

**RAPPORT DE STAGE M1 ATMOSPHERE-OCEAN-CONTINENT**

**ANNEE 2008-2009**

**Mise en œuvre d'une méthodologie pour la caractérisation  
typologique de longues simulations issues des systèmes d'analyse et  
prévision MERCATOR**

PAR

MORGANE DESSERT ET TATIANA SAVRANSKI

Sous la direction de: Silvana BUARQUE et Nicolas FERRY

Période de réalisation: du 23 mars au 29 mai 2009

**Mercator Ocean**  
Parc Technologique du Canal  
8-10 rue Hermès  
31520 Ramonville St Agne



## **Remerciements**

A Monsieur Pierre Bahurel, Directeur du Groupement d'Intérêt Public (GIP) Mercator Ocean ainsi que tous les Mercatoriens pour leur accueil et pour l'ambiance agréable que nous y avons trouvé.

A Dominique Obaton, pour avoir autorisé la participation au Kick off de MyOcean et aux réunions de Service.

A Nicolas FERRY pour tous ses conseils et pour avoir prêté son guide de Ferret qui nous a beaucoup servi.

A Silvana BUARQUE pour sa disponibilité et son soutien et tous les bons moments passés à discuter.

A tous ceux qui nous ont aidé pour résoudre le problème du time\_counter : Stéphane, Bruno, Edmée, Olivier, Elisabeth, Mohnder et Bertrand.

A Mathieu pour ses interventions afin de répondre à nos questions d'informatique (et problèmes de mémoire).

A Nicolas pour l'installation des fonctions manquantes au début du stage.

A Elisabeth de s'être occupée du suivi de nos dossier tout au long du stage.

A Laetitia Mayeur pour s'être occupée des demandes d'entrée au CNES ce qui nous a permis de pouvoir y manger.

A tous ceux qui ont partagé nos repas au CNES ou nos pauses-café.

A ceux qui nous ont déposées au métro lorsque nous sortions trop tard pour le bus.



# Sommaire

Remerciements .....	3
Sommaire .....	5
Introduction .....	7
1. Problématique .....	9
1.1. La « re-analyse » ORCA2-SAM2 .....	9
1.2. Le système global 2° .....	9
1.3. Le Travail réalisé .....	9
1.3.1. Développements .....	10
1.3.2. Difficultés rencontrées .....	10
2. Résultats .....	10
2.1. La distinction entre les années dites « chaudes » et « froides » .....	10
2.2. L'importance du référentiel climatologique .....	11
2.3. Caractérisation de la réanalyse .....	13
2.3.1. Forçages événementielles climatiques: El Nino et La Nina Pacifique .....	13
2.3.2. Dans le bassin Atlantique .....	14
2.3.3. La réponse au forçage atmosphérique: le cas de la tempête de 1987 .....	16
Conclusions et perspectives .....	18
ANNEXES .....	22
ANNEXE 1 : Grille ORCA .....	24
ANNEXE 2 : TSM sur le Bassin Pacifique en fonction de différentes bandes de latitudes .....	25
ANNEXE 3 : TSM sur le Bassin Atlantique en fonction de différentes bandes de latitudes .....	26
ANNEXE 4 : TSM (moyenne annuelle) sur le Bassin Atlantique .....	27
ANNEXE 5 : Pacifique Température sur le Bassin Atlantique pour la surface et 216m .....	28
ANNEXE 6 : Hovmoller sur le Bassin Pacifique .....	29
ANNEXE 7 : Hovmoller sur le Bassin Atlantique .....	30
ANNEXE 8 : Hovmoller de l'anomalie de la TSM sur le Bassin Pacifique .....	31
ANNEXE 9 : Hovmoller de l'anomalie de la TSM sur le Bassin Atlantique .....	32
ANNEXE 10 : Hovmoller de l'anomalie de la TSM sur le Bassin Indien Ouest .....	33
ANNEXE 11 : Hovmoller de l'anomalie de la TSM sur la boîte climatique TNA .....	34
ANNEXE 12 : Gulf Stream : hovmoller de l'anomalie et profils temporels de T .....	35



## Introduction

Mercator Océan (MO) est un Groupement d'intérêt Public (GIP) placé sous la tutelle du ministère de la recherche et du ministère du budget et composé de six membres institutionnels français: IFREMER, IRD, CNES, CNRS, Météo-France et SHOM. Sa mission est de décrire et de prévoir l'état de l'océan en mode opérationnel. Acteur de plusieurs projets nationaux et internationaux liés à l'océanographie opérationnelle (GODAE, NEMO, EuroGOOS, etc.), MO a aujourd'hui la coordination du Projet Européen MyOcean (7ème PCRD) dont l'objectif est la définition et la mise en place d'une capacité européenne intégrée pour la surveillance, l'analyse et la prévision des océans. Les activités au sein de MO s'inscrivent dans deux pôles: le pôle Production, qui développe, exploite et maintient les systèmes d'analyse et de prévision, et le pôle Service qui expertise et diffuse les produits auprès des membres institutionnels et de divers clients privés et publics.

Depuis 2005, MO contribue à la prévision saisonnière de Météo-France opérée mensuellement en fournissant et qualifiant l'état océanique initial du système couplé ARPEGE-Climat. Il contribue également à la mise en œuvre du Bulletin Climatique Global (Buarque et al., 2008). Pour ce dernier, il est important que les diagnostics soient basés sur des anomalies par rapport à une référence climatologique modèle afin de s'affranchir des biais modèle. La «re-analyse» du système océan global à basse résolution appelé ORCA2-SAM2 (1980-2008) est la référence climatologique du système PSY2G2. Ce besoin est cependant commun à tous les prototypes/systèmes lorsqu'il s'agit de faire de la prévision. Il est ainsi important de disposer des outils génériques aptes à traiter statistiquement des longues séries. Dans le cadre de la valorisation de produits MO il a été développé une boîte à outils transportable appelée THOAD (Transparent Handling of Operational and Additional Data) apte à paramétrer des options relevant des caractéristiques des systèmes MERCATOR : prototype, domaine, variable, etc. En effet, Mercator Océan suit une méthodologie de travail dite QCD (Qualité Coût Délai) qui pose les règles d'amélioration continue applicable dans le monde industriel. Dans cet optique, on note systématiquement les problèmes rencontrés afin d'aller vers une quantification du "coût" des produits. L'objectif étant d'optimiser le triptyque QCD car l'amélioration d'un de ces composants est contradictoire avec celle des deux autres.

Pendant notre stage nous avons développé des scripts généralistes aptes à exploiter les longues simulations globales avec l'objectif de les intégrer dans la THOAD. L'application à la simulation longue ORCA2-SAM2 est aussi paramétrée en fonction de la période, des coordonnées spatiales (régions) et des variables. Notre analyse porte uniquement sur la température en 3D mais peut-être facilement étendue à celle d'autres paramètres.

Le rapport se présente en deux parties principales, la première développe la problématique du stage et la seconde présente les résultats. Les annexes du dossier sont riches afin de servir d'Atlas pour MO. Y sont rangés également deux autres thèmes de notre analyse.



## 1. Problématique

Au sein de Météo France, il se réunit un groupe d'expertise composé des différents acteurs de la prévision saisonnière : le CERFACS, Mercator Océan et le CNRM. Ce groupe se réunit tous les mois afin de mettre en place un Bulletin Climatique Global (BCG) multi-modèles<sup>1</sup>. Celui-ci porte sur la prévision saisonnière (notamment pour la France et les DOM TOM) utilisant une climatologie basée sur les années 1992-2007 ; et sur les biais du système ARPEGEclimat-ORCA2 utilisé pour la prévision. MO tient le rôle d'expert du point de vue de l'océan ce qui implique la fourniture mensuelle de diagnostics décrivant l'état de l'océan analysé et prévu afin d'initialiser le modèle couplé de Météo France.

Ces diagnostics doivent s'appuyer sur une référence climatologique issue du modèle, afin de s'affranchir des biais modèle et constituer une longue série temporelle. Les anomalies issues de différents systèmes peuvent présenter de tendances différentes. Cette tendance serait due à la différence des climatologies de référence. Pour étudier cette hypothèse, trois climatologies ont été mises en place, la première portant sur l'ensemble des années d'études, et les deux dernières portant sur deux tranches d'années, les plus éloignées et les plus récentes.

Le modèle utilisé pour les diagnostics est PSY2G2. Pour la mise en place de la climatologie, une ré-analyse de ce modèle a été effectuée pour la période donnée. Le traitement et la mise en forme de cette ré-analyse permettent la caractérisation de la simulation du système. Un premier travail a été de vérifier et valider les fichiers de données (leur nombre, leur nom, leur taille...). Puis, l'analyse de variables océaniques permet de caractériser la tendance, le cycle saisonnier et la variation interannuelle. L'utilisation des climatologies produites pourra enrichir cette analyse en quantifiant les écarts entre différentes climatologies.

La méthodologie mise en place au cours du stage pour la caractérisation sera généralisée au maximum afin de l'appliquer à d'autres paramètres, d'autres simulations et d'autres modèles (notamment la ré-analyse GLORYS). Celle-ci sera constituée de fonctions qui seront ajoutées à une boîte à outils (THOAD) déjà utilisée à Mercator.

### 1.1. La « re-analyse » ORCA2-SAM2

Mercator Océan produit des analyses et des prévisions en temps réel et différé. L'analyse est la résultante de l'assimilation de données qui consiste à combiner les observations avec les prévisions du modèle afin d'obtenir un champ continu 3D de l'état de l'océan. Le terme « re-analyse » est employé lorsque l'analyse porte sur une période passée mais qu'elle a été faite avec les outils actuels et plus performants. La « re-analyse » du système ORCA2-SAM2 assimile l'altimétrie, la Température de Surface de la Mer (TSM) journalière de Reynolds et des profils verticaux de température et salinité.

### 1.2. Le système global 2°

Le modèle global est basé sur le code OPA 8.2 (Madec et al., 1998). La résolution verticale est de 31 niveaux. La grille ORCA2 (Madec et al., 1996) n'est pas régulière. Elle est constituée horizontalement de 182 x 149 points, avec une résolution horizontale qui varie de 55 à 200 km dans l'hémisphère Nord (Annexe 1).

### 1.3. Le Travail réalisé

Le système d'exploitation utilisé est Linux. Les scripts de la boîte à outils THOAD sont en KornShell et constituent un enrobage à d'autres routines qui peuvent être écrites dans n'importe quel

---

<sup>1</sup> les modèles (couplé et forcé) de Météo France, les modèles de Japan Meteorological Agency (JMA), de Met Office, du Centre Européen de Prévisions Météorologiques à Moyen Terme (CEP), de l'International Research Institute for Climate and Society..

autre langage. THOAD est libre d'accès et d'écriture pour tous les 'Mercatoriens'. Les scripts créés pendant le stage sont ajoutées à cette boîte.

Les fichiers traités sont en NetCDF (Network Common Data Form) et répondent aux normes COARDS (Cooperative Ocean/Atmosphere Research Data Service). Il s'agit de fichiers comprenant des méta-données se présentant comme un tableau à plusieurs entrées dont les colonnes sont constituées des coordonnées de grille ORCA (I,J), les profondeurs (K) et les unités de temps (L) et les lignes par les variables. Les fichiers originaux sont des fichiers journaliers.

### ***1.3.1. Développements***

L'essentiel du développement a été fait en KornShell avec l'aide des commandes NCO (NetCdf Operators) et par programmation dans la boîte à outils Ferret ([www.nco.sourceforge.net](http://www.nco.sourceforge.net) et <http://ferret.pmel.noaa.gov/Ferret/>) pour la visualisation de données.

Le pré-traitement des données journalières consiste à paramétrer les noms et adresses de fichiers et à les valider. L'étape suivante constitue le calcul de la moyenne et de la variance mensuelle portant sur la période climatologique. Les calculs des moyennes mensuelles et annuelles ont été également nécessaires car la mémoire dont nous disposons ne permettait pas de travailler avec des fichiers journaliers pour de longues périodes.

Enfin, les développements pour la visualisation sont faits en généralisant les scripts à l'ensemble de variables, pour différentes coordonnées spatiales (régions) et intervalles de temps.

### ***1.3.2. Difficultés rencontrées***

La visualisation des fichiers n'a pas été triviale. En effet, dans les fichiers NetDCF le « time\_counter » doit correspondre à la période dans laquelle la donnée s'inscrit en nombre de secondes, e.g. pour une sortie modèle journalière il sera égal à 86400s. Si cela n'est pas le cas, la lecture de données avec Ferret présente une inversion aléatoire des coordonnées spatiales.

Nous avons remarqué également que le logiciel Ferret prenait en compte les continents lors des calculs (avec une valeur de température par défaut égale à 0°C). Le problème est réglé en fixant à zéro les variables à exclure dans les calculs.

De plus, la moyenne est pondérée par la surface de la maille. Cependant, il existe une inégalité dans la taille des mailles entre l'hémisphère Sud et hémisphère Nord (grille irrégulière). Ceci conduit à une dérive de la moyenne lorsqu'il s'agit d'intégrer l'hémisphère Nord.

## **2. Résultats**

Les résultats seront examinés selon une logique partant des échelles globales vers des échelles plus petites. Dans un premier temps, il s'agit d'examiner la variable océanique, ici, la température. Par ailleurs, les diagnostics reposent sur l'examen d'événements remarquables.

Nous nous avons attaché à l'analyse de la température car celle ci est un paramètre thermodynamique et biogéochimique fondamental pour décrire l'océan en 4D. De plus, les indicateurs climatiques sont majoritairement construits à partir de la température. La répartition de celle ci à la surface des océans permet de bien situer les différentes zones pilotant le couplage océan atmosphère à l'échelle globale, de disposer d'éléments de compréhension de la circulation globale.

