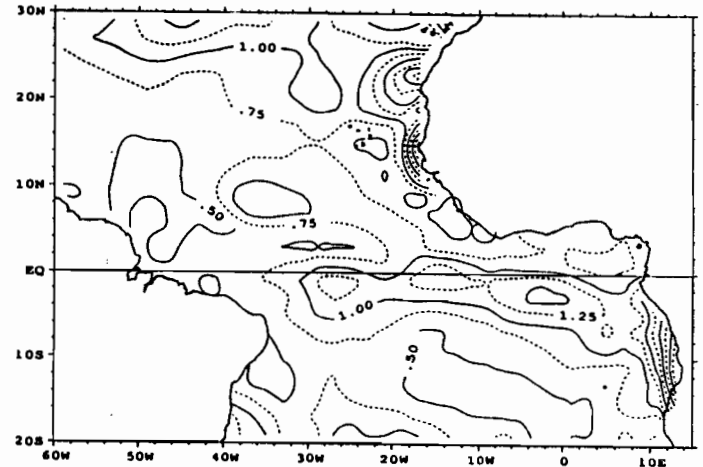
RMSE-SST - AOUT (82-89)



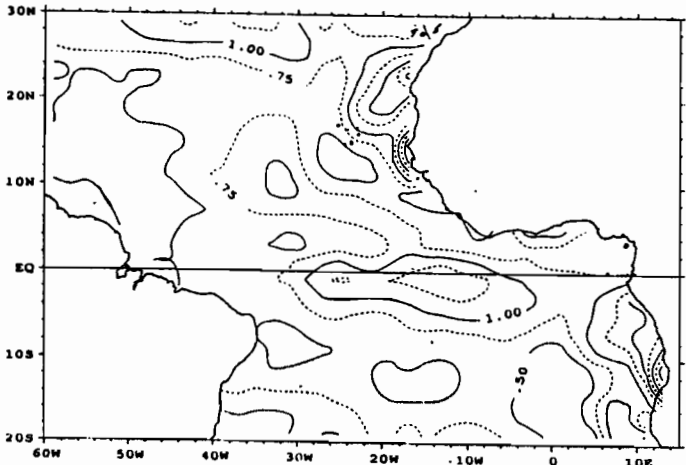
RMSE-SST - SEPTEMBRE (82-89)



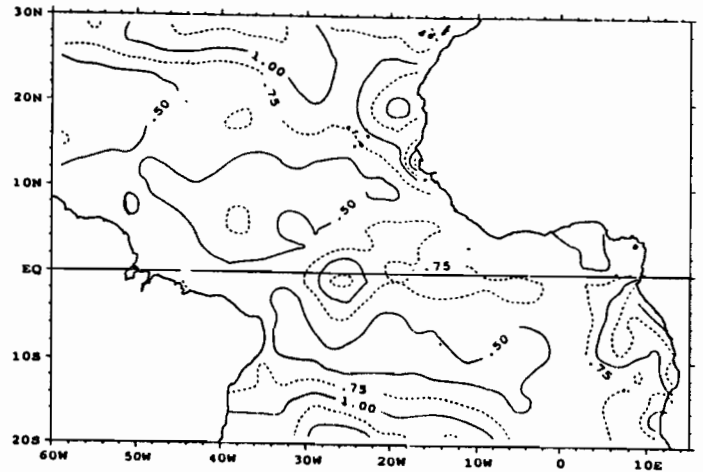
RMSE-SST - OCTOBRE (82-89)



RMSE-SST - NOVEMBRE (82-89)



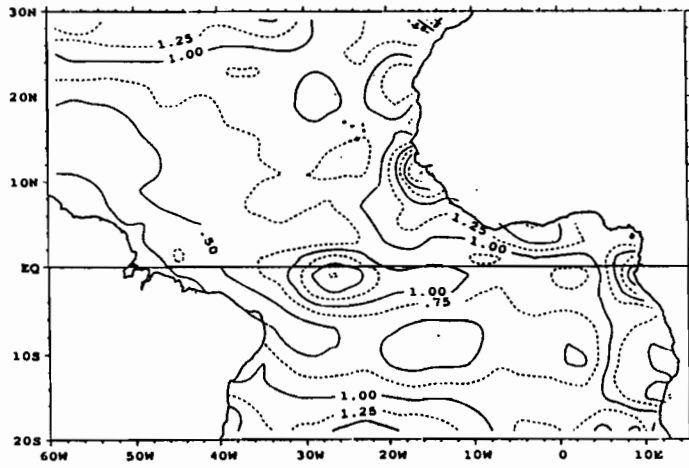
RMSE-SST - DECEMBRE (82-89)



