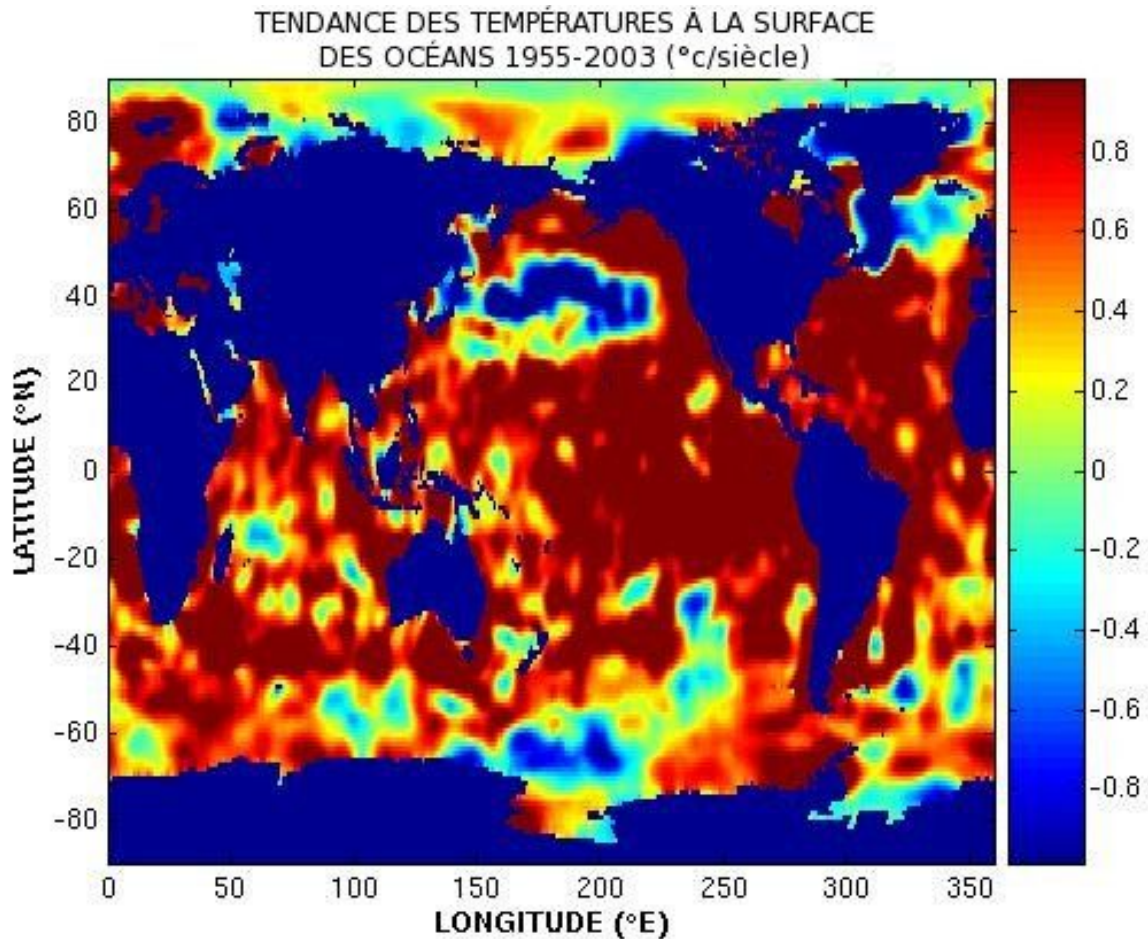


ANALYSE DU RÉCHAUFFEMENT DE L'OCÉAN À PARTIR DE CLIMATOLOGIES ANNUELLES



**rapport de stage de master 1
physique et mécanique de milieux continus**

Sina CHEAN

23 mars 2005

Encadrant :Thierry HUCK

Laboratoire de Physique des Océans,U.F.R. Science,U.B.O.,Brest

SOMMAIRE

1. Introduction

2. Présentation générale

3. Réchauffement de l'atmosphère

3.a Hémisphère Nord, Sud et global

3.b Variation en fonction du mois

4. Climatologie annuelle moyenne dans l'océan

4.a Climatologie de la surface

4.b Climatologie en fonction de la profondeur

4.c Climatologie en fonction de la latitude et la profondeur

5. Réchauffement des océans

5.a Réchauffement à la surface des océans

5.b Réchauffement des océans en fonction de la profondeur

5.c La tendance moyenne zonale

6. Conclusion

Bibliographie

1. Introduction

Ce rapport est le compte rendu de mon stage de Master 1 que j'ai fait dans un laboratoire de recherche océanographique : le Laboratoire de Physique des Océans, à Brest.

Dans le cadre de ce travail, je me suis intéressée au réchauffement climatique et plus précisément à son influence dans les océans.

On a étudié les variations de température dans les océans et l'atmosphère de 1955 à 2003 à partir de la climatologie World Ocean Database 2004 (WOD 2004). La référence pour le site internet : http://www.nodc.noaa.gov/OC5/DATA_ANALYSIS/heat_intro.html.

La variation de la température dans les océans résulte de ses interactions importantes avec l'atmosphère.