### **2.1. La distinction entre les années dites « chaudes » et « froides »**

Actuellement, la climatologie PSY2G2 utilisé dans le BCG porte sur la période 1992-2007. La climatologie utilisée par le Climate Prediction Center (CPC, <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>) porte sur la période 1971-2000 (Smith and Reynolds, 1998). Lors de comparaisons entre les anomalies

issus de PSY2G2 (plus généralement celles de produits MO) et celles issues du CPC, il arrive qu'on remarque des différences régionales significatives qui peuvent être attribuées à tort aux différences de périodes climatologiques. Plus précisément les écarts seraient dus aux différences entre les périodes dites « chaudes », concernant les dernières années et notamment intégrant le El Nino 1997-98, et celles dites « froides », intégrant les années précédant la décennie 90. Afin de nous affranchir de ce problème il est important de quantifier les différences dues au changement de période climatologique.

L'observation de la série temporelle des moyennes globales et mensuelles (Annexes 2 et 3) de la TSM ne permet pas de dégager une tendance. L'étude s'est alors portée sur différentes latitudes et différents bassins pour des moyennes annuelles (pour s'affranchir des variations saisonnières).

Dans le bassin Pacifique (Figure 1), les moyennes hémisphériques (0 :50 N et 50 S :0) portent la signature des phénomènes « El Nino » et « La Nina ». Entre 15N et 25N, la tendance au réchauffement est plutôt bimodale avec un minimum de la TSM correspondant à la Niña (en 1998-99). La présence d'une tendance monotone au réchauffement est observée dans les latitudes subtropicales avec un léger minimum dans l'hémisphère Nord entre 1992 et 1997. Par ailleurs, on remarque que pour les hautes latitudes, entre 40° et 50°, l'HN est plus froid que l'HS. En effet, surtout pour ces latitudes, l'HN est plus touché par le réchauffement climatique que l'HS. Ceci se traduit par une fonte des glaces plus importantes et donc un refroidissement de l'eau (confirmé par le GIEC). Une autre hypothèse peut expliquer cette différence de température. La présence des masses continentales en HN conditionne un air plus sec ce qui favorise l'évaporation lors du passage de perturbations au dessus des océans entraînant un refroidissement accru de l'eau en surface et subsurface. Si on regarde la température pour ces mêmes zones en profondeur (216m), on remarque que la différence de température entre HN et HS s'accroît encore (Annexe 5). Ceci confirme l'hypothèse de la fonte des glaces: l'eau froide plus dense plonge et refroidit l'océan en profondeur. Alors que dans le cas d'un brassage par le vent, la couche de surface présenterait une température plus froide qu'à 216m. Aucune tendance n'est observée.

Dans le bassin Atlantique (Annexe 3), les tendances au réchauffement se trouvent sur la bande équatoriale (5N:5S) pour les plus remarquables et dans les subtropiques (25:35N). Dans les hautes latitudes, l'HN est beaucoup plus chaud que l'HS. Cette différence peut être due à la redistribution d'énergie du Gulf Stream. Aucune tendance bimodale n'est observée clairement.

La comparaison entre les deux bassins met en évidence que les événements « El Nino » Atlantique (1984 – 1988 – 1998) surviennent dans les 12 mois suivants les événements « El Nino » Pacifique.

Une tendance de réchauffement ne s'observe pas de manière globale mais est remarquable pour certaines régions (notamment le Pacifique). Les critères de choix pour la séparation entre les années chaudes et froides portent sur les caractéristiques du bassin Pacifique, d'une part (i) les années précédant le « El Nino » 1997-98, et de l'autre (ii) le minimum séparant la tendance au réchauffement observé dans les latitudes subtropicales dans l'HN. De plus, afin de rester statistiquement cohérentes, nous avons choisi deux périodes portant sur le même nombre d'années. La séparation de la série sera faite pour l'année 94.

## 2.2. L'importance du référentiel climatologique

Les diagrammes de Hovmoller pour l'anomalie de la TSM portent sur la période 1980-2008 pour la bande équatoriale comprise entre 5S et 5N. Ils ne dégagent pas de différences sensibles pour les bassins Pacifique et Indien (Annexes 6 et 8). Par contre, le bassin Atlantique présente des différences en moyenne de l'ordre de 0.5° entre les climatologies basées sur les années (1980-1994) et (1994-2008) pour certaines périodes (Annexe 9) notamment pour les années les plus récentes. La période sélectionnée couvre les années de 2004 à 2008.

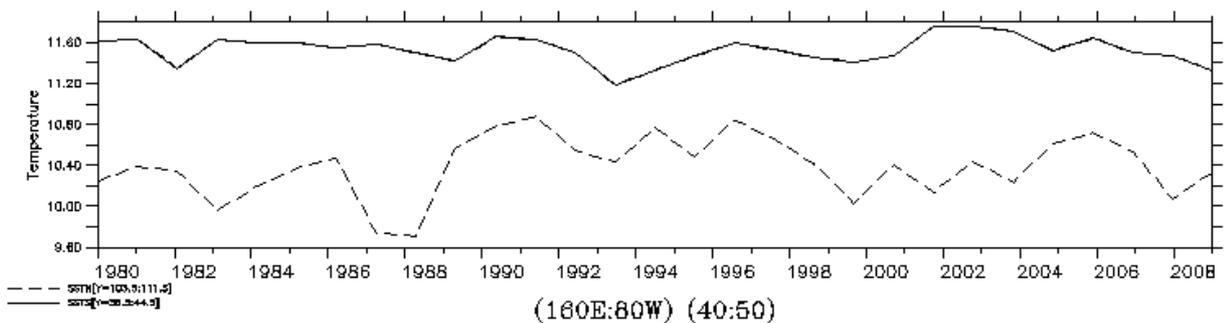
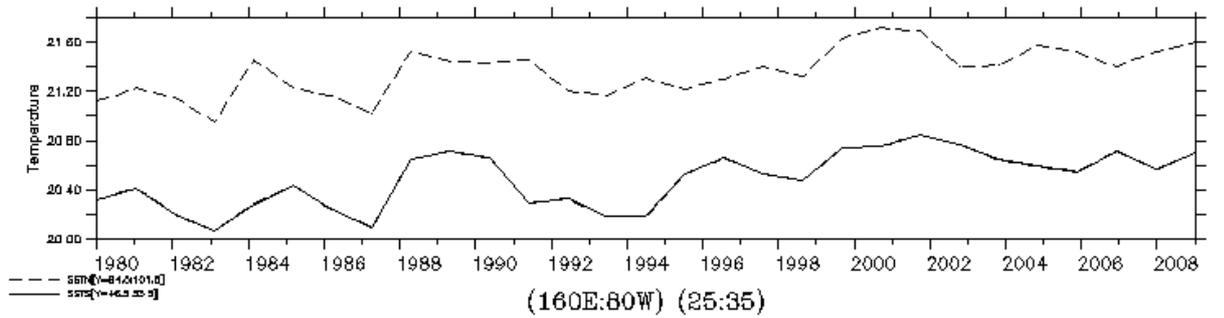
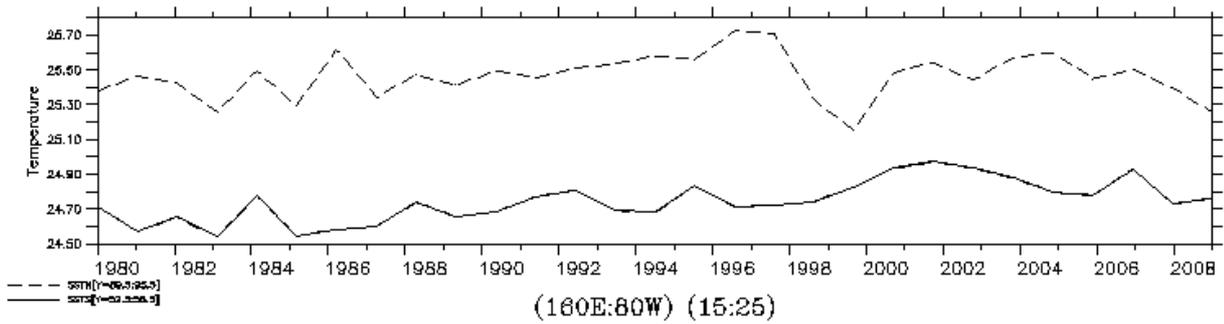
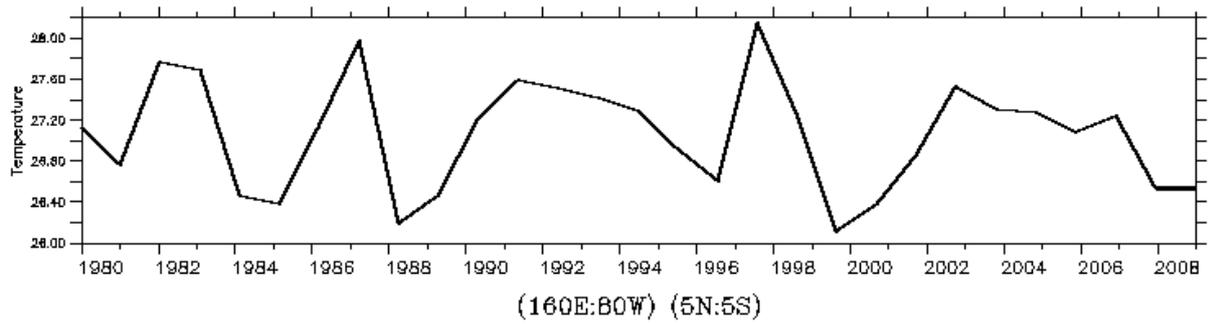
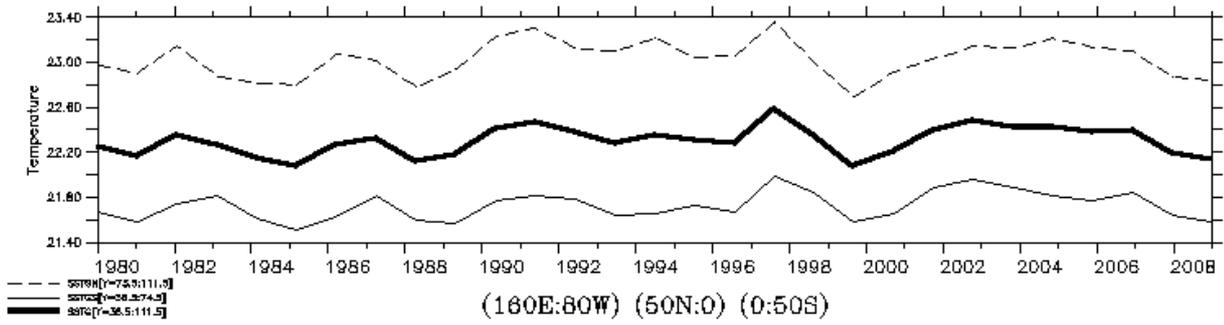
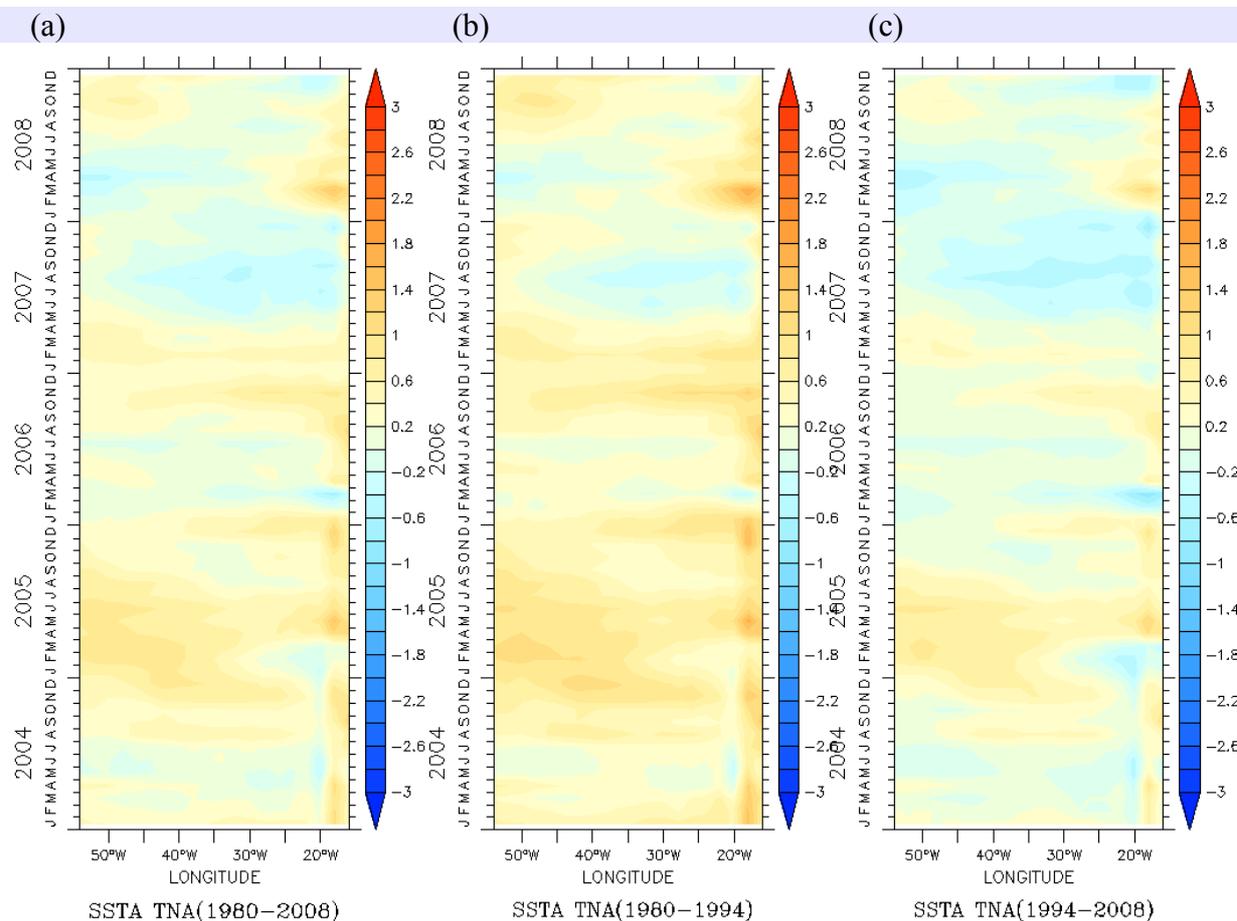


FIGURE 1: SERIE TEMPORRELLE DE MOYENNES ANNUELLES DE LA TSM(°C) DANS LE BASSIN PACIFIQUE POUR DIFFERENTES BANDES DE LATITUDES. POUR TOUTES LES FIGURES : HN \_\_\_\_\_ HS \_\_\_\_\_

Les trois graphiques sont différents. Sur la Figure 2.c, l'anomalie est moins marquée ce qui est normale puisque la climatologie se reporte aux années chaudes. L'inverse est observé sur la Figure 2.b.