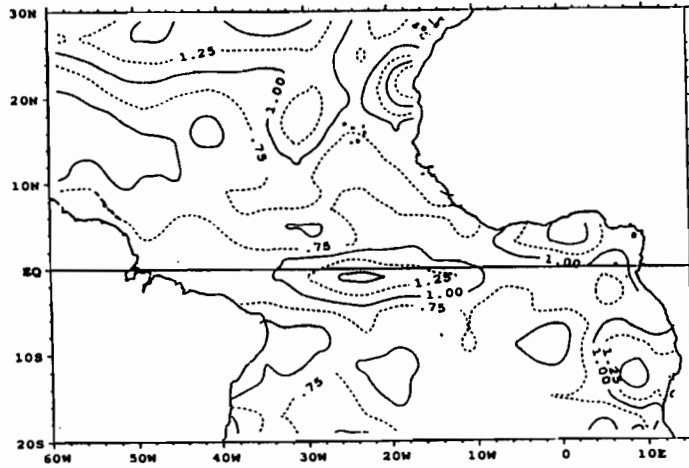




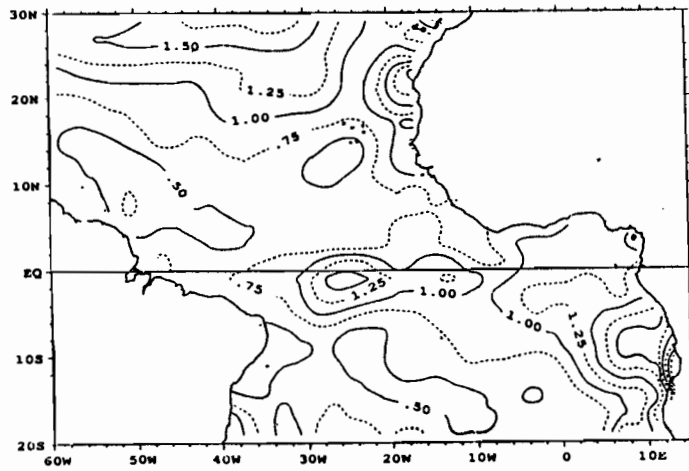
RMSE-SST - ANNEE 1982



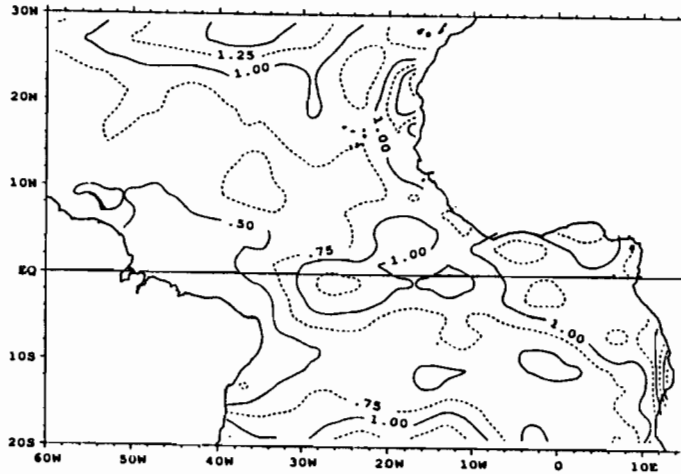
RMSE-SST - ANNEE 1983



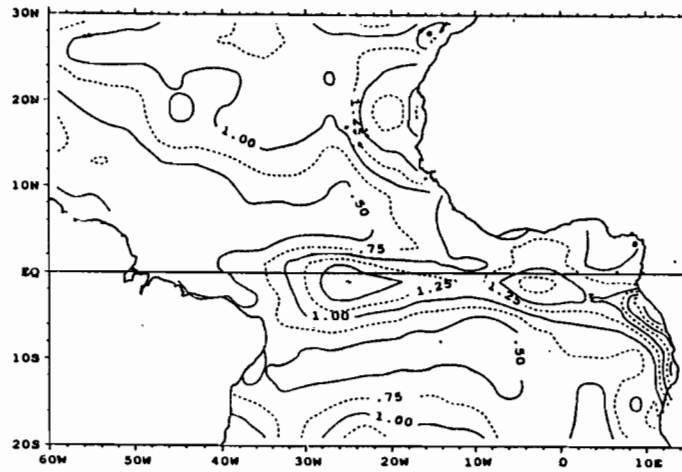
RMSE-SST - ANNEE 1984



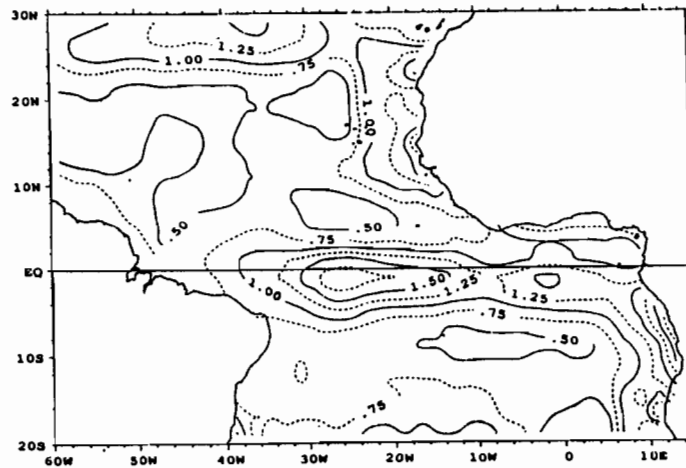
RMSE-SST - ANNEE 1985



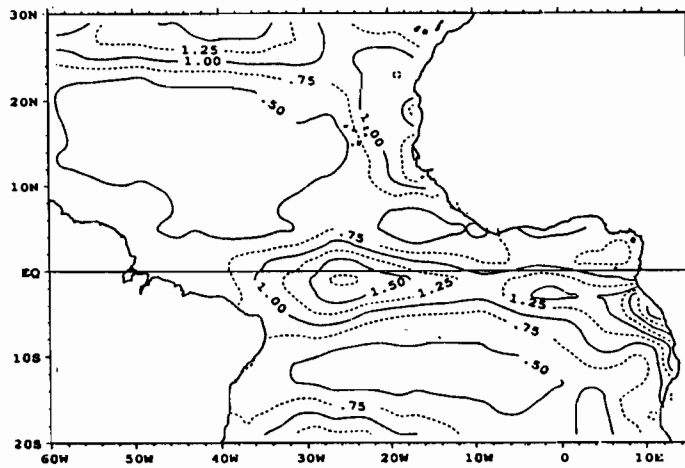
RMSE-SST - ANNEE 1986



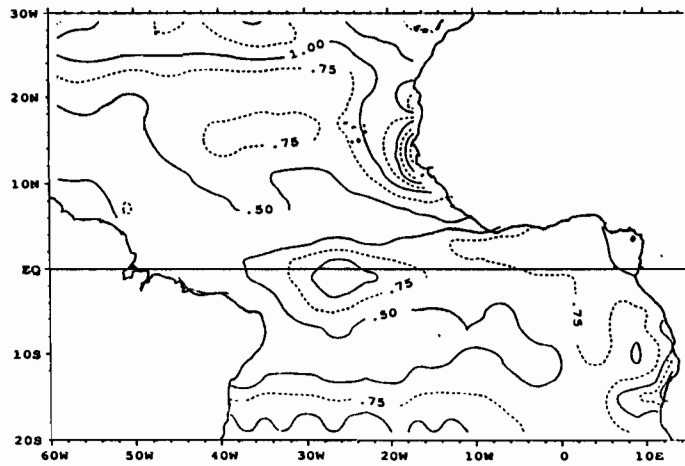
RMSE-SST - ANNEE 1987