2. Présentation générale

L'outil informatique que j'ai utilisé au Laboratoire de Physique des océans à l' Université de Bretagne Occidentale (Brest) est le programme MATLAB (7 vers 14). C'est un logiciel payant de calcul, de programmation, d'exploitation, et de visualisation de données. Il est performant et facile d'utilisation, et donc largement utilisé par la communauté scientifique. Tous les objets (fonction, vecteur, scalaire) dans matlab sont des matrices.

3. Réchauffement de l'atmosphère

Dans la première partie je me suis intéressée au calcul du réchauffement de l'atmosphère parce qu'il est responsable du réchauffement des océans. Pour mesurer ce réchauffement de l'atmosphère, je me suis appuyée sur l'évolution des moyennes de la température de 1860 à 2000.

Données

Pour étudier le réchauffement de l'atmosphère, on s'est basé sur les températures atmosphérique de surface en moyenne mensuelle de 1860 à 2003 pour l'hémisphère Nord, l'hémisphère Sud, et global (Jones et al. 1999).

Les données ont été récupérées sur le site : <http://www.cru.uea.uk/cru/data/temperature>.

Méthodologie

Pour le calcul de la tendance, j'ai utilisé une méthode de régression linéaire (fonction *polyfit* dans matlab).

3.a Hémisphère Nord, Sud et global

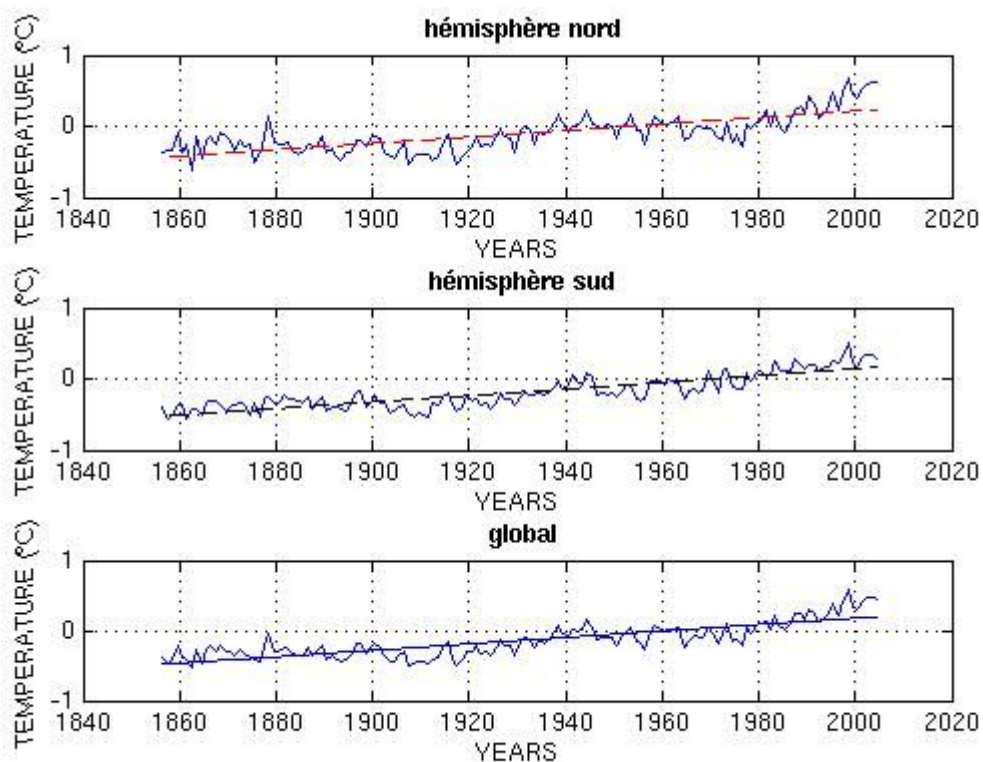


Figure 1 : Évolution des températures annuelles moyennes de l'atmosphère à la surface pour l'hémisphère Nord, l'hémisphère Sud, et global (anomalies par rapport à 1961-1990); en tirés, on a représenté la droite de régression.

L'élévation de température depuis le début des années 1861 est notable tout comme les records des premières années du XXI^{ème} siècle.

Le climat varie et variera toujours pour des raisons naturelles. Toutefois, les activités humaines augmentent de façon considérable les concentrations atmosphériques de certains gaz, tels que les gaz à effet de serre (principalement le CO₂), qui tendent à réchauffer la surface de la terre, et les aérosols anthropiques, qui tendent principalement à la refroidir. Le réchauffement global est causé par les gaz à effet de serre. Il développe des conditions climatiques auxquels se sont adaptés des parasites vecteurs de certaines maladies.

Résultats

On peut remarquer que l'hémisphère nord se réchauffe à peu près comme l'hémisphère sud (par le calcul numérique on a trouvé que le coefficient directeur de la droite pour l'hémisphère nord est : 0.45 °C/siècle et pour l'hémisphère sud : 0.47 °C/siècle).

La température globale présente une variation à peu près similaire à celle de l'hémisphère nord et l'hémisphère sud (la tendance globale est : $0.46^{\circ}\text{C}/\text{siècle}$)

3.b Évolution des températures mois par mois

On calcule maintenant le réchauffement de l'hémisphère nord, l'hémisphère sud et global pour chaque mois de l'année et on va comparer les variations des températures dans chaque région.