Pour des observations globales, la séparations des années chaudes et froides pour la réalisation de différentes climatologie ne semble pas justifiée. Cependant, pour certaines régions du globe, la comparaison des anomalies issues des trois climatologies montre des différences. La séparation en années chaudes et froides semble pertinente pour des analyses ou prévisions à échelle régionale.



**FIGURE 2:** HOVMOLLER DE L'ANOMALIE DE LA TSM(°C) DANS LA BOITE TNA (5N:25N) POUR DIFFERENTES CLIMATOLOGIES

### 2.3. Caractérisation de la réanalyse

La caractérisation de la réanalyse se fait par le repérage d'événements climatiques passés. Dans une première partie, l'étude se porte sur les événements ENSO dans le bassin Pacifique à différentes échelles. En second, celle-ci s'étendra à l'activité cyclonique du Bassin Atlantique où les événements ENSO ont aussi un impact important. Puis dans une troisième partie, les événements observés seront examinés en termes de réponse au forçage atmosphérique. Elle portera sur une tempête régionale (dans le Golfe de Gascogne).

#### 2.3.1. Forçages événementielles climatiques: El Nino et La Nina Pacifique

L'observation des épisodes El Nino et La Nina se fait habituellement dans deux boites climatiques : El Nino1+2 ( 90°W 80°W 0°N 10°S) et El Nino 3.4 ( 170°W 120°W 5°N 5°S). Le phénomène à observer est le déplacement de l'anomalie d'eau chaude en subsurface<sup>2</sup> de l'Ouest vers l'Est pour El Nino (Annexe 8). L'anomalie réchauffe la surface à l'est du bassin et est donc visible par l'étude de

<sup>2</sup> Jean Francois Minster, La Machine Ocean

la TSM. Pendant les années El Nino, l'anomalie, après avoir traversé le bassin, parvient en surface par l'upwelling le long des côtes du Pérou (au niveau de la boîte 1+2) puis se propage en surface vers le centre du Pacifique (jusque dans la boîte 3.4). Simultanément, la thermocline s'enfonce à l'est et s'élève à l'ouest. La boîte 1+2 permet donc d'apercevoir le début de l'événement El Nino par l'anomalie positive de la TSM et la boîte 3.4 indique la maturité de El Nino: c'est à dire son expansion vers l'Ouest du Pacifique. L'événement La Nina succède l'événement El Nino. Tout comme pour l'événement El Nino on l'observe dans les boîtes climatiques caractérisant l'anomalie de la TSM mais cette fois ci il s'agit d'observer des anomalies négatives. En subsurface on observe à l'est du bassin une diminution de l'épaisseur de la couche de mélange qui souvent vient même « crever » la surface.

Pour bien visualiser les événements El Nino et La Nina, un hovmoller de TSM et de profondeur de l'isotherme 20C (figurant la thermocline) a été créé pour la période de 29 ans sur la bande équatoriale du Pacifique (Annexe 6, y figure également un hovmoller de la TCHP). Pour une observation plus détaillée, l'étude se concentrera sur une période de cinq ans : de 1985 à 1989 (Figure 3) pendant laquelle a lieu un événement El Nino suivi d'un événement La Nina.

Le phénomène El Nino se remarque d'abord sur les graphiques concernant la profondeur de la D20: sur la boîte 1+2, la D20 s'enfonce à partir de l'hiver 1986-87 ; sur la boîte 3.4, le basculement de celle-ci se remarque vers le printemps 1987. Sur les graphiques concernant la TSM, on observe également un réchauffement important dans la boîte 1+2 entre janvier et mai 1987. La boîte 3.4 montre également le changement de température (réchauffement à l'Est et refroidissement à l'Ouest) à partir de l'été 1987.

Le phénomène La Nina se déroule l'année suivante. Il est de la même manière bien visible sur les graphiques. La D20 s'atténue et disparaît à partir de l'été 1988 dans la boîte 1+2. Dans les deux boîtes la TSM se refroidit dès l'été 1988.

Les deux événements La Nina et El Nino sont bien retranscrits par le modèle PSY2G2.

### ***2.3.2. Dans le bassin Atlantique***

Les phénomènes El Nino et La Nina ont des répercussions sur les autres océans, notamment en Atlantique, et sur le climat du globe. En effet, il existe au niveau du Mexique une piscine d'eau chaude (appelée Western Hemisphere Warm Pool) (Wang et al. 2007). Pendant l'hiver, l'eau à cet endroit est refroidie par des vents de Nord Est (les Alizées). Au printemps, la WHWP se développe à l'ouest de l'Amérique centrale. Puis, grâce à un « pont atmosphérique », elle se propage dans l'Atlantique. Pendant les périodes El Nino, les Alizées sont affaiblies : le réchauffement de la WHWP est renforcée. Cependant, ceci n'est observé que pour certaines années, lorsque l'événement El Nino est suffisamment long (s'il tarde au delà de Mars). La boîte climatique d'observation de ce phénomène est la boîte TNA (Tropical North Atlantique) ayant pour coordonnées 56W-16W et 25N-5N. Cette boîte permet également d'observer l'activité cyclonique de l'hémisphère Nord. En effet, c'est à cet endroit, pendant une période de juin à octobre, que des perturbations, pompant de l'énergie dans l'océan, s'amplifient et peuvent donner naissance à des cyclones (Trenberth and Shea, 2006). Pour connaître la réserve d'énergie dont dispose l'océan, on calcule un paramètre nommé TCHP (Tropical Cyclone Heat Potential) (Shay et al., 2000).

Sur le hovmoller de 29 ans présentant l'anomalie de TSM (Annexe 9), on remarque des événements anormalement chauds en plusieurs années : on retient les plus importants 1998 et 2005.

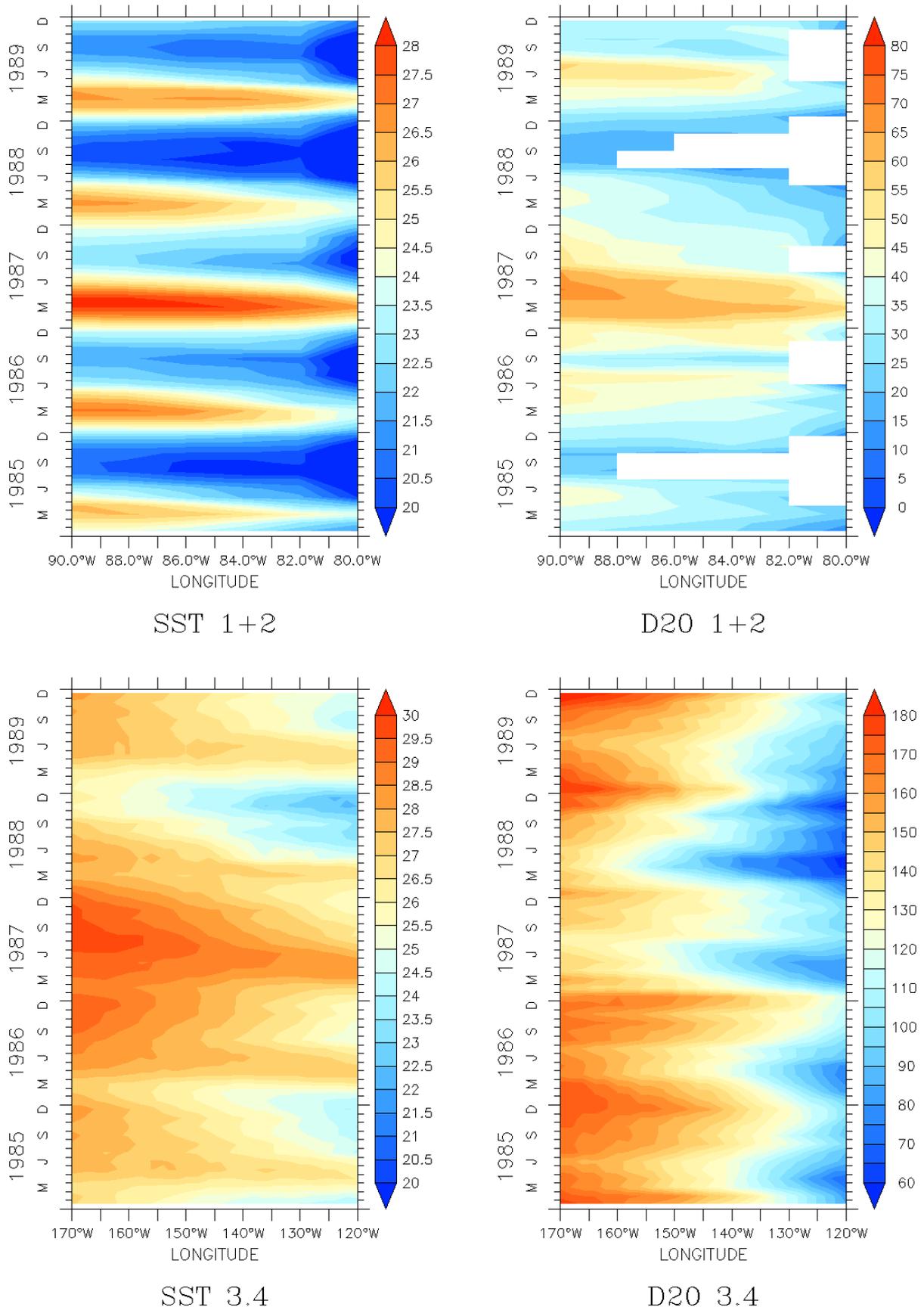
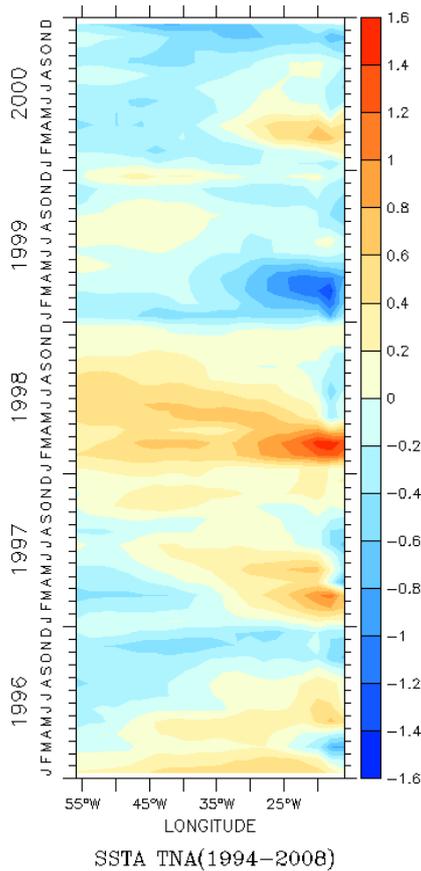
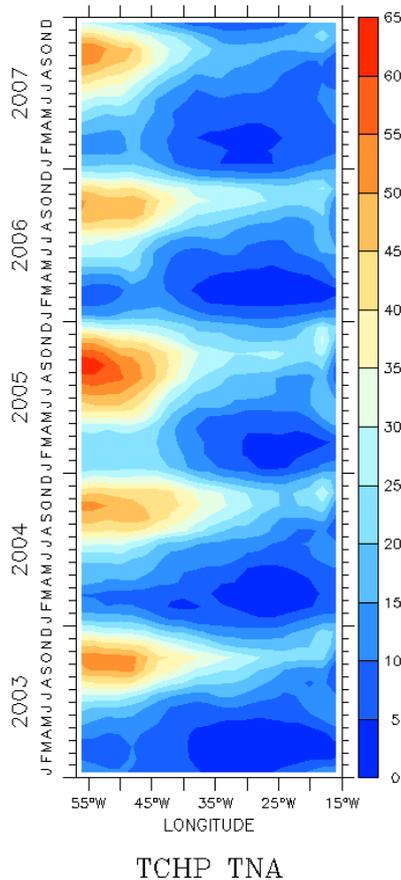


FIGURE 3 : HOVMÖLLER DE TEMPERATURE (°C) ET DE D20 (M) POUR LES BOITES 1+2 ET 3.4



SSTA TNA(1994-2008)

FIGURE 4 : HOVMÖLLER DE L'ANOMALIE DE LA TSM(°C).