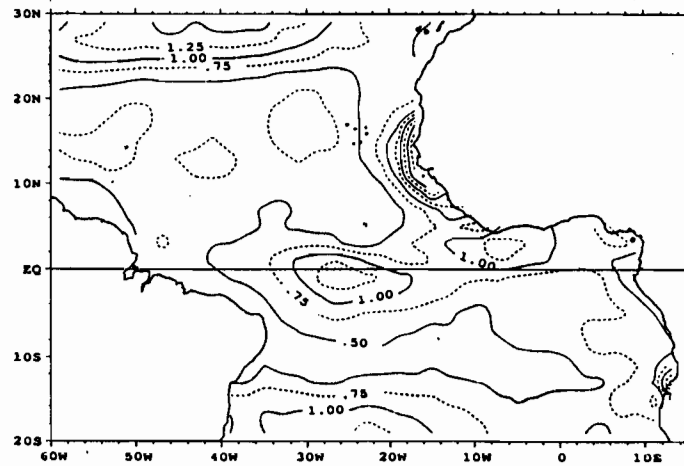
RMSE-SST - ANNEE 1988



RMSE-SST - ANNEE 1989



RMSE-SST - ANNEE 1990





**a) RMSE GLOBAL**

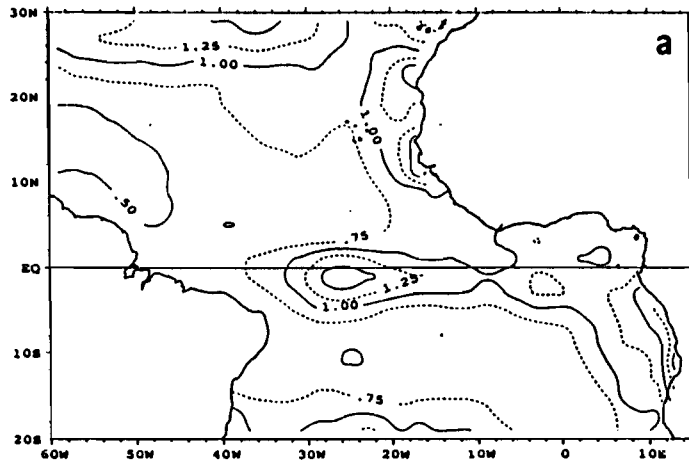
**b) ECART-TYPE DES FICHIERS D'OBSERVATIONS**

**c) SKILL : RAPPORT DE (a) SUR (b)**

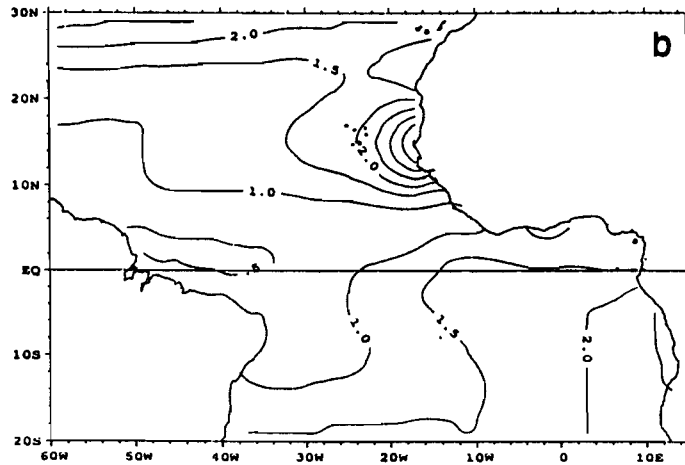
p. 39



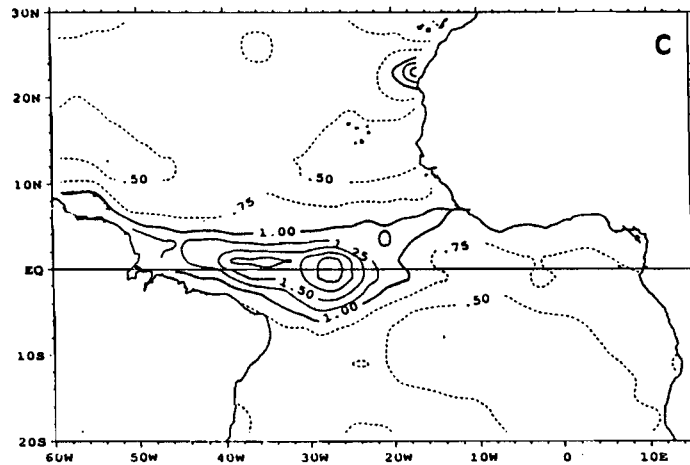
RMSE-SST - ANNEE MOYENNE (82-89)



SIGMA / SST OBSERVATIONS (82-89)



SKILL SST = RMSE SIM / SIGMA OBS (82-89)