La courbe rouge de la figure 2 correspond à la tendance de l'hémisphère nord. Si l'on compare à la courbe bleue (hémisphère sud), on note d'importantes différences dans la variabilité des deux tendances.

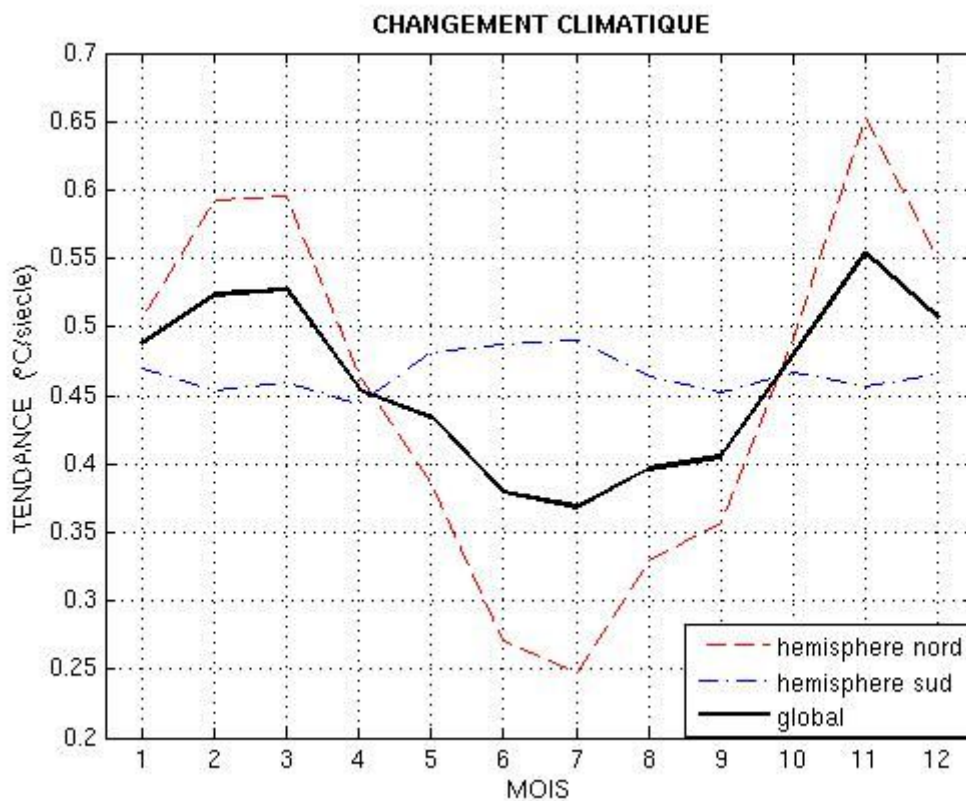


Figure 2 : réchauffement de l'atmosphère mois par mois.

Le traitement précédemment décrit permet de mettre en évidence des variations importantes de la tendance en fonction du mois dans l'hémisphère nord : le réchauffement est plus important du mois de novembre au mois de mars et beaucoup plus faible au mois de juillet et augmente du mois de juillet jusqu'au mois de novembre. Pour l'hémisphère nord, si nous regardons la tendance rouge, nous constatons que l'hiver se réchauffe bien plus que l'été.

La tendance bleue représente la variabilité du réchauffement de l'hémisphère sud en fonction du mois : elle est beaucoup plus faible que dans l'hémisphère nord. Elle est un petit peu plus importante du mois de mai jusqu'au mois de juillet et plus faible du mois de septembre jusqu'au

mois d'avril. On peut penser que le réchauffement de l'atmosphère est plus important en hiver dans l'hémisphère nord parce qu'il y a plus de terre que dans l'hémisphère sud.

Le réchauffement global suit celui de l'hémisphère nord : il est plus faible pendant l'été que l'hiver. Pourquoi la variation de la température de l'hémisphère nord est-elle aussi similaire à l'hémisphère sud ? L'origine anthropologique du réchauffement n'est plus à démontrer : les pays développés, industrialisés, sont majoritairement dans l'hémisphère nord, alors que l'hémisphère sud est principalement océanique, et c'est certainement parce que les gaz à effet de serre se mélangent rapidement de l'hémisphère nord vers l'hémisphère sud.

4. Climatologie annuelle moyenne dans l'océan

La climatologie est l'étude de l'action des phénomènes météorologiques sur les différentes parties du globe, de leurs réactions mutuelles et des différents climats.

Dans cette partie, on va décrire la structure thermique moyenne de l'océan.

J'ai utilisé une base de données faisant référence aux prélèvements effectués par le programme **World Ocean Atlas 2001**(<http://www.nodc.noaa.gov/OC5/indprod.html>).

Elle fournit les températures moyennes en fonction de la latitude et de la longitude (tous les degrés) sur 33 niveaux verticaux de 0 à 5500 m. À partir de cette base, j'ai décrit la climatologie moyenne de l'océan.

4.a Climatologie de la surface

La température de la surface est liée à l'ensoleillement, qui dépend fortement de la latitude.