TCHP TNA

FIGURE 5 : HOVMÖLLER DE LA TCHP(J).

L'étude précédente de l'Océan Pacifique a révélé un événement El Nino très important et long pendant l'année 1998 (visible sur l'Annexe 6). Pour mettre en évidence l'influence de l'événement El Nino Pacifique sur la warm pool Atlantique, on étudie un hovmoller d'une période plus courte centré sur l'année 1998 (Figure 4). On y observe bien une anomalie au début du printemps, ce qui caractérise un réchauffement inhabituel de la WHWP.

L'anomalie de 2005 est moins importante et d'une période plus longue. Cette année a été particulièrement cyclonique (Katrina, Stan, Wilma, Rita, ...). Sur la Figure 5, on observe un hovmoller de TCHP pour la zone TNA. La valeur de celui-ci est remarquable pour les mois de l'été et de l'automne, saison de la formation cyclonique.

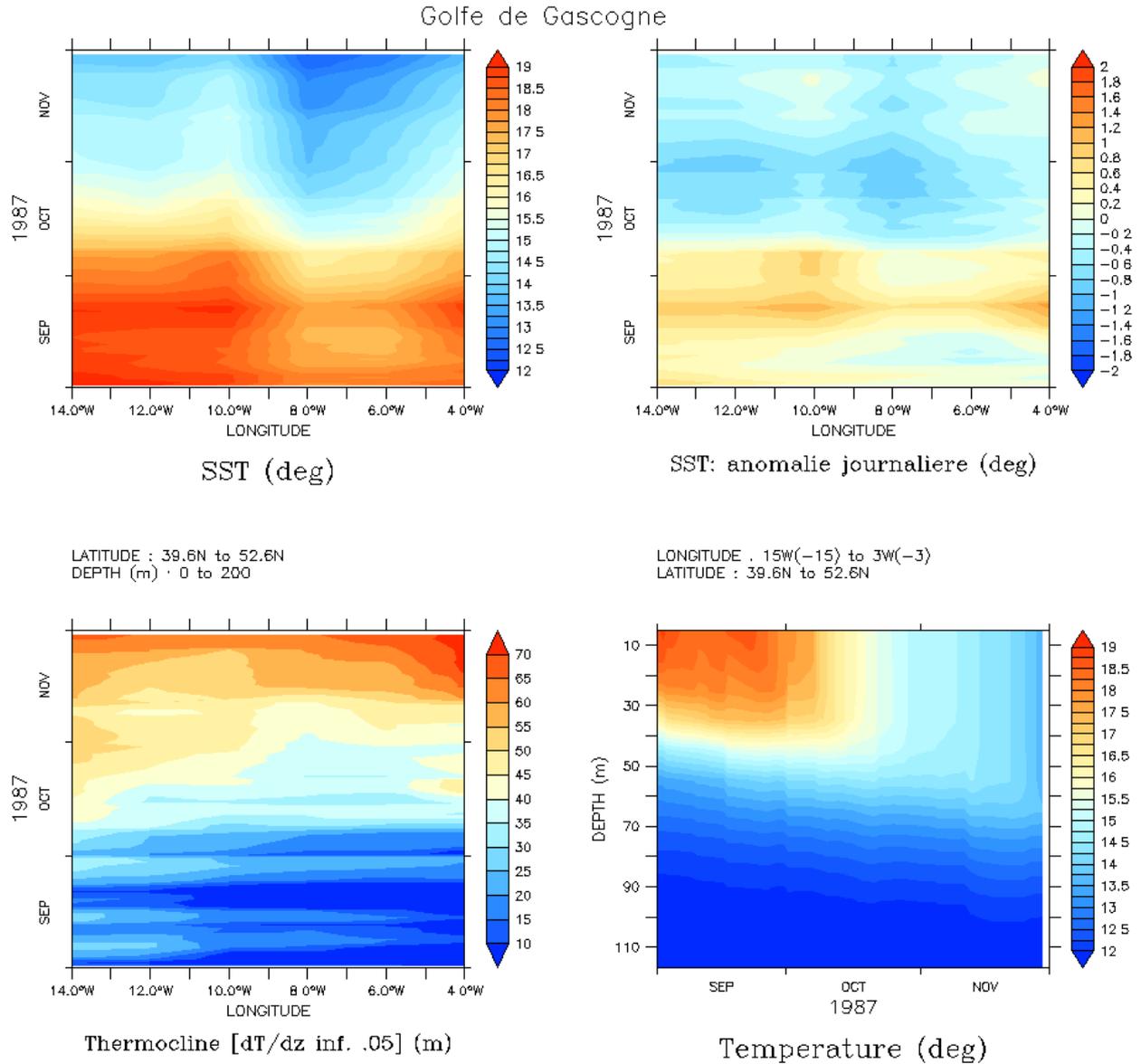
L'étude du Bassin Atlantique permet de mettre en évidence la prise en compte par le modèle de la connexion entre les Océans Atlantique et Pacifique et de l'impact de l'activité cyclonique.

### 2.3.3. La réponse au forçage atmosphérique: le cas de la tempête de 1987

La Figure 6 concerne une zone définie par les coordonnées suivantes : 40-51 °N et 14-4 °W représentant le golfe du Gascogne pour les mois de septembre, octobre et novembre 1987.

Le premier graphique (en haut à gauche) est un hovmöller de SST (pour lequel on a moyenné sur les latitudes). De la même manière, le second graphique (en haut à droite) est un hovmöller de l'anomalie de SST. Ces deux graphiques permettent de mettre en évidence une température de l'eau élevée (entre 17,5°C et 18,5°C soit environ 1°C supérieure à la moyenne) pour le mois de septembre et octobre. Cette température chute brutalement (de 17°C à 14,5°C) pendant le mois d'Octobre pour devenir anormalement faible (en fin octobre : 1°C de moins que la moyenne). Ceci identifie bien la tempête du 15-16 Octobre 1987.

Le graphique en bas à gauche est un hovmöller de profondeur de la thermocline et le graphique à sa droite représente la température moyenne de la zone (moyennée sur les longitudes et les latitudes) en fonction de la profondeur et du temps. La couche de mélange océanique a une épaisseur de inférieure à 40 mètres pendant le mois de septembre et le début du mois d'octobre. Cette épaisseur devient soudain plus importante (vers mi Octobre- fin Octobre), atteignant 65 m en novembre. Cet épaissement de la couche de mélange est du au forçage par le vent dont la vitesse a atteint à certains endroits (à terre) la valeur de 180 km/h (Pierre Bessemoulin, 2002) et qui vient casser la stratification initialement observé dans la couche de mélange.



**FIGURE 6 :** ETUDE DE LA TEMPETE D'OCTOBRE 1987 : GRAPHIQUES DE LA TSM, ANOMALIE(1980-2008) DE LA TSM, PROFONDEUR DE LA THERMOCLINE ET PROFIL DE TEMPERATURE EN FONCTION DU TEMPS.

Ce diagnostic met en évidence la bonne réponse aux forçages atmosphériques (vent) du modèle PSY2G2 par la rapidité et la finesse du changement de température malgré le petit nombre de maille (seulement 49 points de grille).

## Conclusions et perspectives

La première partie du travail a consisté à mettre en forme trois climatologies prenant en compte toute la série temporelle pour la première (1980-2008), et des années dites « froides » (années 80) et « chaudes » (à partir des années 90) pour les deux autres. Les expressions « froides » et « chaudes » sont souvent employées dans le jargon de climatologues et météorologues mais peuvent concerner davantage les continents. Des anomalies mensuelles ont été quantifiées par rapport à chaque climatologie. Afin de séparer les années chaudes des années froides on a examiné la tendance de la température de manière globale, puis pour des régions différentes. Cela nous a permis de partager en deux la série de 29 en considérant d'une part (i) les années précédant le « El Nino » 1997-98, et de l'autre (ii) le minimum séparant la tendance au réchauffement observé dans les latitudes subtropicales dans l'HN. De plus, afin de rester statistiquement cohérentes, nous avons choisi deux périodes portant sur le même nombre d'années. La séparation de la série a été faite pour l'année 94.

L'anomalie de la TSM a mis en évidence que le bassin Atlantique présente des différences en moyenne de l'ordre de  $0.5^{\circ}$  entre les climatologies basées sur les années (1980-1994) et (1994-2008) pour certaines périodes (Annexe 9) notamment pour les années les plus récentes.

Une deuxième partie du travail s'est concentré sur la caractérisation de la série temporelle. Cela permettra plus aisément la valorisation du modèle. Grâce à la visualisation de différents événements, il a été possible de montrer que PSY2G2 modélise bien l'état de l'océan. De plus, il prend en compte les forçages climatiques et atmosphériques. L'étude uniquement basée sur la température a permis, sans même utiliser l'anomalie, une analyse cohérente.

Notre travail s'inscrit dans une méthodologie applicable dans le monde industriel (QCD) et répond aux demandes des utilisateurs. La méthodologie mise en place au cours du stage a été faite de façon à être la plus générale possible. Ainsi, elle sera applicable à d'autres modèles, d'autres périodes, d'autres régions et étendue à d'autres paramètres.

D'un point de vue plus personnel, ce stage a été une des premières expériences dans le monde du travail. Par la recherche bibliographique, nous avons pu enrichir nos connaissances dans le domaine de l'océanographie, plus généralement sur le climat, mais également dans le domaine de l'informatique (programmation en différents langages). De plus, nous avons pu choisir notre méthode de travail, notre plan de progression, ce qui nous a laissé plus de liberté. Nous avons pu observer les applications de notre travail lors d'une rencontre avec Dr Karim HILMI, chercheur en Océanographie, à propos d'un problème de pêche au Maroc. Ceci nous a confirmé l'utilité de notre travail.

Nous avons pu participer à la vie 'Mercatorienne', lors de réunions et de rencontres avec d'autres employés de MO et être confrontées aux règles de l'entreprise (délai et planification à respecter). Mercator Ocean coordonne un projet qui regroupe 26 pays : MyOcean. Le lancement a eu lieu pendant le stage ce qui nous a permis de découvrir l'agencement d'un grand projet international. Une d'entre nous a eu l'opportunité de participer au « KICK OFF MyOcean ».

Chacune d'entre nous a pu pendant ces deux mois de stage renforcer son intérêt pour l'océanographie en retenant des différents aspects selon ses préférences et fixer ses choix d'orientation pour l'avenir.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

De Mey and Benkiran, 2002 : A multivariate reduced-order optimal interpolation method and its application to the Mediterranean basin-scale circulation, In Ocean Forecasting, Conceptual basis and applications, N. Pinardi and J.D. Woods, Eds., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 472pp.

Gustavo J. Goni and J.A. Trinanes, 2003: Ocean Thermal Structure Monitoring Could Aid in the Intensity Forecast of Tropical Cyclones, EOS, Transactions American Geophysical Union, VOL. 84, NO. 51, p. 573

Madec, G., and M. Imbard, 1996: A global ocean mesh to overcome the North Pole singularity. *Climate Dynamics*, 12, 381-388.

Madec, G., P. Delecluse, M. Imbard, and C. Lévy, 1998: OPA 8.1 Ocean General Circulation Model reference manual. Note du Pôle de modélisation, Institut Pierre-Simon Laplace, N°11, 91pp

Monterey, G., and S. Levitus, 1997: Seasonal variability of mixed layer depth for the World Ocean. NOAA Atlas, NESDIS 14, 100, Washington, D.C.

Ramos Buarque, S., Cassou C., Gueremy J-F and Charon I., 2008: The “*Bulletin Climatique Global*” of Météo-France: a contribution of Mercator-Ocean to the seasonal prediction of El Niño 2006-07. Newsletter #26 ...

Chang, Y., A. J. Rosati, S. Zhang, and M. J. Harrison, 2009: Objective analysis of monthly temperature and salinity for the world ocean in the 21st century: Comparison with World Ocean Atlas and application to assimilation validation, *J. Geophys. Res.*, 114, C02014.

Carton J.A. and Giese B.S., 2008: A Reanalysis of Ocean Climate Using Simple Ocean Data Assimilation (SODA)

de Boyer Montégut, C., G. Madec, A. S. Fischer, A. Lazar, and D. Iudicone, 2004: Mixed layer depth over the global ocean: an examination of profile data and a profile-based climatology, *J. Geophys. Res.*, 109, C12003, doi:10.1029/2004JC002378

Grist J.P. and Josey S.A., 2003: Inverse Analysis Adjustment of the SOC Air<sub>2</sub>Sea Flux Climatology Using Ocean Heat Transport Constraints

Mounir Benkiran et Nicolas FRERRY, Lettre n°13 trimestrielle de Mercator, 2004

Lee et al, 2008: “Why do some El Nino have no impact on Tropical North Atlantic SST ?” *Geophysical Research Letters*, vol. 35, L16705.

Trenberth and Shea, 2005: “Atlantic Hurricanes and natural variability in 2005”, *Geophysical Research Letters*, vol. 33, L12704

Ping et al. 1997: “A decadal climate variation in the Tropical Atlantic Ocean from thermodynamic air-sea interactions”, *Nature*, vol. 385

Endfield et al. 1999: “How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic Sea Surface Temperature?”, *J. Geophysical Research*, vol. 104.

Cassou Christophe, 2004 : “Du changement climatiques au regime des temps : l’oscillation Nord-Atlantique”, *La Météorologie*, n°45.

Cassou Christophe, 2008: « Intraseasonal interaction between the Madden-Julien Oscillation and the North Atlantic Oscillation », *Nature*, vol. 455.

Alexander et al. 2002: “The atmospheric Bridge : The influence of ENSO Teleconnections on Air-Sea interaction over the global Oceans”, *American Meteorological Society*, p 2205-2231.