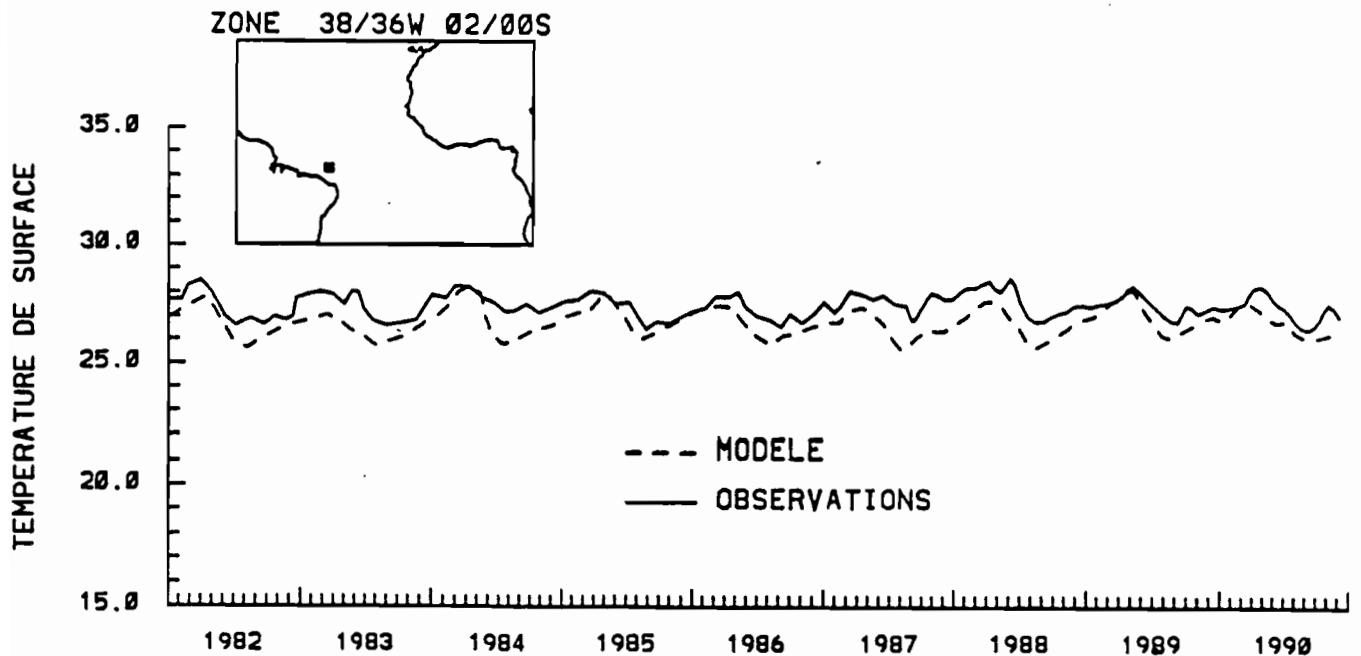
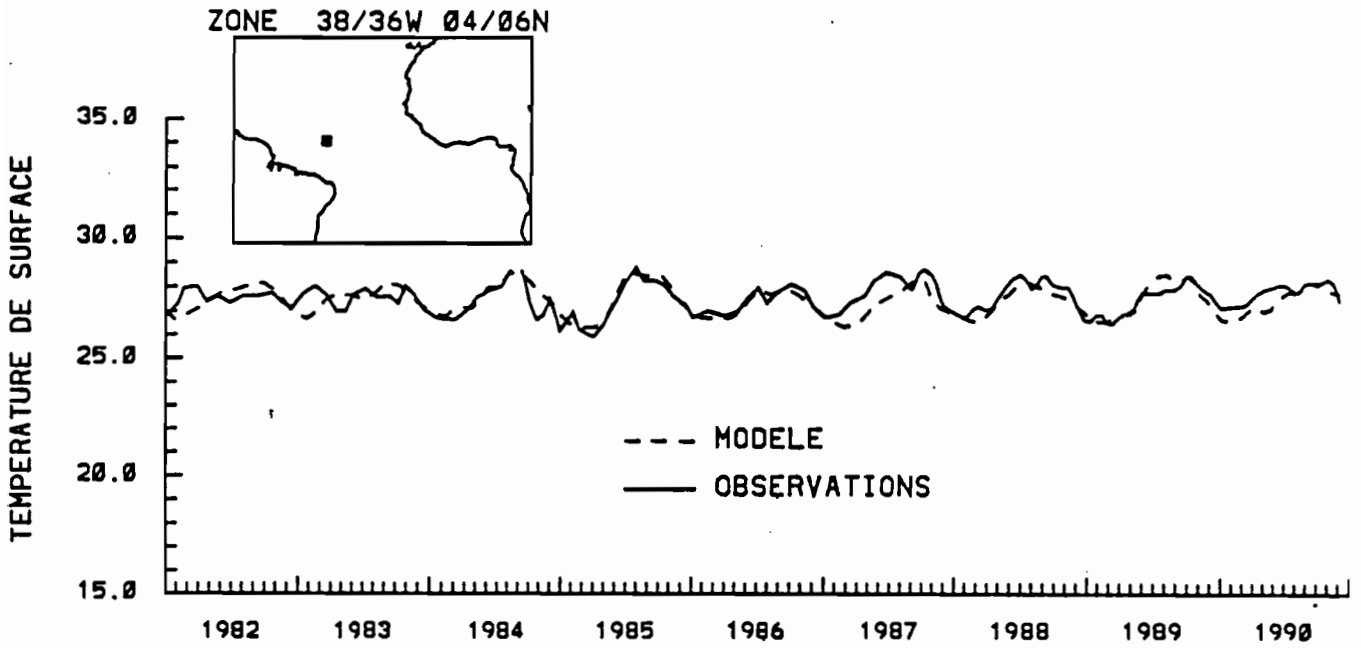
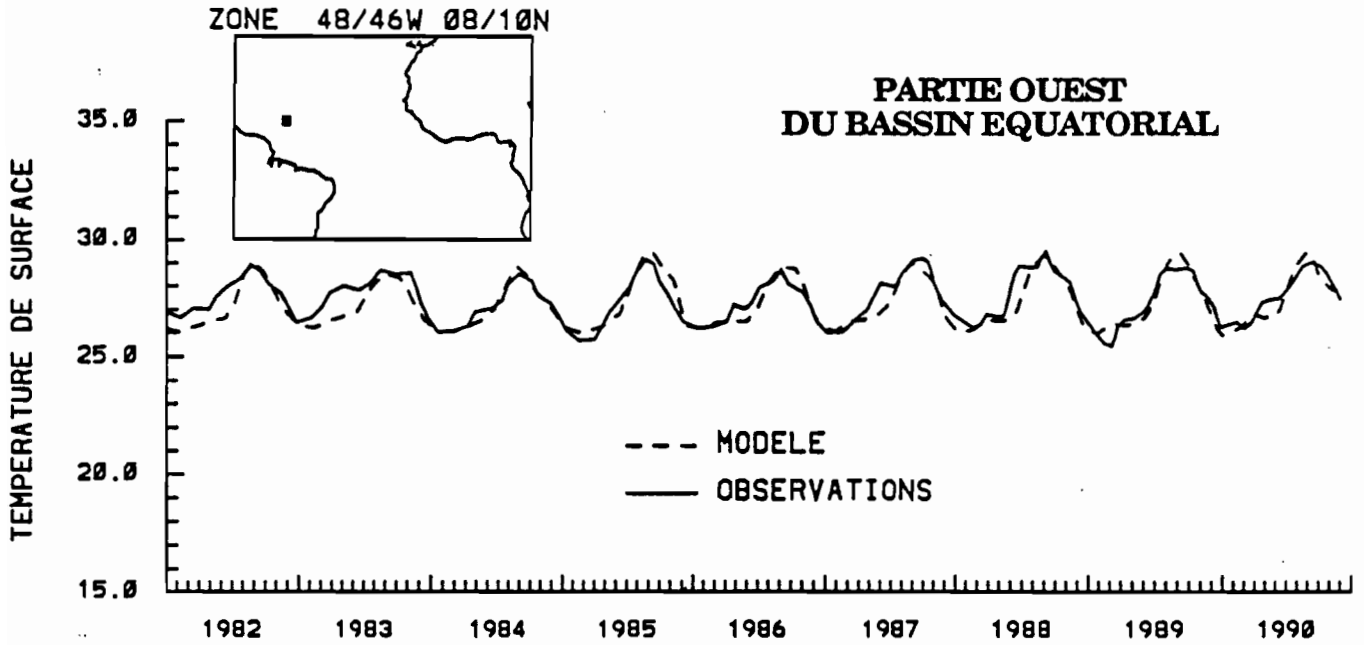