La forme sphérique de la terre entraîne une différence du flux radiatif incident par unité de surface dû au soleil entre l'équateur et les pôles. En effet, les rayons solaires arrivent plus inclinés aux pôles qu'à l'équateur, d'où un flux moindre. Ce phénomène est amplifié par l'albedo (coefficient de réflexion de l'énergie) de la glace, qui est de l'ordre de 80%. Afin d'équilibrer cet apport de chaleur, la Terre, rayonne aussi de l'énergie, dans le domaine infra-rouge principalement, avec une distribution plus uniforme. Il apparaît donc un excès de chaleur dans une zone un peu plus large que la zone intertropicale et il y a un déficit ailleurs, notamment aux pôles.

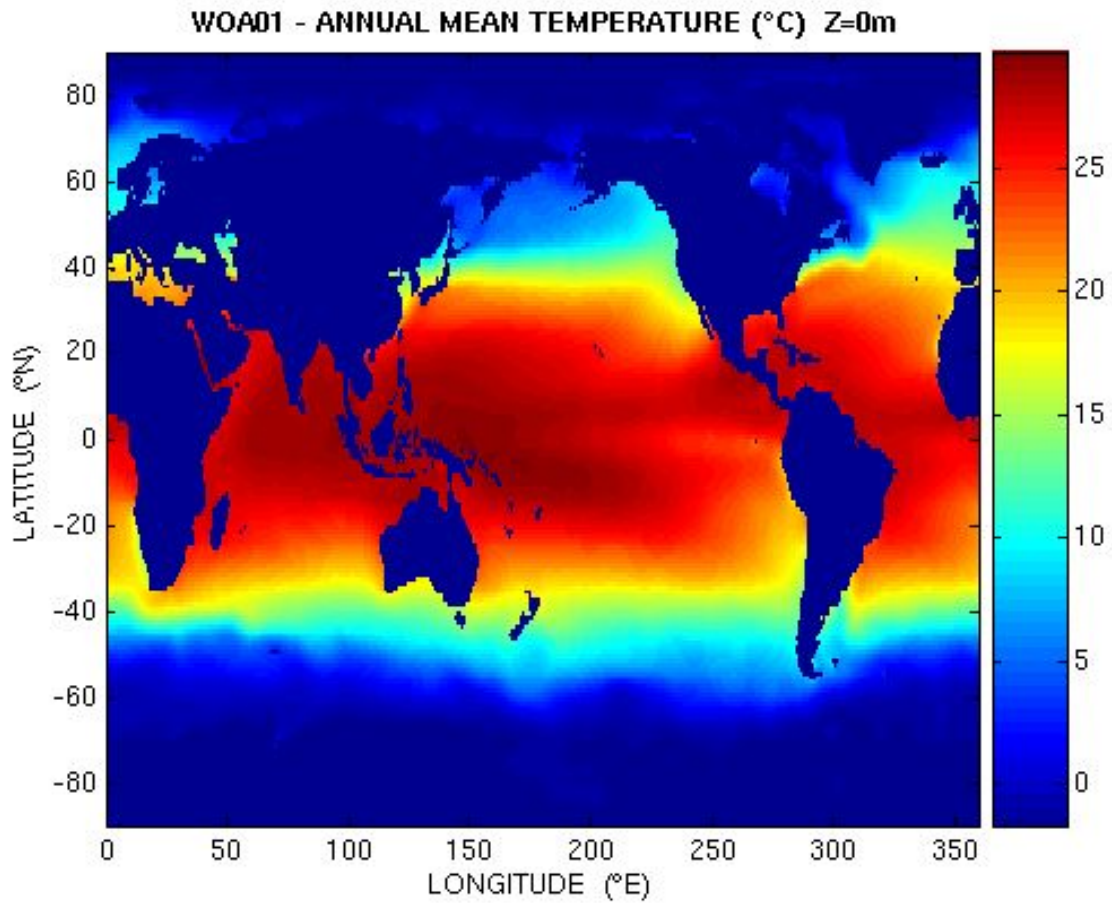


Figure 3 : Moyenne annuelle de la température de la surface de l'océan.

4b. Climatologie en fonction de la profondeur

Précédemment, le programme **WOA01** m'a permis d'effectuer des calculs de la moyenne annuelle des températures à la surface des océans. Ce même programme va me permettre de décrire la climatologie annuelle en fonction de la profondeur.

$$\bar{T}(k) = \left[\sum_{i,j=\text{océan}} T(i,j,k) dS(i,j) \right] / \left[\sum_{i,j=\text{océan}} dS(i,j) \right]$$

i : indice de la longitude

j : indice de la latitude

k : indice de la profondeur

dx : pas de longitude

dy : pas de la latitude

dS (i,j) = dx*dy cos(lat(j)) : élément de surface

La circulation est le courant qui plonge en profondeur pour remonter vers la surface des océans. Les différences de température (l'eau froide est plus dense que l'eau chaude) ou de salinité (l'eau salée est plus dense que l'eau douce) entre les différentes couches de l'océan, mettent l'océan en mouvement.

