

# Les océans et le climat

## *The Great Global Warming Swindle*

### Introduction

Les océans couvrent 71% de la surface de la Terre et représentent 97% de l'eau de surface. L'océanographie est une science jeune et beaucoup de mécanismes gouvernant la dynamique des océans sont encore mal compris. Il reste néanmoins que les océans ont un rôle majeur dans le système climatique terrestre.

Ce rôle est décrit dans le film « The Great Global Warming Swindle » de façon quelque peu simpliste que nous allons discuter. Le scientifique intervenant sur ce thème est Carl Wunsch, professeur au MIT en océanographie physique. Ses travaux sont la plupart du temps axés sur le changement climatique. Nous verrons en conclusion que Carl Wunsch a remis en cause son intervention dans le film, accusant le réalisateur d'avoir déformé ses propos et de les avoir diffusés hors du contexte initial.

L'argument donné dans le film est en fait double. D'abord, le réchauffement climatique observé actuellement a lieu à cause de l'inertie thermique des océans, et est dû à un réchauffement passé. Ensuite, l'augmentation de CO<sub>2</sub> atmosphérique observée aujourd'hui n'est pas anthropique mais d'origine océanique car les océans sont le plus grand réservoir de carbone. Nous discuterons dans une première partie du rôle de l'inertie thermique dans le réchauffement actuel ; puis dans une deuxième partie, du CO<sub>2</sub> océanique.

## 1. L'inertie thermique des océans : cause du réchauffement actuel ?

### 1.1 Présentation de l'argument concernant l'effet thermique des océans

L'argument du film s'intitule comme suit : « Les océans sont si grands et si profonds qu'ils prennent plusieurs centaines d'années pour se réchauffer ou se refroidir ; c'est ce qu'on appelle la mémoire des changements de température des océans, qui peut aller jusqu'à 10000 ans. Donc, par exemple, si un changement est observé dans l'Atlantique Nord, cela ne veut pas dire qu'il y a un changement actuel mais cela pourrait être dû à un changement dans une autre partie de l'océan et qui apparaît aujourd'hui en Atlantique Nord. »

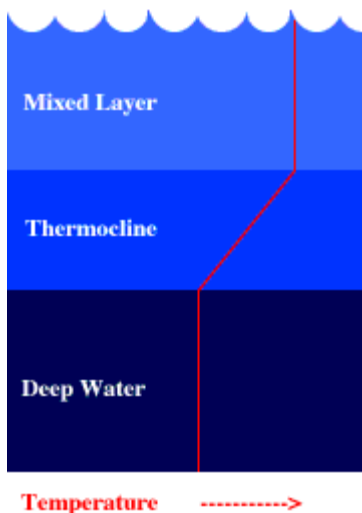
Le point principal est donc l'inertie thermique des océans. D'après les réalisateurs du film, cette inertie serait la cause du réchauffement actuel observé. Nous allons donc essayer de détailler le principe de l'inertie thermique et d'expliquer les mécanismes d'échanges, de transferts et de stockages de chaleur par les océans.

## 1.2 Définition de l'inertie thermique

L'inertie thermique d'un matériau, ici l'eau des océans, est en quelque sorte la vitesse à laquelle il se réchauffe ou se refroidit. Elle est caractérisée entre autre par la capacité calorifique du matériau. Pour les océans, cette capacité calorifique est de  $4,186 \cdot 10^3 \text{ J/kg/K}$ . Il faut lui alors fournir  $4186 \text{ J}$  par  $\text{kg}$  pour faire augmenter sa température de  $1^\circ\text{K}$  (ou  $^\circ\text{C}$ ), ce qui est très élevé. En effet, les océans ont une capacité calorifique 1200 fois supérieure à celle de l'atmosphère. Cela est dû aux nombreuses liaisons hydrogène qui lient les molécules d'eau entre elles et qui diminuent l'agitation des molécules.

L'inertie thermique des océans est donc très grande. Cela veut dire qu'ils sont capables d'emmagasiner une quantité élevée de chaleur, sans faire beaucoup varier leur température. Mais, quelle est cette chaleur qu'ils absorbent ? D'où vient-elle ?

## 1.3 La chaleur dans les océans

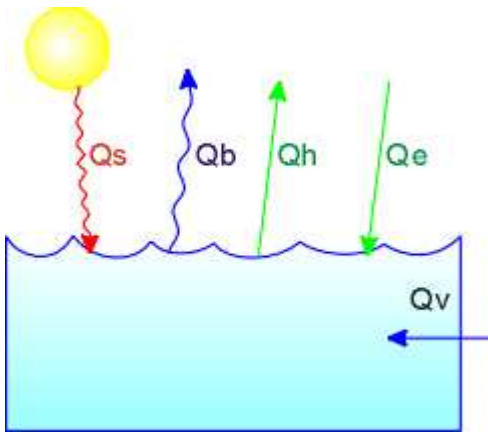


Les océans interviennent dans le système climatique à travers le cycle de l'eau, le cycle du carbone (deuxième partie) et les transferts de chaleur. L'océan est une énorme machine thermique fonctionnant à l'énergie solaire. L'océan est chauffé par le haut par le soleil. Il en résulte une structure verticale stratifiée avec en surface, une couche bien mélangée, séparée des eaux profondes par la thermocline (fig.1).

Figure 1 : Structure verticale stratifiée des océans.