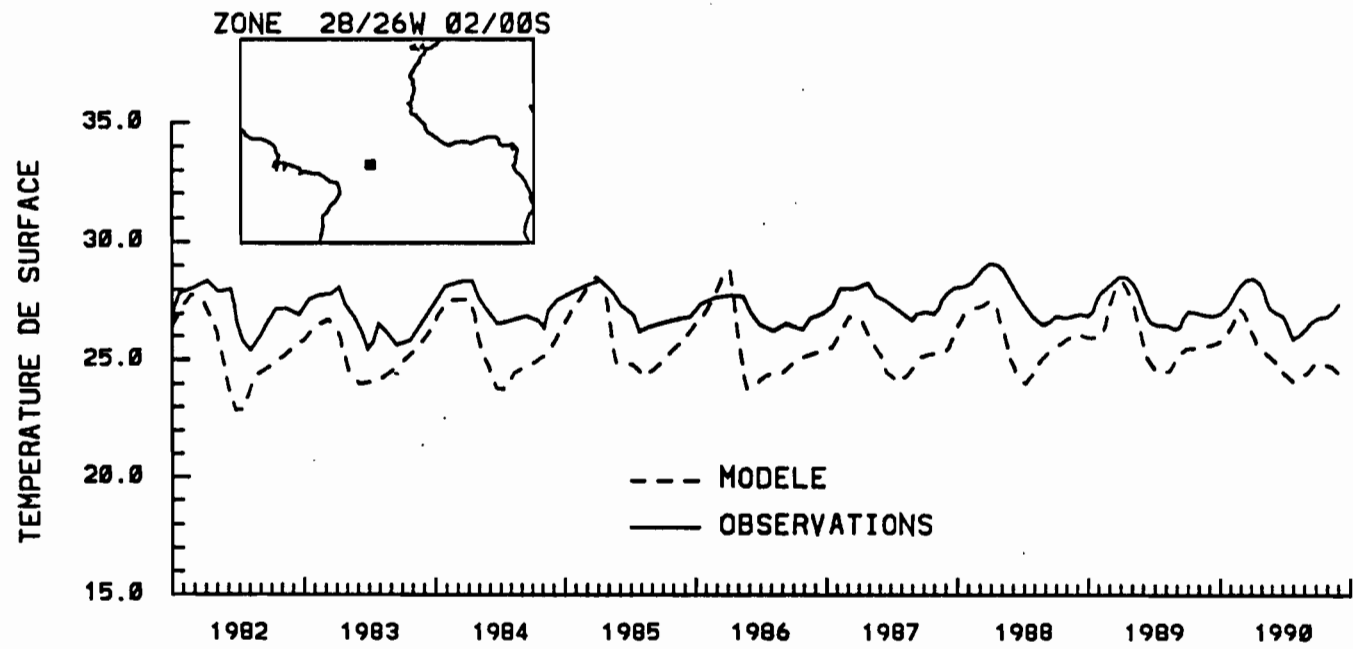
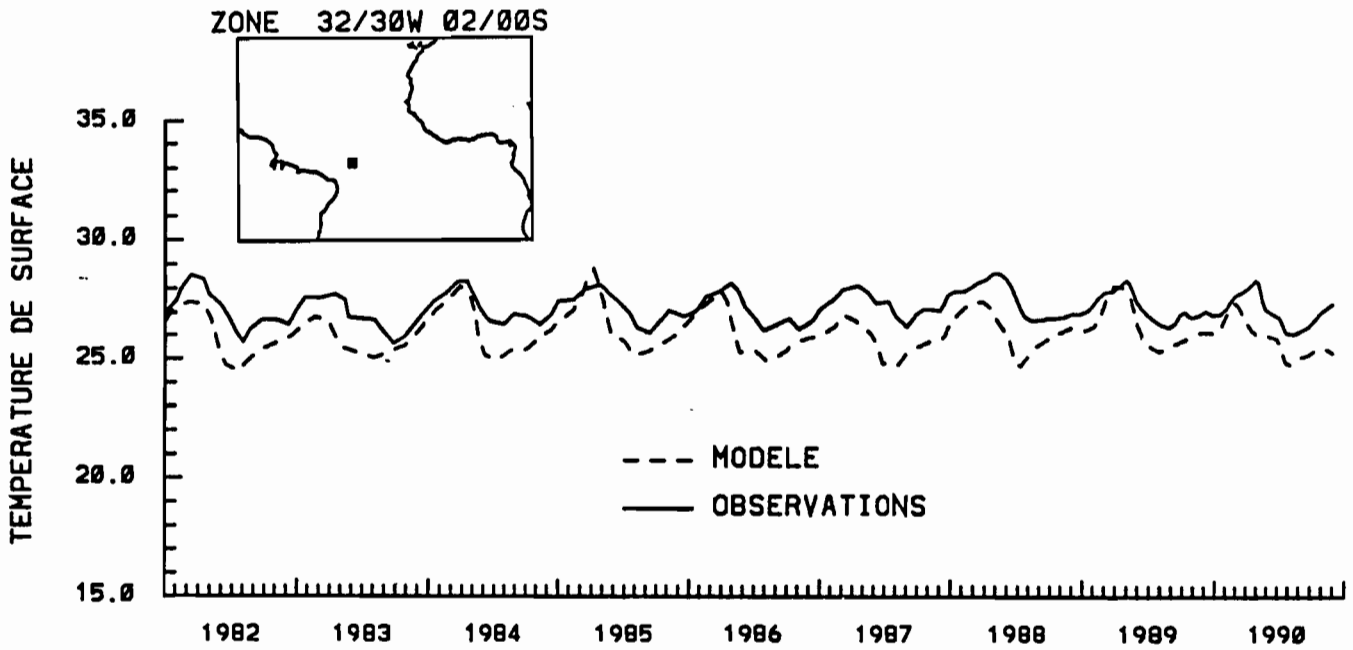