Quand la circulation horizontale amène de l'eau dense au dessus d'une couche qui l'est moins, l'eau de surface plonge alors vers les profondeurs et met en mouvement une telle circulation «verticale» comme c'est le cas de l'Atlantique nord : la circulation thermohaline.

Entre une couche superficielle chaude et une couche plus profonde et froide, on a une «rupture» nommé la thermocline se situant entre 100 et 800 mètres de profondeur.

Les courants qui prennent place dans cette couche superficielle évoluent suite aux variations de la thermocline (qui change lentement de profondeur avec divers processus, comme par exemple El Nino).

Dans cette image, on a remarqué que l'eau à la surface de la région tropicale est très chaude.

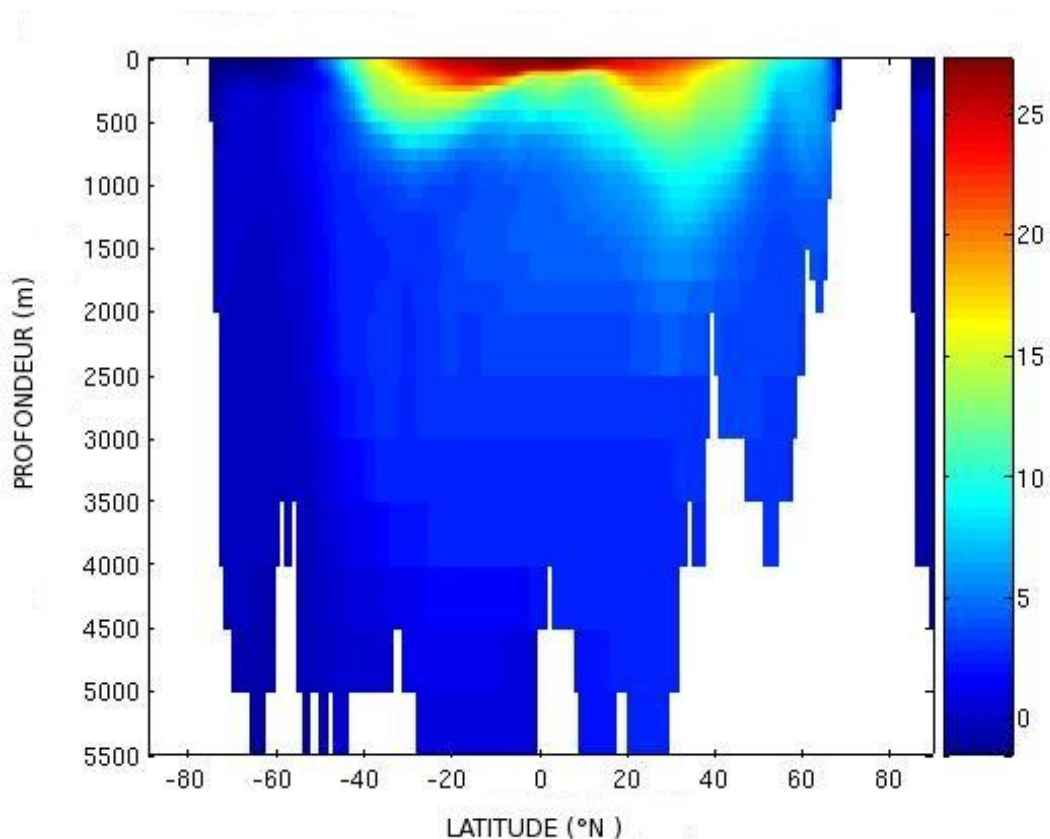


Figure 4 : Moyenne annuelle de la température, en moyenne zonale en fonction de la latitude et la profondeur.

5. Réchauffement des océans

Données

Pour étudier les anomalies de température dans les océans de 1995 à 2003, on a les données WOD04 (World Ocean Database 2004), sur le site :

http://www.nodc.noaa.gov/OC5/DATA_ANALYSIS/heat_intro.html.

Méthodologie

Pour calculer la tendance des températures, j'ai utilisé une méthode de régression linéaire.

5.a Réchauffement à la surface des océans

On décrit les variations de la tendance des températures de l'océan mondial de 1955 à 2003 en surface.

Dans les zones tropicales, l'océan reçoit à sa surface plus de chaleur du soleil qu'il n'en perd vers l'atmosphère par rayonnement infrarouge, par transfert de chaleur latente. Au contraire, dans

les hautes latitudes, il se refroidit vers l'atmosphère, parce que le flux de chaleur du soleil est beaucoup plus faible.