Mariotti et al. 2002: “Euro-Mediterranean rainfall and ENSO – a seasonally varying relationship”, *Geophysical Research Letter*, vol. 29.

4<sup>ème</sup> Rapport du GIECC, GROUPE I, 2007

Karen GUIHOU, Rapport de stage « NCO et Ferret »

Articles issus des Annales des Mines 2002 :

« Les tempêtes en France » Pierre Bessemoulin

« Le changement climatique et la probabilité des tempêtes sur l’Atlantique Nord » par Serge PLANTON.

Jean Francois Minster, “La machine Océan », 1999, ISBN : 2-08-081427-3



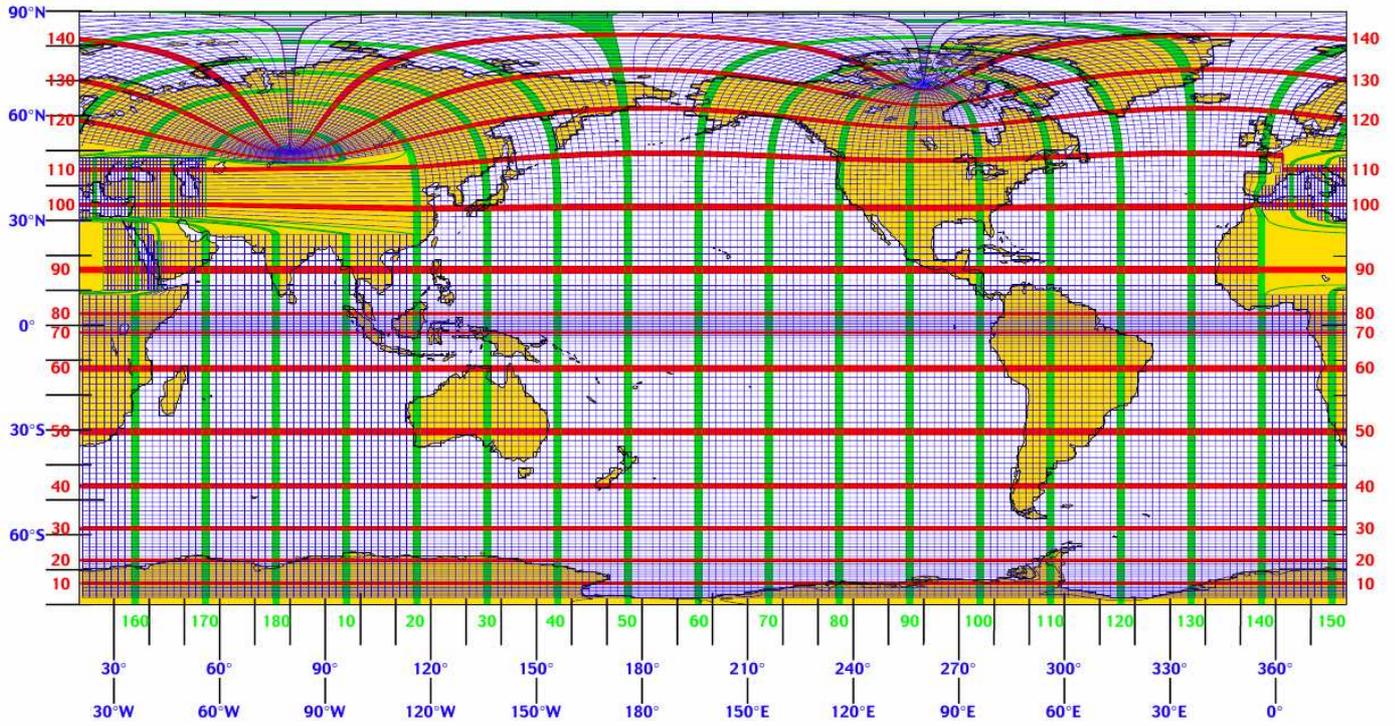
# **ANNEXES**



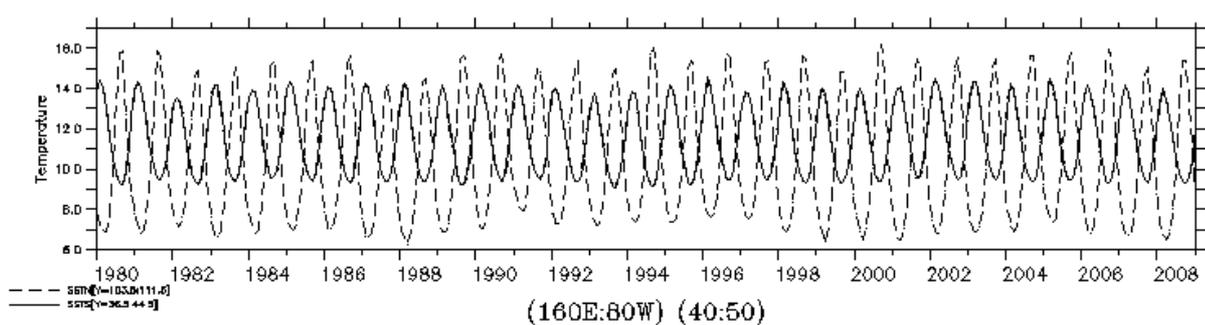
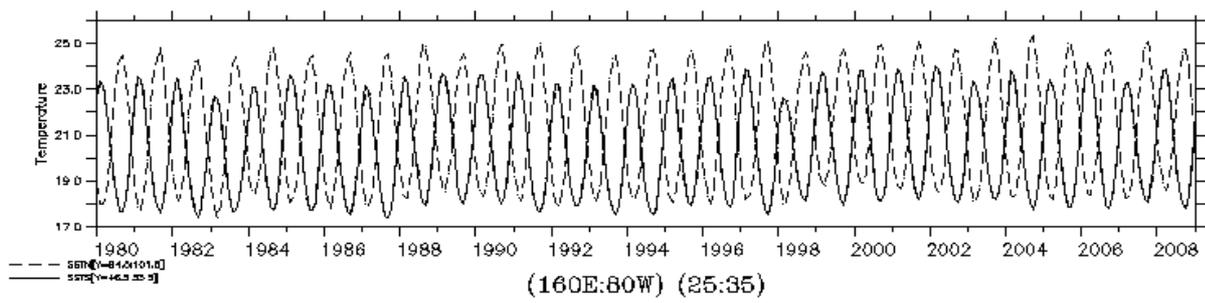
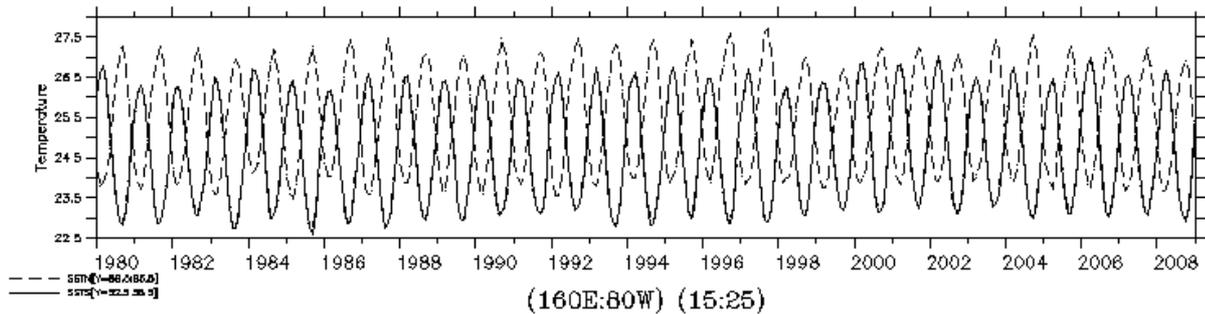
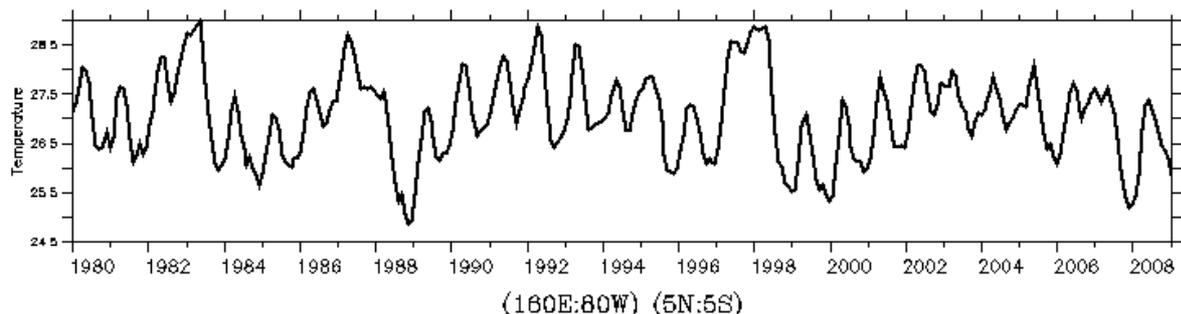
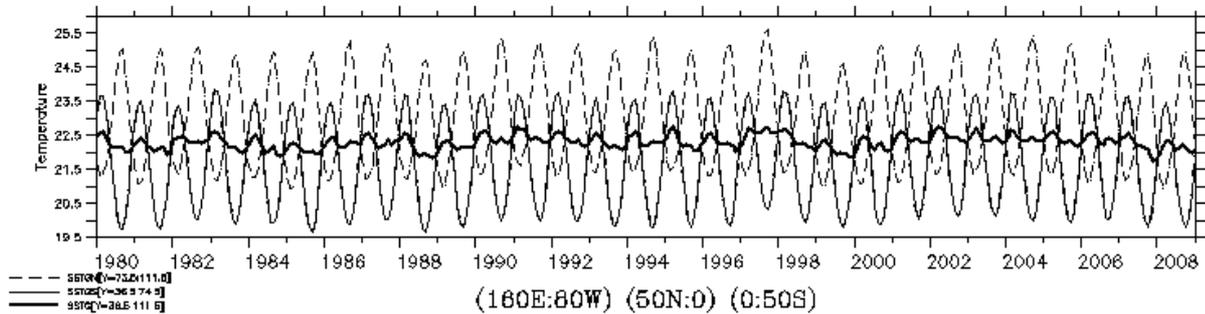
# ANNEXE 1 : Grille ORCA



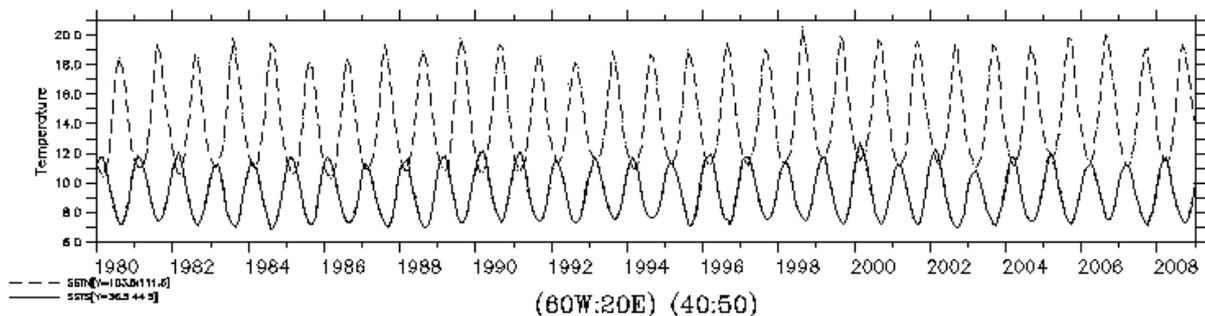
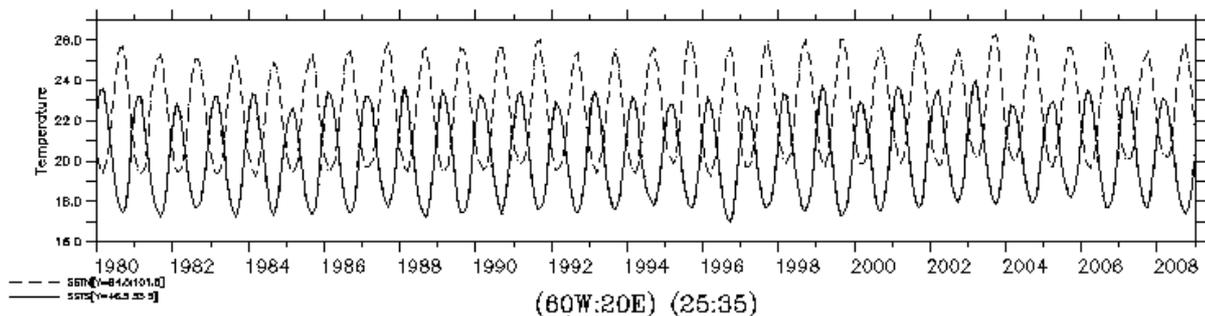
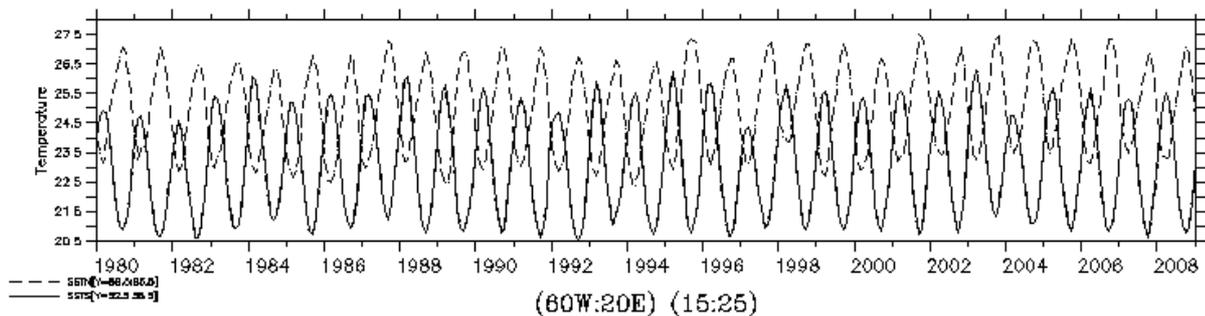
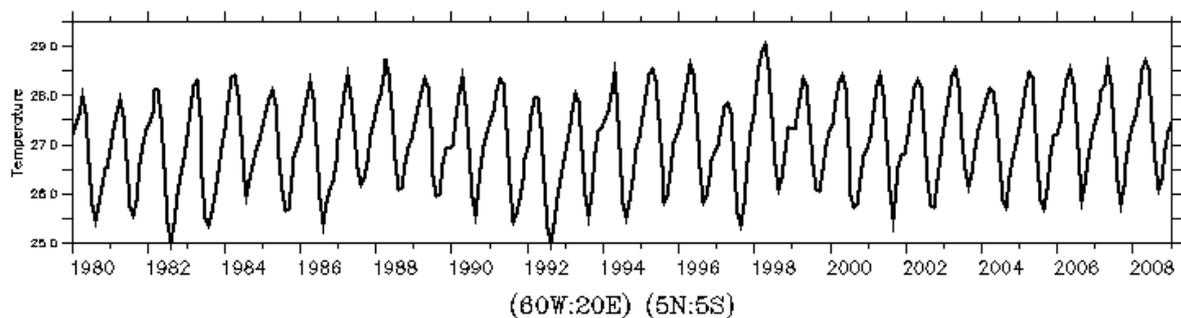
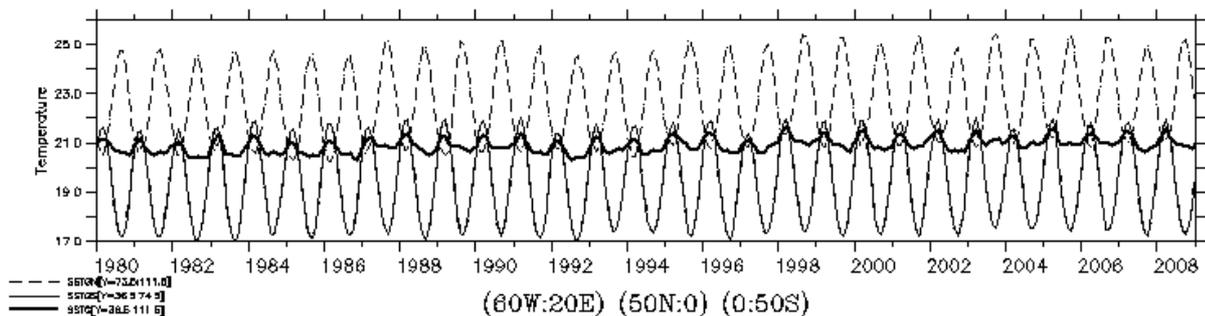
## ORCA R2 : mesh indexation