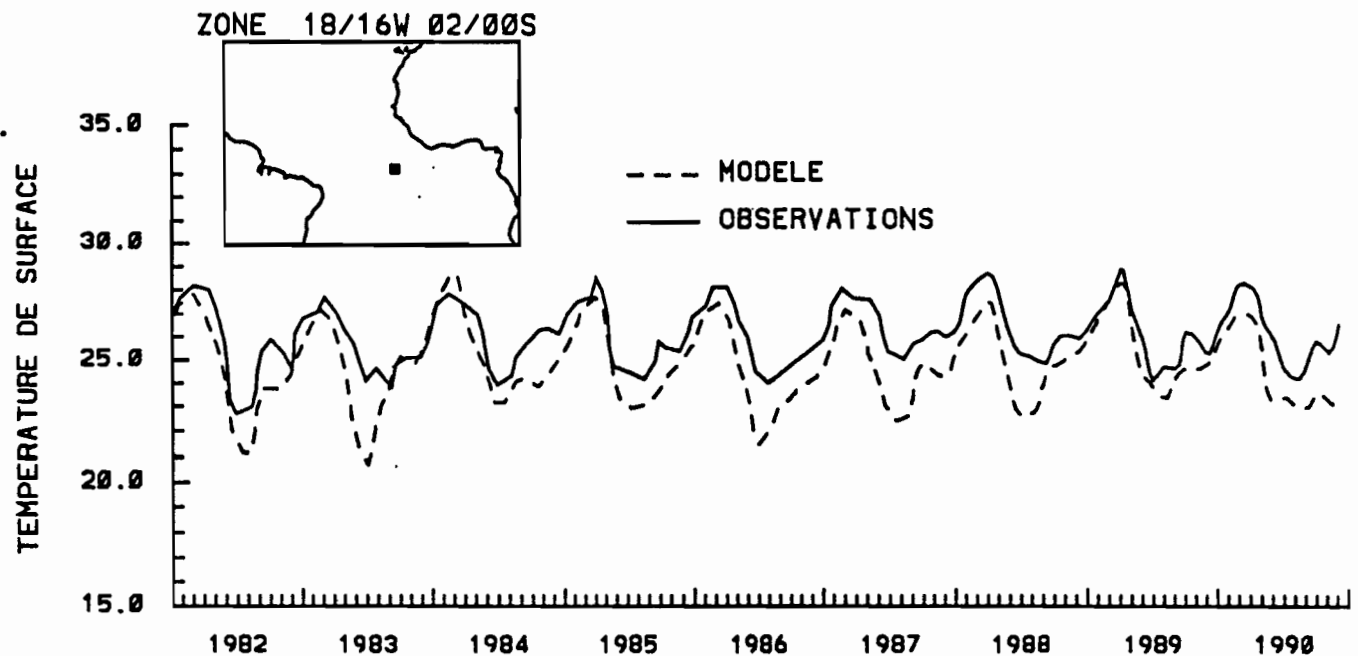
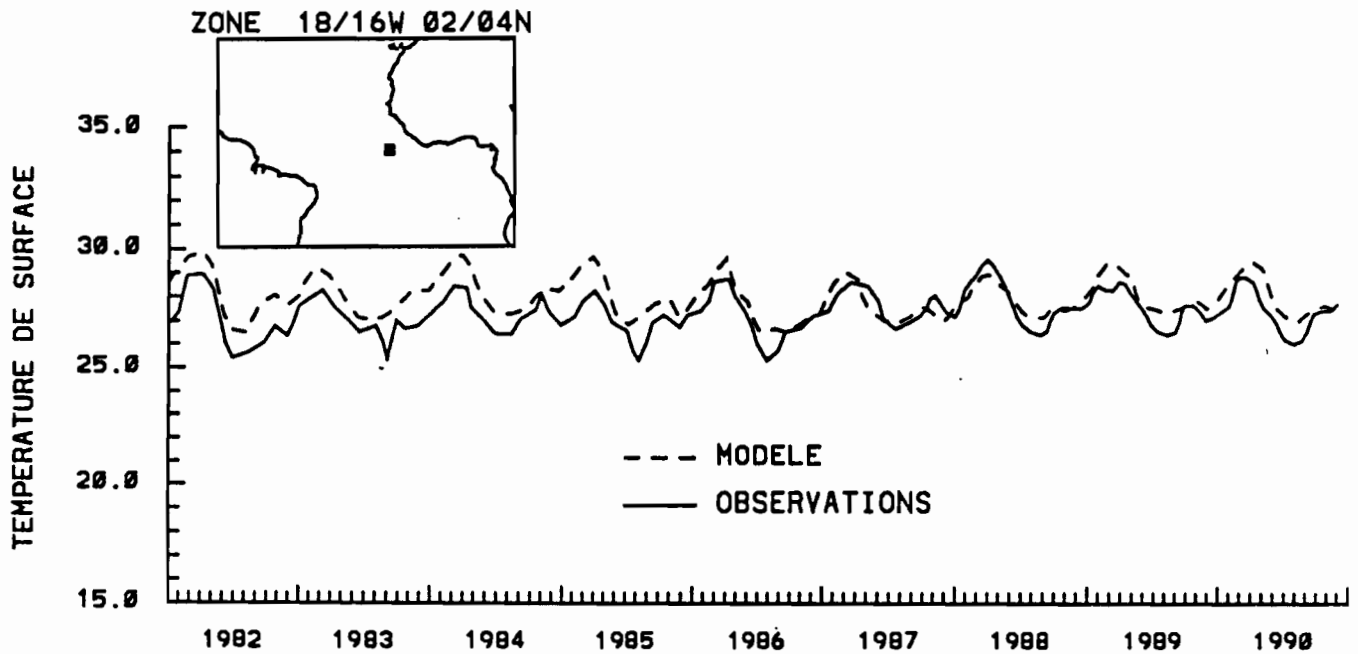
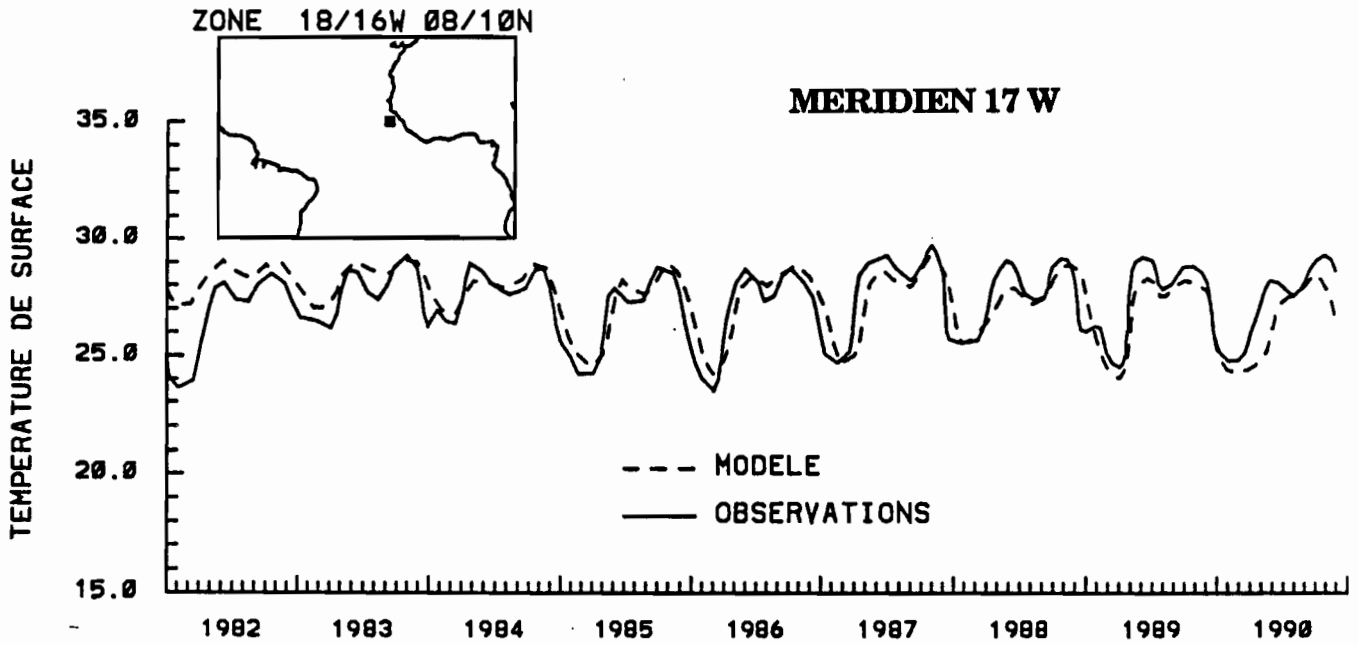
**SERIES TEMPORELLES (1982-1990)**  
**DE LA SST OBSERVEE ET SIMULEE**  
**POUR QUELQUES ZONES GEOGRAPHIQUES 2° X 2°**