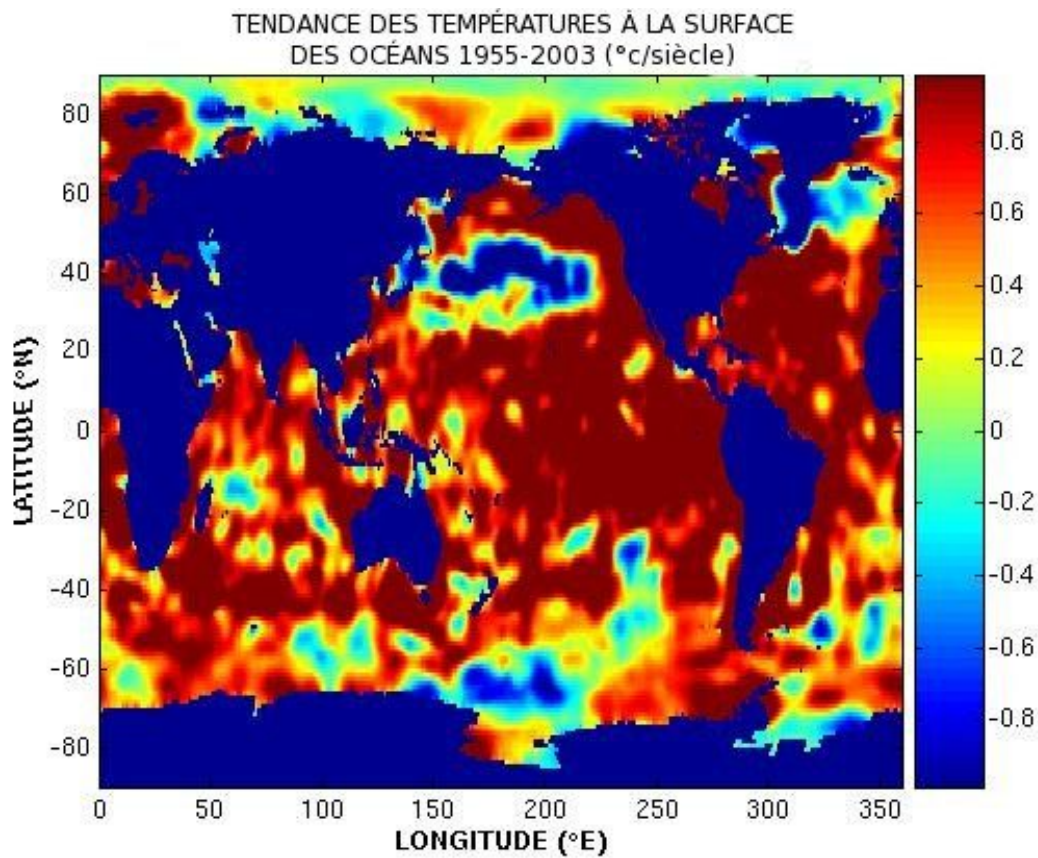


Figure 5 : La réchauffement de la surface de l' Océan.

5.b Réchauffement des océans en fonction de la profondeur

Pour la carte ci-dessous, on a calculé la moyenne de tendance pour chaque profondeur de 0 à 700m de 1955-2003.

La courbe de tendance bleue montre la variation de la température en fonction de la profondeur.

À la surface, on a la tendance de température qui est la plus élevée (réchauffement maximal de 0.8 °C).

Ensuite, on peut constater que plus on va en profondeur, plus ce réchauffement diminue. Notamment de 0 à 150 m le réchauffement baisse brutalement jusqu'à environ 0.1°C.

Si on la compare avec la figure 7 : la tendance de la température en moyenne zonale, cela correspond probablement à l'océan Pacifique équatorial, ayant un refroidissement à cette profondeur.