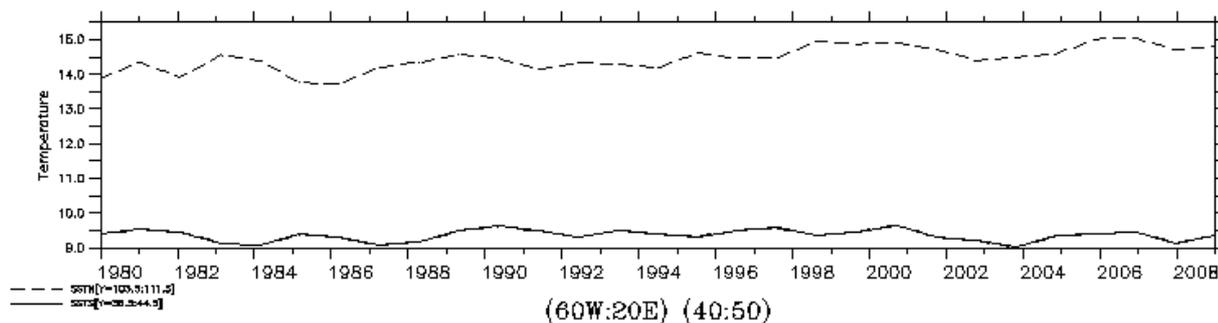
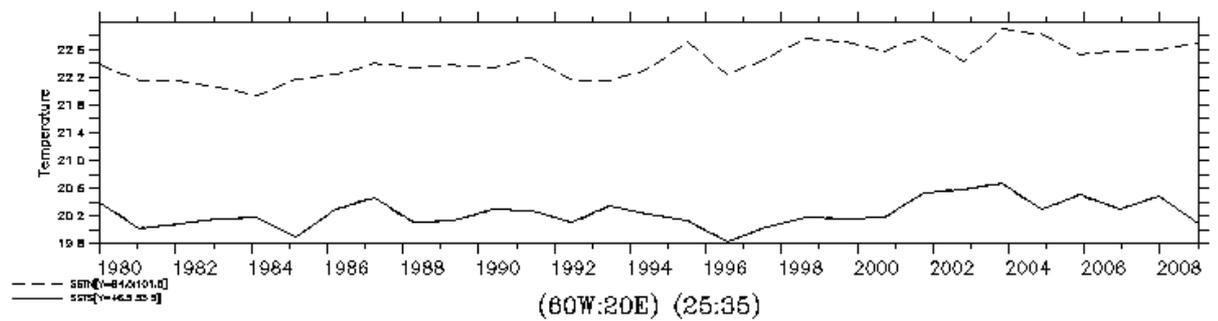
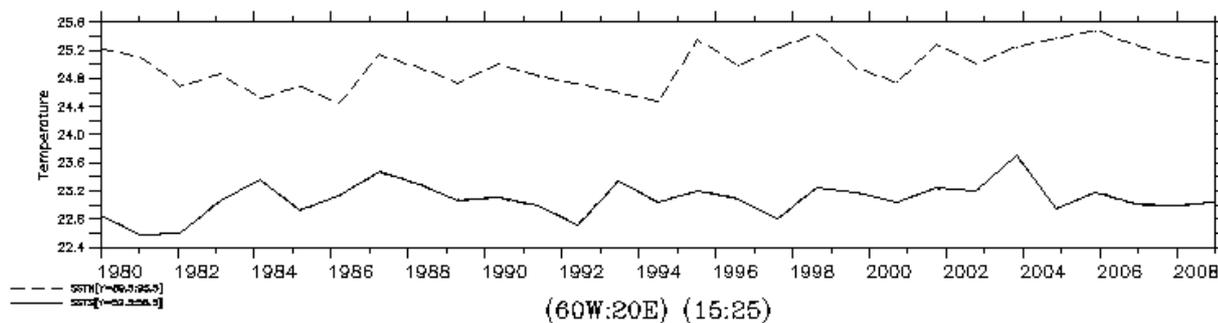
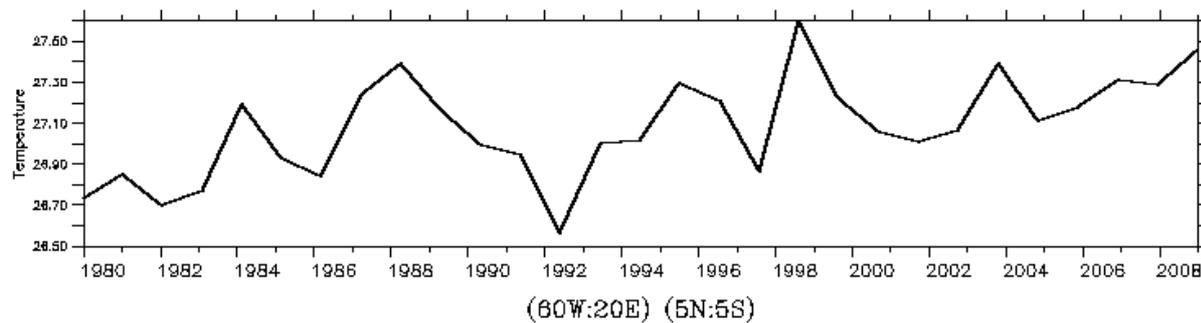
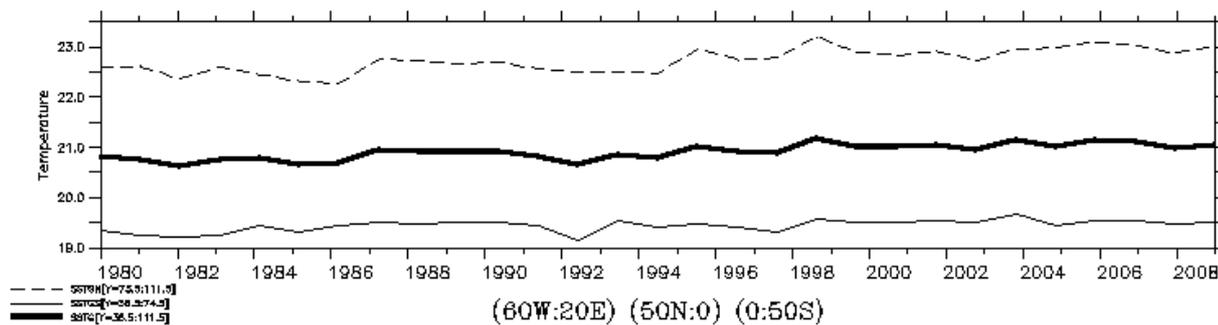
## ANNEXE 2 : TSM sur le Bassin Pacifique en fonction de différentes bandes de latitudes



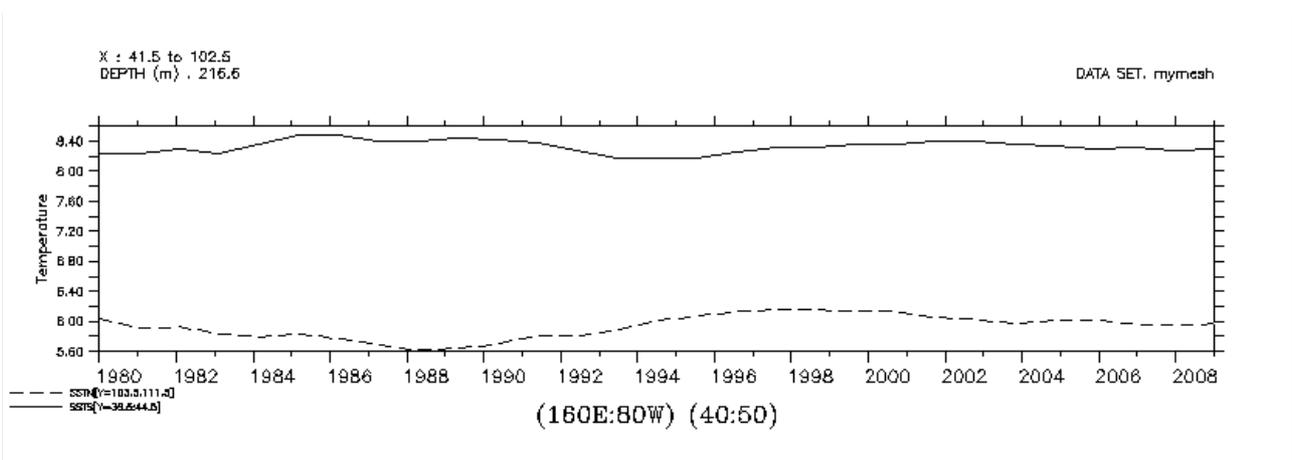
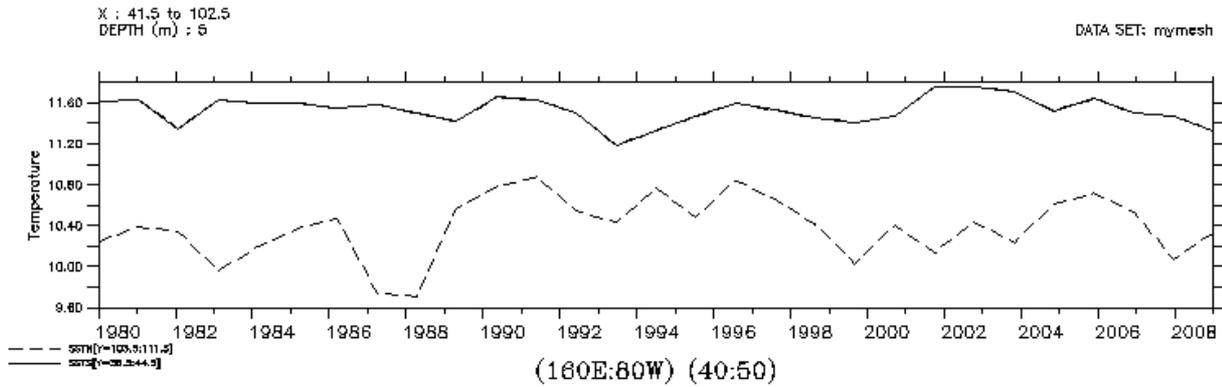
**ANNEXE 3 : TSM sur le Bassin Atlantique en fonction de différentes bandes de latitudes**