p. 42 à 45



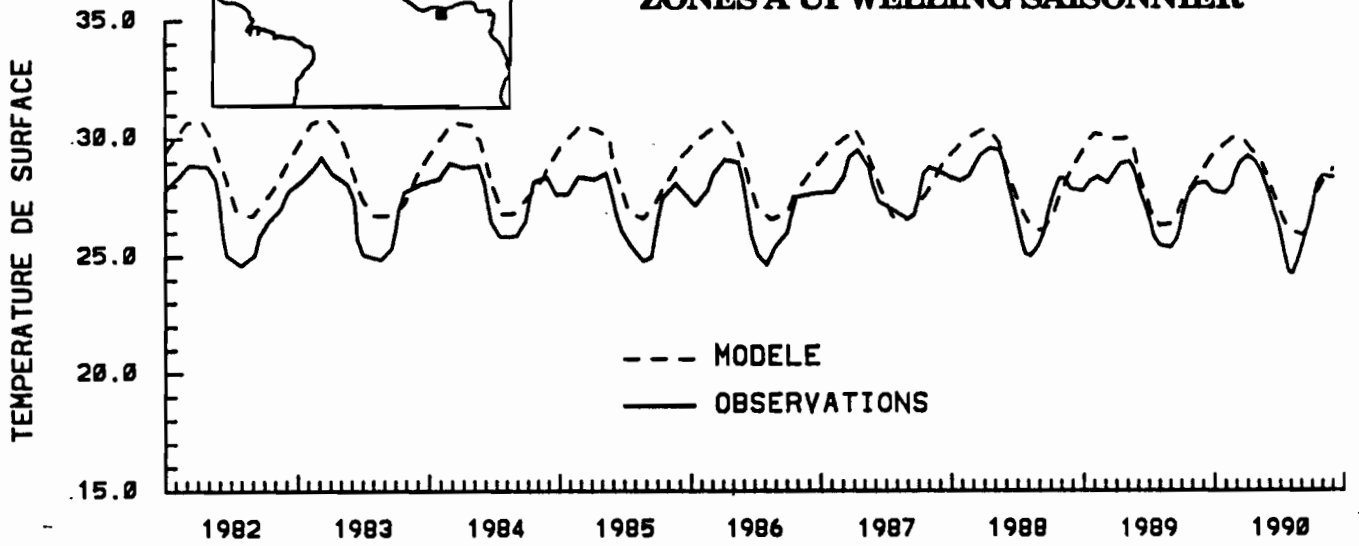
### CENTRE OUEST EQUATEUR



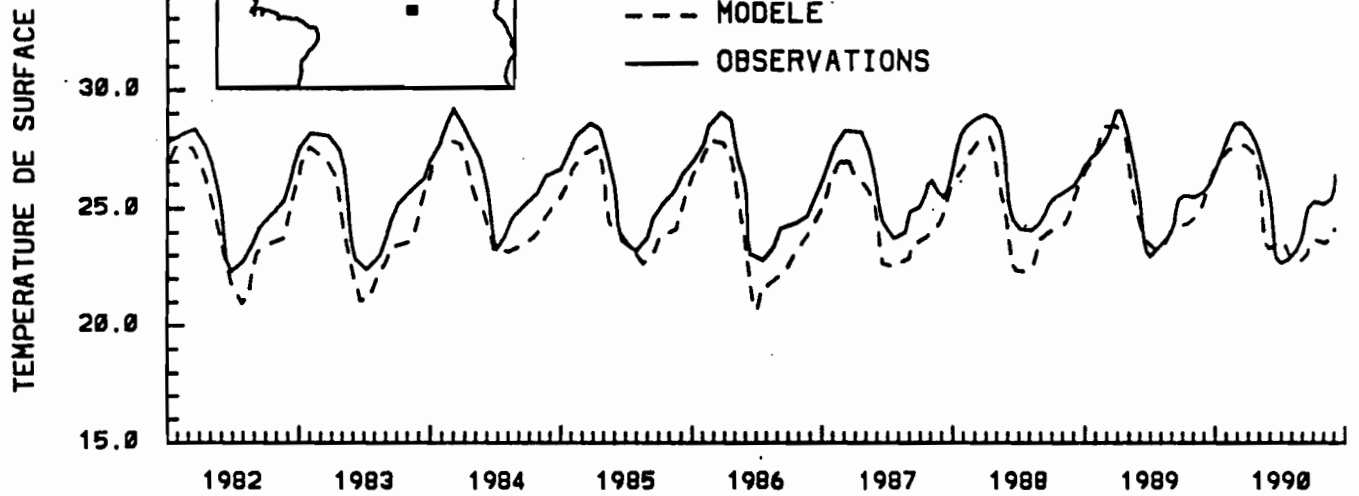


ZONE 04/02W 02/04N

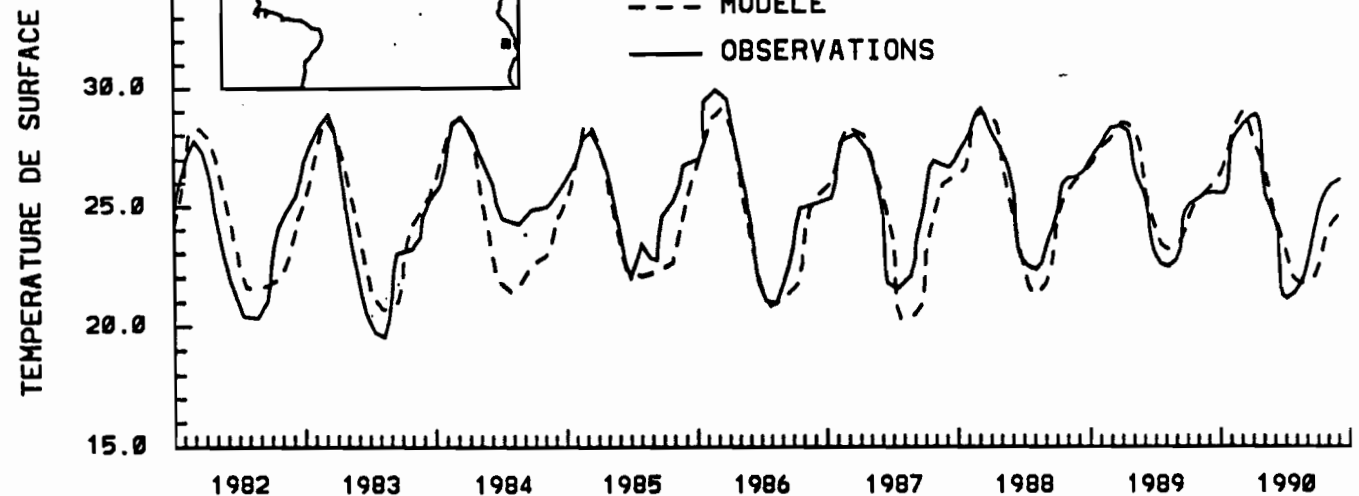
ZONES A UPWELLING SAISONNIER



ZONE 12/10W 02/00S



ZONE 10/12E 10/08S