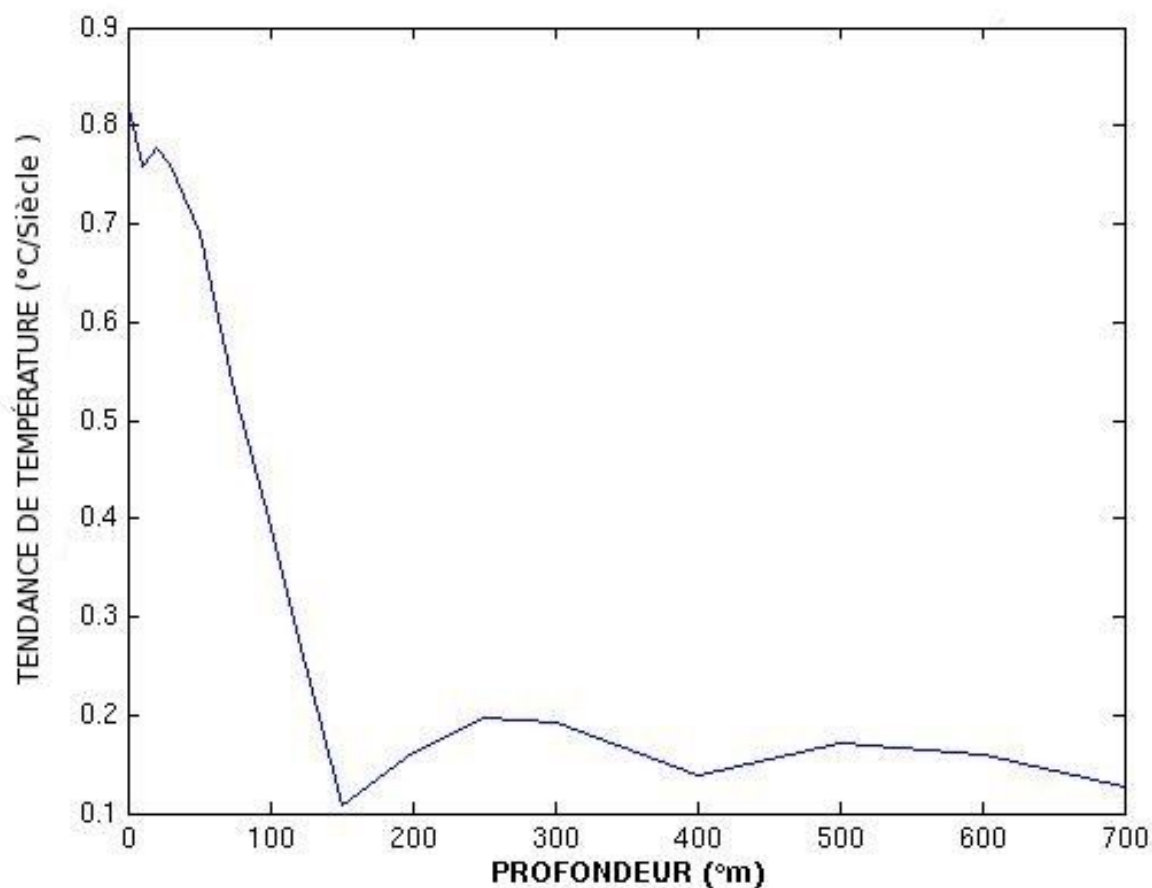


Figure 6 : Tendance des températures (moyenne horizontale) de 1955 à 2003 en fonction de la profondeur.

5.c Tendance moyenne zonale

Cette carte nous montre que la tendance est au réchauffement des températures de surface, surtout dans la région tropicale (en regardant la carte globale du monde, on peut noter que la zone qui se trouve entre -35°S et 35°N en latitude est la région tropicale donc correspond à notre carte (zone numéro 1)), parce que la couche de mélange est beaucoup plus fine qu'ailleurs. Pour les zones qui sont plus profondes, les températures se réchauffent de manière importante autour de 40°N : ce signal correspond à l'eau méditerranéenne (zone numéro 3), qui s'est réchauffée en surface, en mer méditerranée puis a passé le détroit de Gibraltar et a plongé ensuite vers 1000 m pour se répandre dans l'Atlantique. Pour la zone qui se trouve à 150 m de profondeur (zone numéro 2) la tendance est au refroidissement.

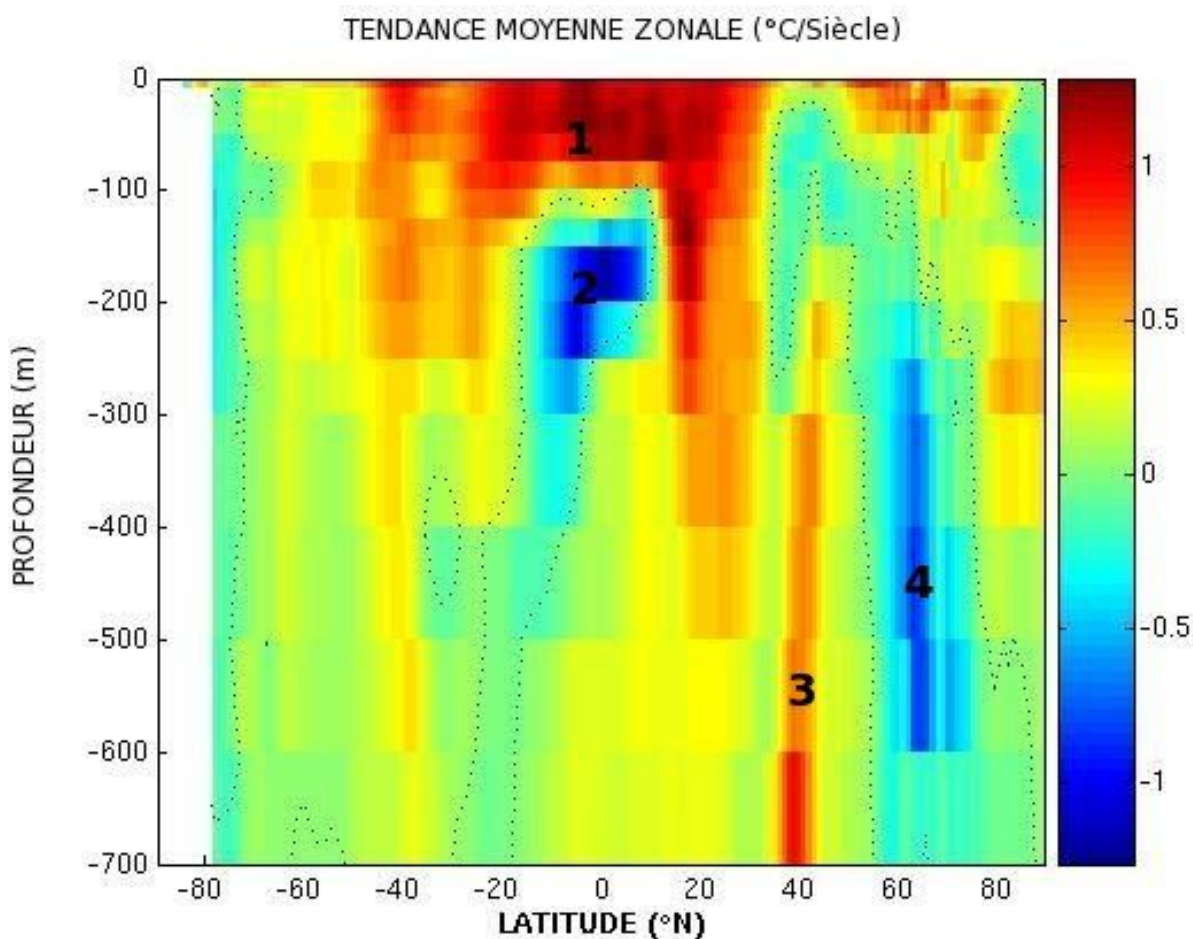


Figure 7 : la tendance de la température en moyenne zonale.