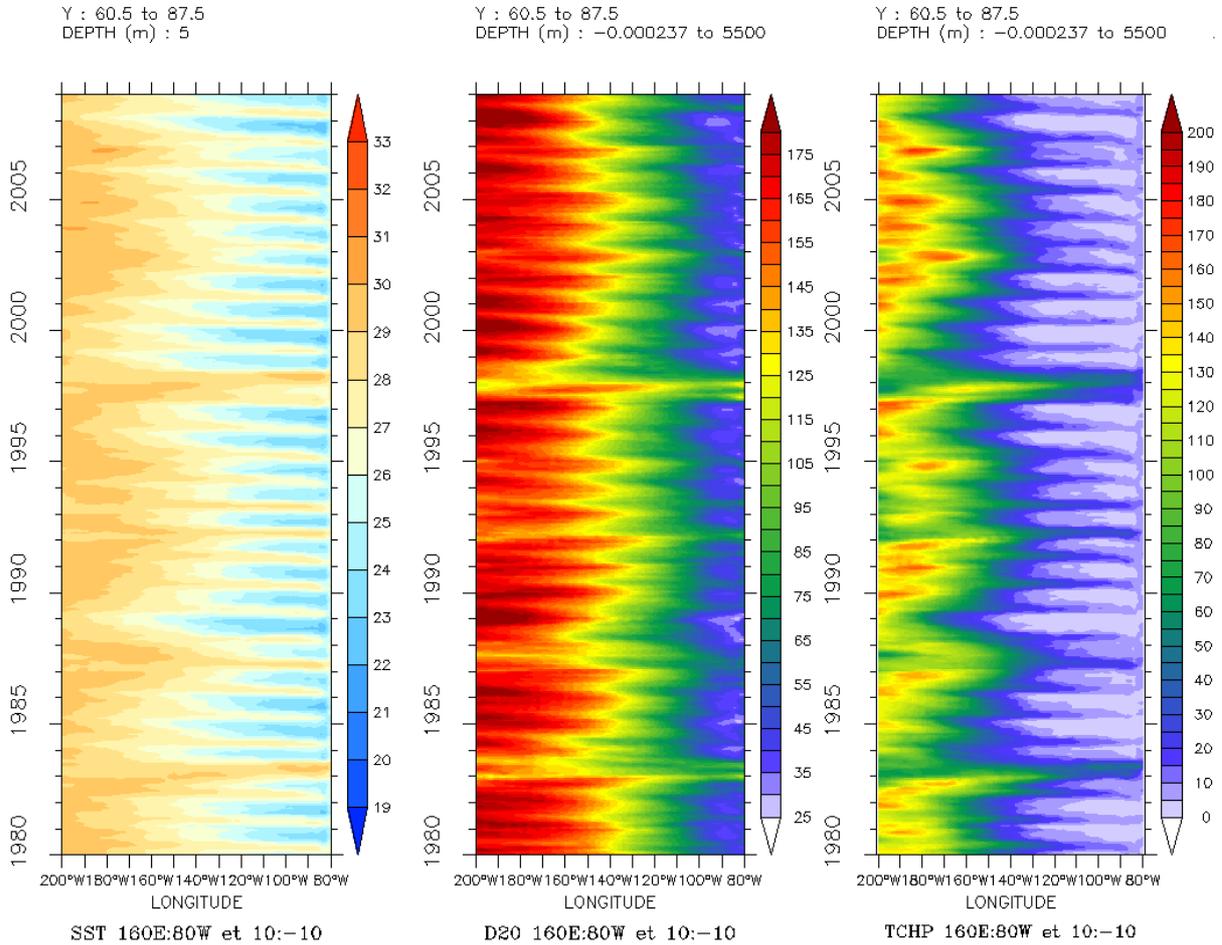
### ANNEXE 4 : TSM (moyenne annuelle) sur le Bassin Atlantique



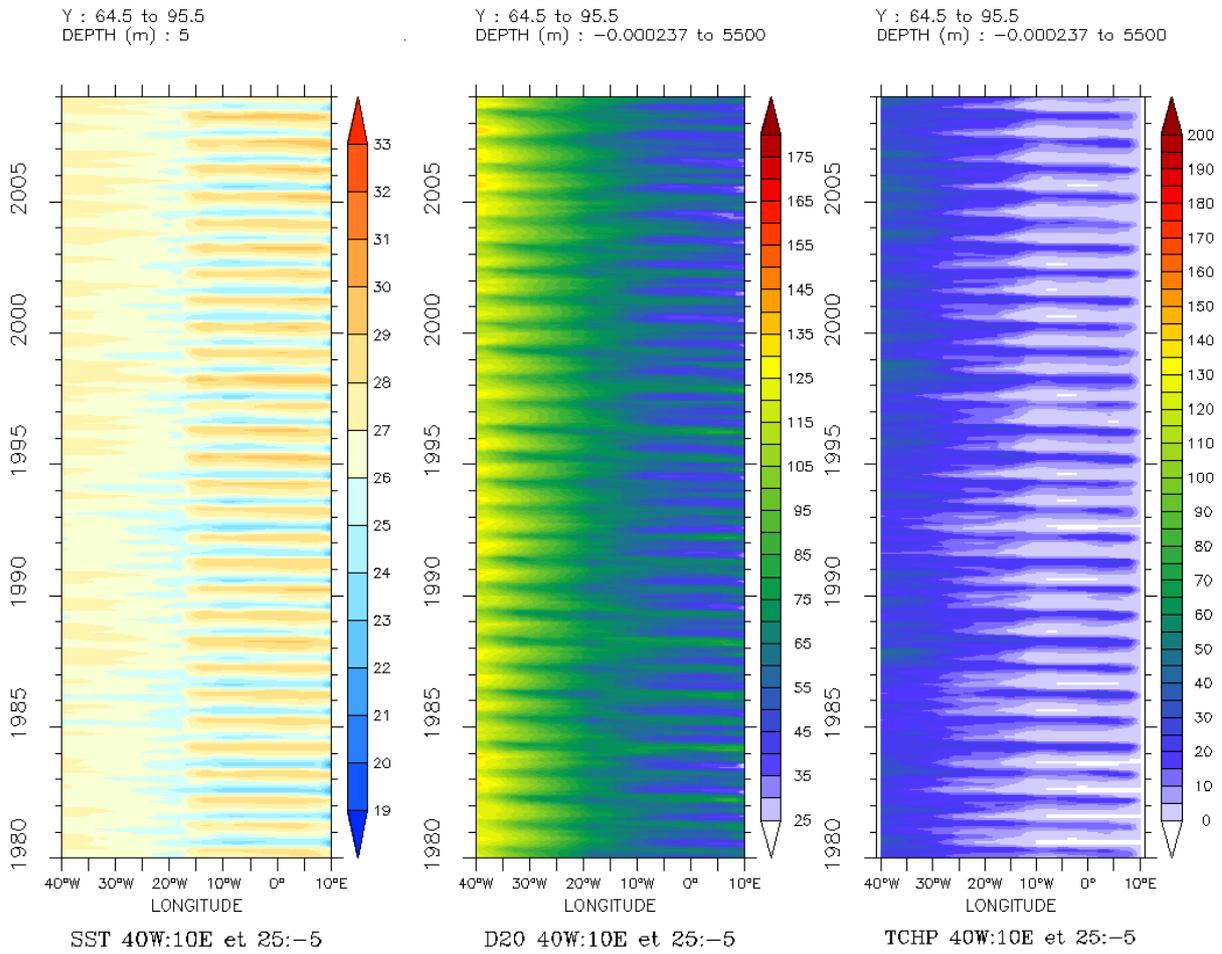
## ANNEXE 5 : Pacifique Température sur le Bassin Atlantique pour la surface et 216m



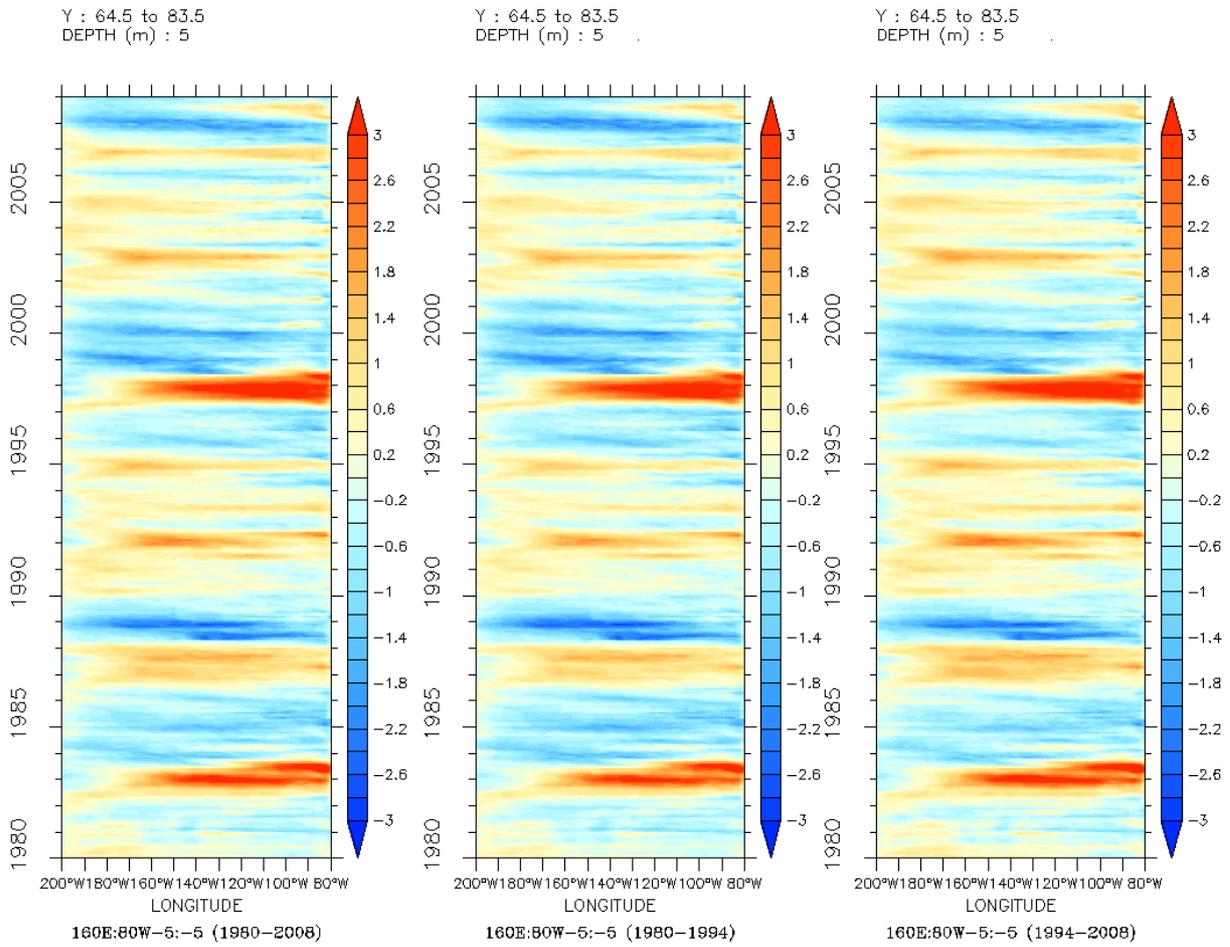
## ANNEXE 6 : Hovmoller sur le Bassin Pacifique



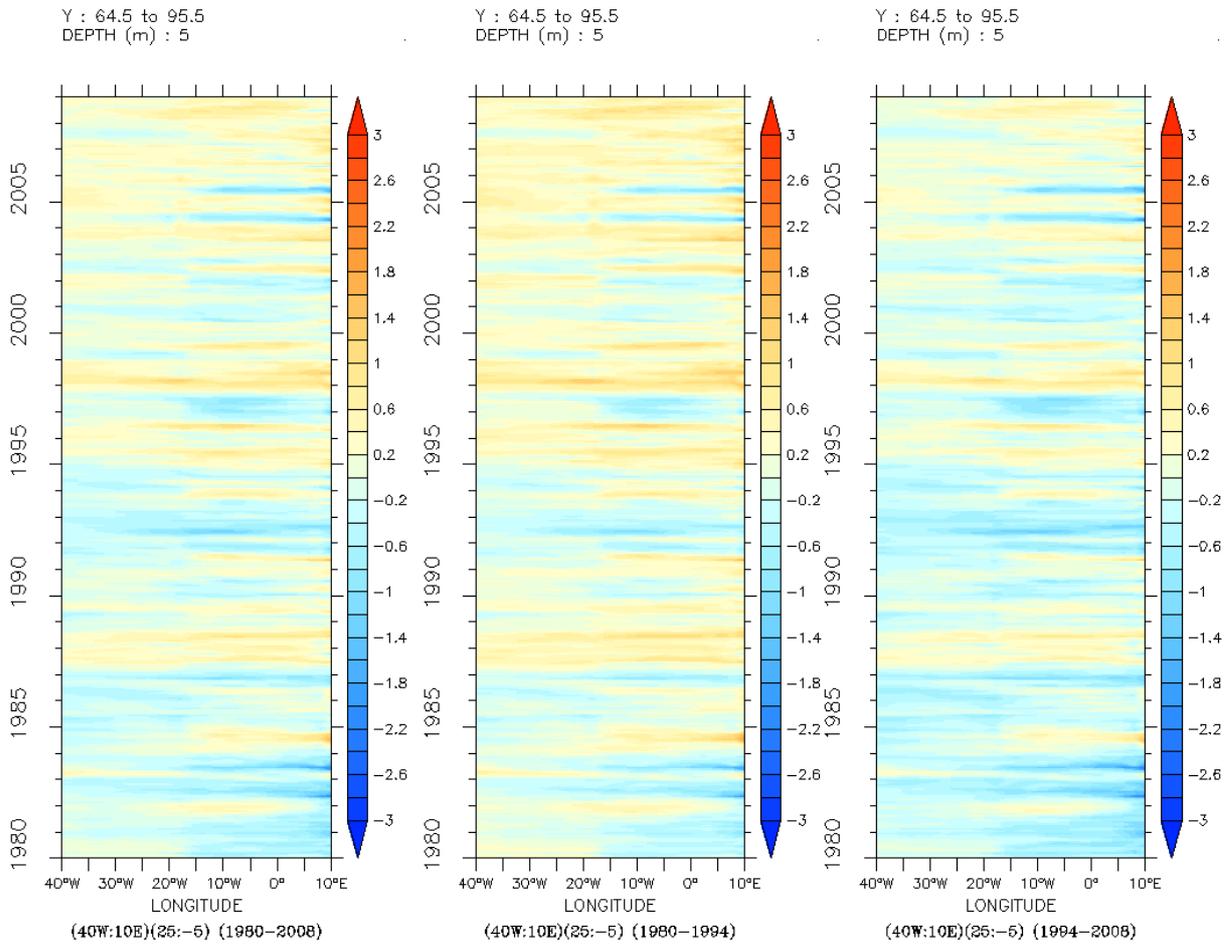
## ANNEXE 7 : Hovmoller sur le Bassin Atlantique