**DIAGRAMMES ESPACE-TEMPS  
DES ANOMALIES DE SST LE LONG DE L'AXE EQUATORIAL**

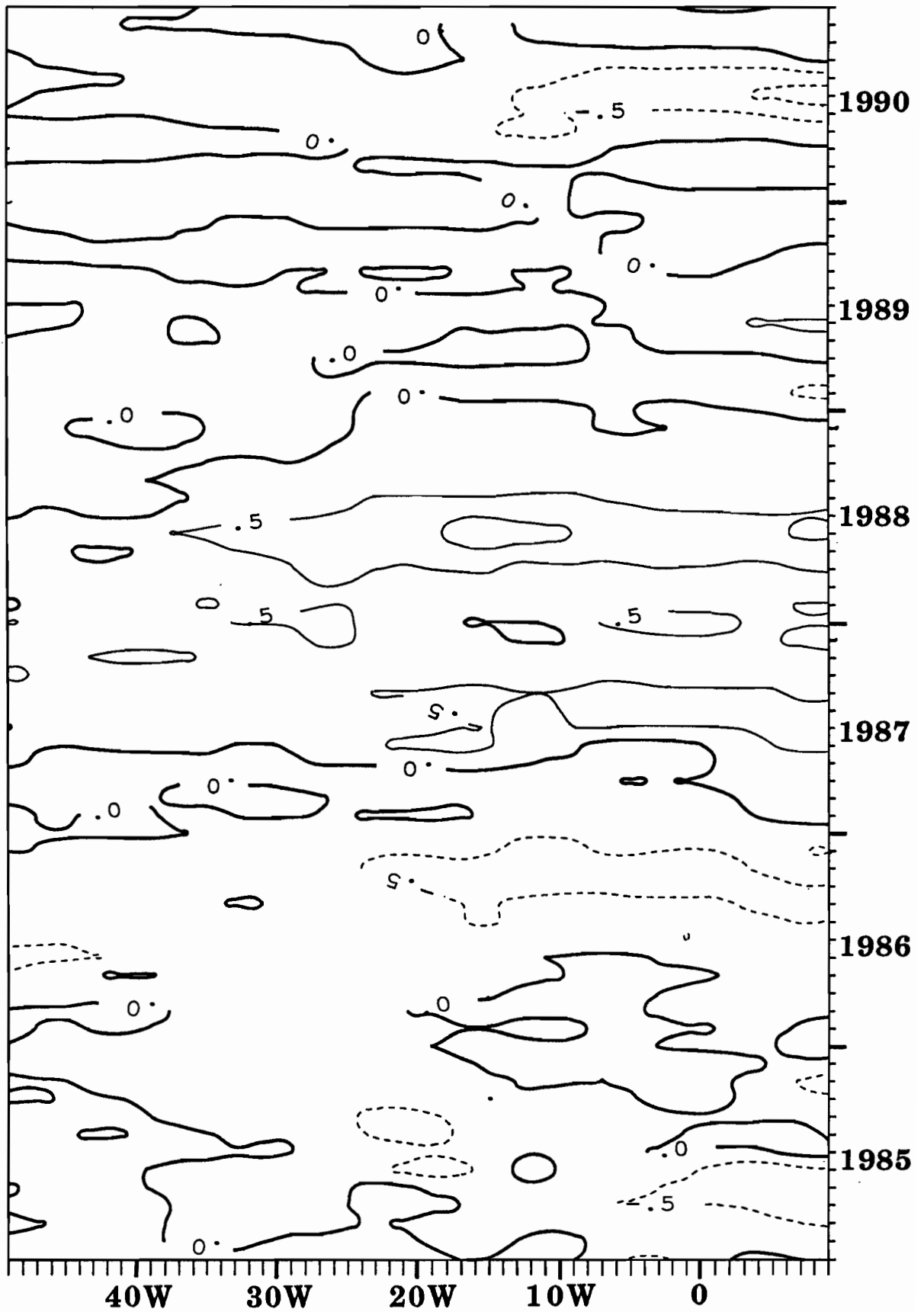
**DE JANVIER 1982 A DECEMBRE 1990**

**a) à partir des observations : p. 48**

**b) à partir des simulations : p. 49**



### SSTa OBSERVATIONS



### SSTa SIMULATIONS