Pour la carte en dessous, on a fait une coupe de la tendance au milieu de l'Atlantique à 28°W (figure 8), on observe principalement un refroidissement des eaux de 0 à 700 m au dessus de 40°N.

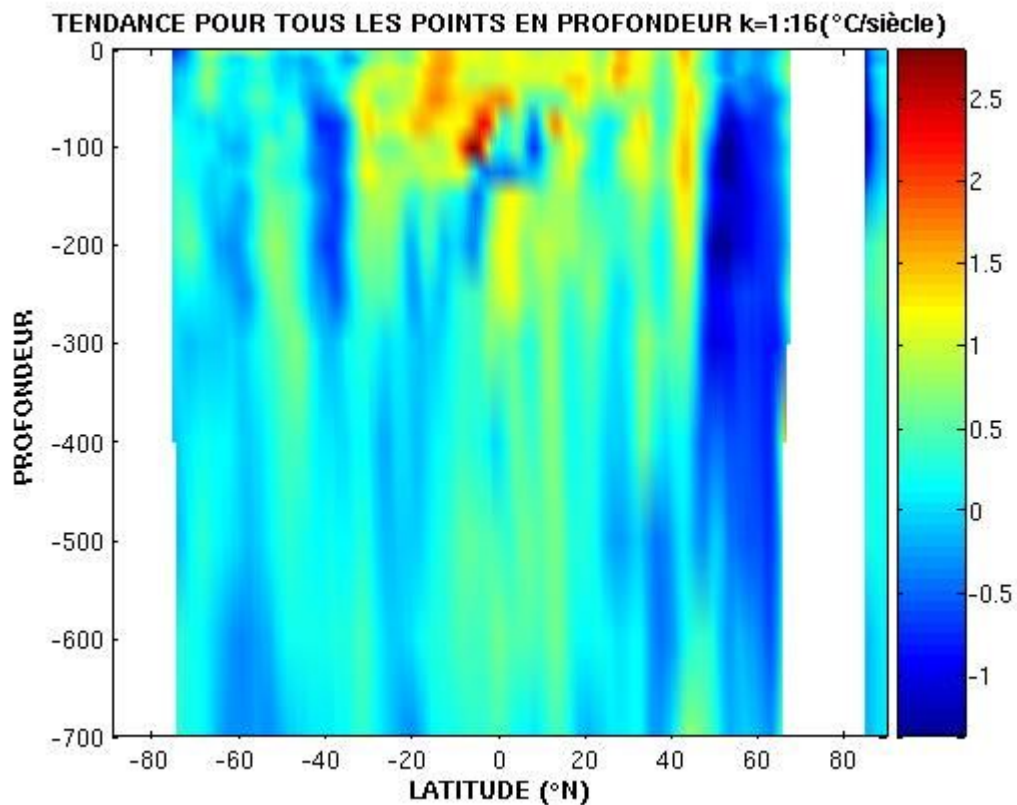


Figure 8 : Tendance des températures au milieu de l'Atlantique (longitude 28 °W).

6. Conclusion

Le réchauffement des océans est un phénomène préoccupant, parce que la capacité calorifique de l'océan est très importante.

Nous avons étudié ici comment l'océan s'est réchauffé depuis 1955 à partir des climatologies annuelles de Levitus (World Ocean Database 2004).

On a remarqué que les profondeurs de 0 à 150 m se sont réchauffés le plus vite, environ 0.6°C par siècle. De plus c'est la région tropicale, déjà le plus chaude, qui s'est encore le plus réchauffé, de plus de 1°C par siècle par endroits.

Bibliographie

- Jones, P.D., New, M., Parker, D.E., Martin, S. and Rigor, I.G., 1999 : surface air temperature and its variations over the last 150 years. *Reviews of Geophysics* 37, 173-199. (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>)
- (Levitus) World Ocean Atlas 2001 (<http://www.nodc.noaa.gov/OC5/indprod.html>)
- World Ocean Database 2004 temperature anomaly data (http://www.nodc.noaa.gov/OC5/DATA_ANALYSIS/heat_intro.html)

Remerciement

Je tiens à remercier de tout coeur Monsieur Thierry Huck qui m'a épaulé pour la réalisation de ce rapport. Il m'a permis d'envisager avec une plus grande sérénité sa rédaction. Je tiens également à remercier Mme Claude Guennou pour sa compréhension et son soutien et également Thierry Begot pour les quelques conseils qu'il m'a donné pour ce rapport. Je tiens à saluer et remercier Patrice Bellec, qui m'a aidé à utiliser l'informatique.