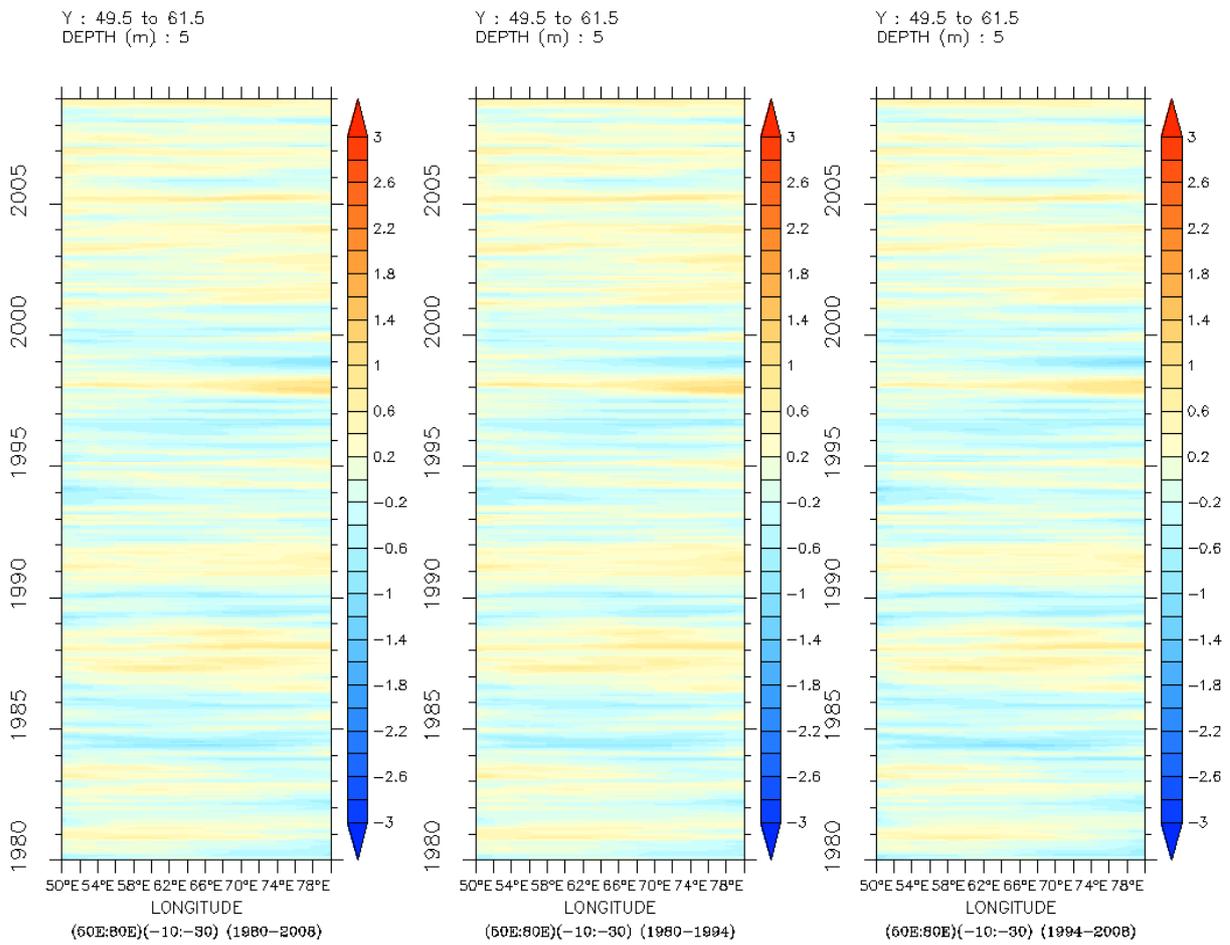
## ANNEXE 8 : Hovmoller de l'anomalie de la TSM sur le Bassin Pacifique



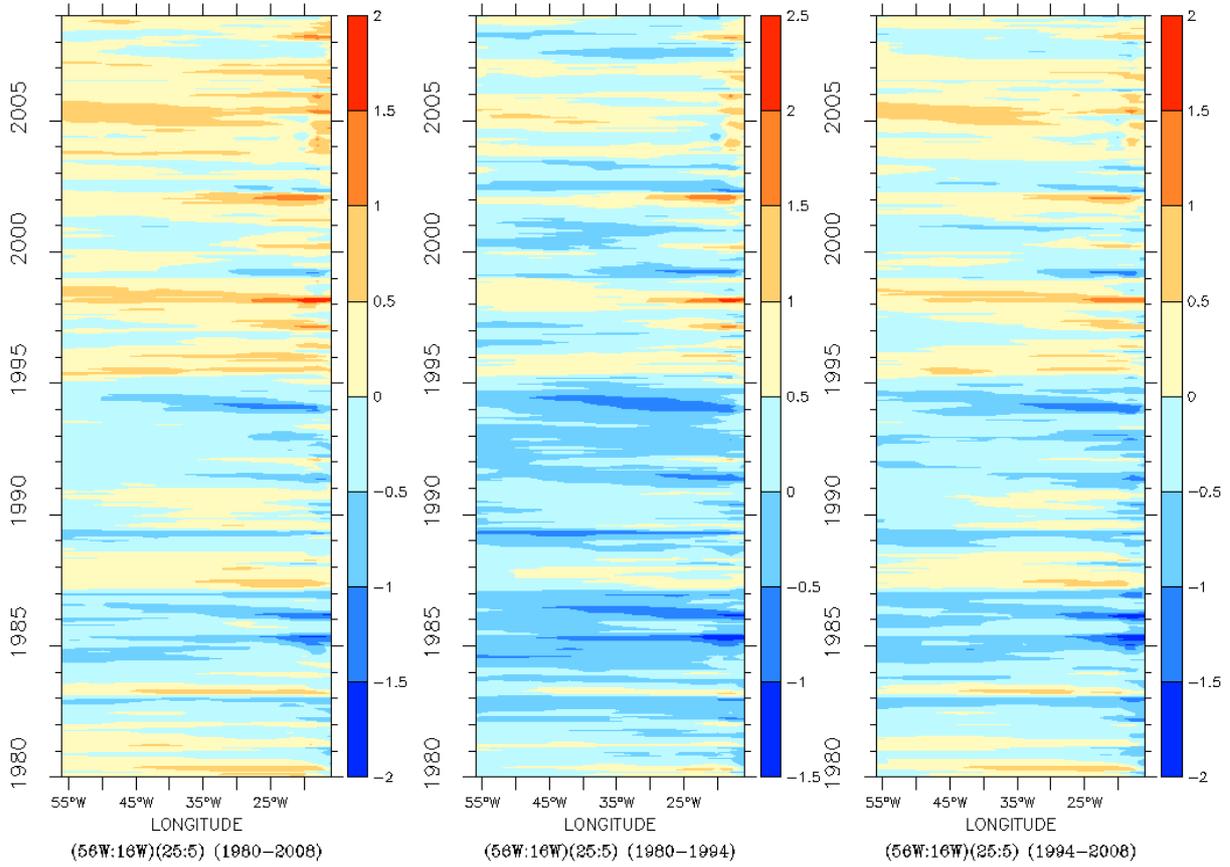
# ANNEXE 9 : Hovmoller de l'anomalie de la TSM sur le Bassin Atlantique



## ANNEXE 10 : Hovmoller de l'anomalie de la TSM sur le Bassin Indien Ouest

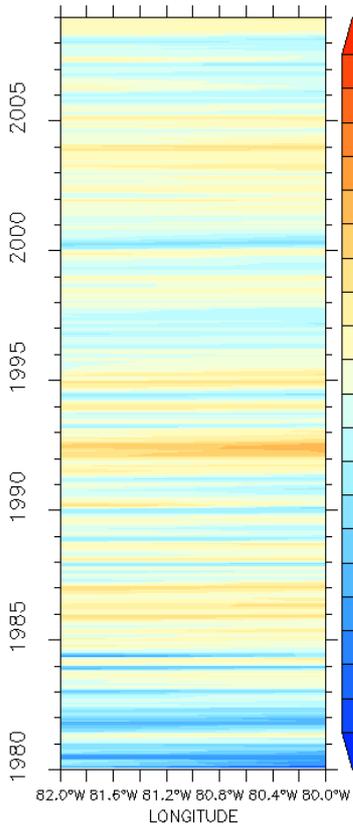


# ANNEXE 11 : Hovmoller de l'anomalie de la TSM sur la boîte climatique TNA



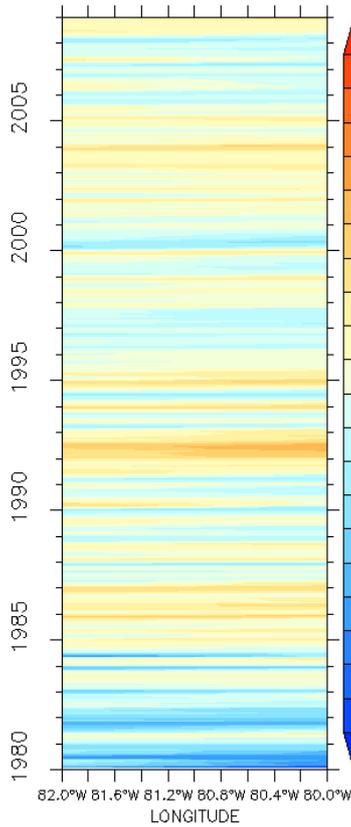
## ANNEXE 12 : Gulf Stream : hovmoller de l'anomalie et profils temporels de T

Y : 93.5 to 95.5  
DEPTH (m) : 216.6



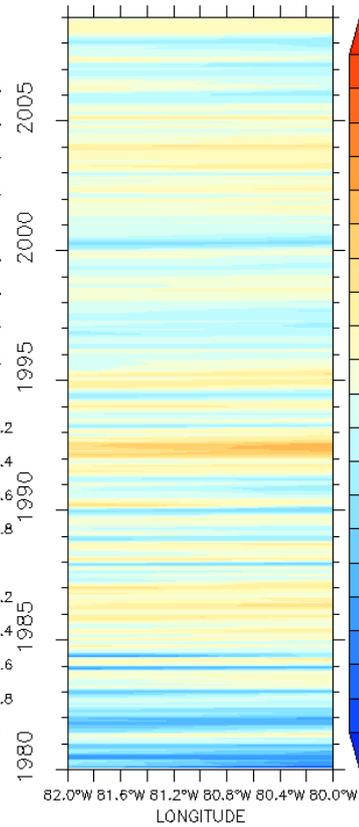
T200m (82W-80W)(25 28) (1980-2008)

Y : 93.5 to 95.5  
DEPTH (m) : 216.6

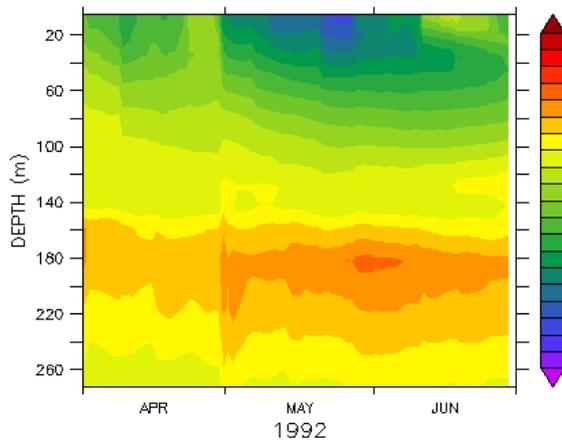


T200m (82W-80W)(25 28) (1980-1994)

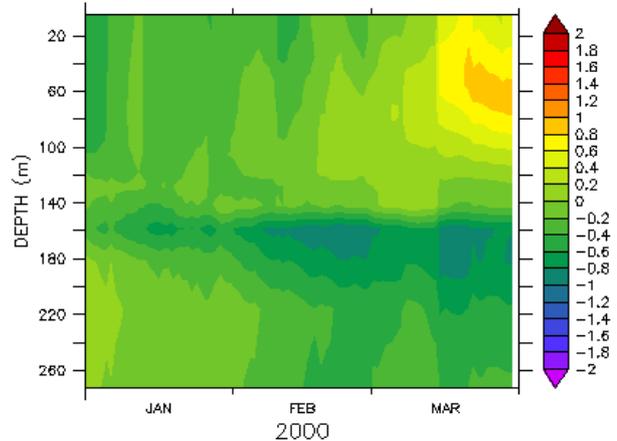
Y : 93.5 to 95.5  
DEPTH (m) : 216.6



T200m (82W-80W)(25 28) (1994-2008)



Temperature (deg)



Temperature (deg)