Nous pouvons effectuer un bilan de flux de chaleur pour une masse océanique isolée, en regardant les flux entrants et les flux sortants (fig.2). Le rayonnement solaire à la surface des océans est sa principale source d'énergie. La surface de l'océan (couche bien mélangée) échange de la chaleur avec l'atmosphère (couche basse) à travers différents flux : rayonnement infrarouge ( $Q_b$ ), conduction ( $Q_h$ ) et chaleur latente ( $Q_e$  : remarque, la flèche est dans le mauvais sens dans la fig.2). Les valeurs moyennes sont répertoriées dans le tableau 1. Les valeurs extrêmes résultent notamment de la latitude ; ou bien concernent des masses d'eau particulières comme le Gulf Stream ou le Kurushio. Dans la fig.2, nous avons un dernier flux de chaleur qui est le transport de chaleur par convection ( $Q_y$ ) qui amène une masse d'eau d'un endroit à un autre point de l'océan. Il peut être positif ou négatif. Ce flux, moyenné sur l'ensemble du globe, est nul par soucis de conservation de la masse d'eau océanique. Le bilan thermique de l'océan peut alors s'écrire :

**stockage de chaleur = ce qui arrive (flux solaire + apport par convection de masse d'eau) – ce qui part (pertes vers l'atmosphère + transport convectif par les masses d'eau).**



Flux	Moyenne (W/m <sup>2</sup> )	Variations (W/m <sup>2</sup> )
Q <sub>s</sub>	+150	80 à 200
Q <sub>b</sub>	-50	Faibles
Q <sub>h</sub>	-10	0 à -40
Q <sub>e</sub>	-90	-50 à -160
Q <sub>v</sub>	0	-100 à + 200

Figure 2 : Schéma des flux de chaleur pour l'océan.

Tableau 1 : Valeur en W/m<sup>2</sup> des flux de chaleur.

Les échanges de chaleur entre l'océan et l'atmosphère varient beaucoup selon la latitude : le bilan net des flux de chaleur est positif (pour l'océan) à l'équateur, et négatif au niveau du Gulf Stream par exemple, où l'océan perd sa chaleur vers l'atmosphère (fig.3).

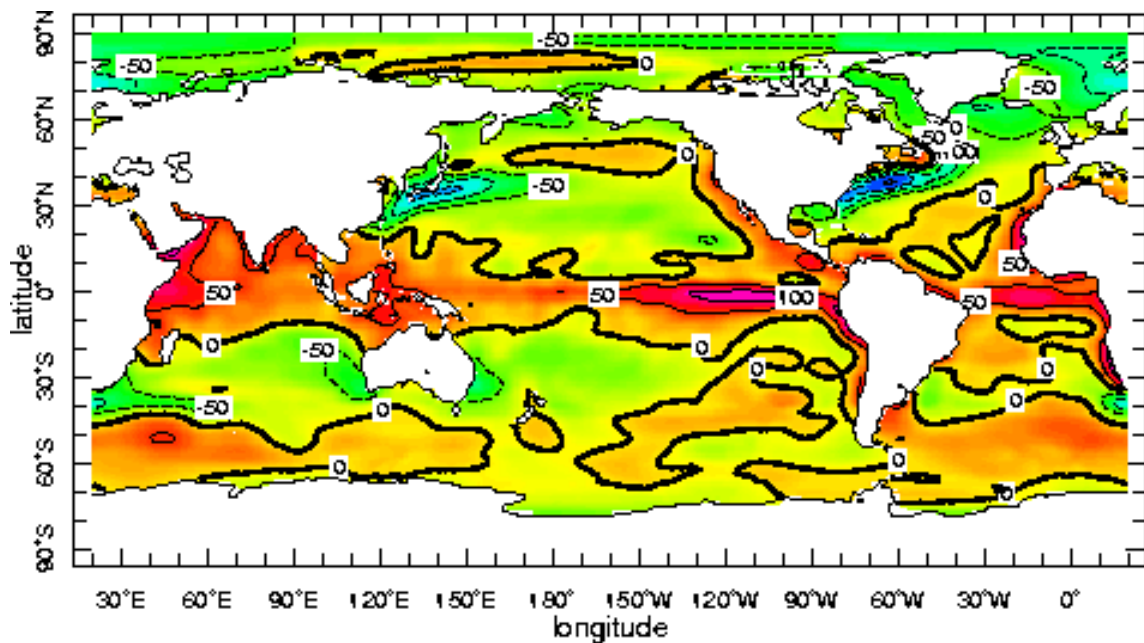


Figure 3 : Flux de chaleur nets pour la surface de l'océan. On note le gain de chaleur à l'équateur et la perte de chaleur aux hautes latitudes et au niveau du Gulf Stream et du Kurushio (d'après Da Silva et al., 1994).

La fonction de transport de chaleur par les océans n'a été quantifiée que dans les années 70. La circulation superficielle horizontale mais aussi la circulation thermohaline permettent de transporter la chaleur stockée dans les océans depuis l'équateur vers les hautes latitudes (fig.4). C'est ce qu'on appelle le transport méridien de chaleur. L'océan participe à 50% du transport total de chaleur vers les hautes latitudes. L'autre moitié est transportée par l'atmosphère. L'océan Atlantique est une exception puisqu'il transporte toute son énergie vers le Nord. Nous observons ici l'extrême importance du Gulf Stream dans le bilan énergétique de l'océan et de l'atmosphère.

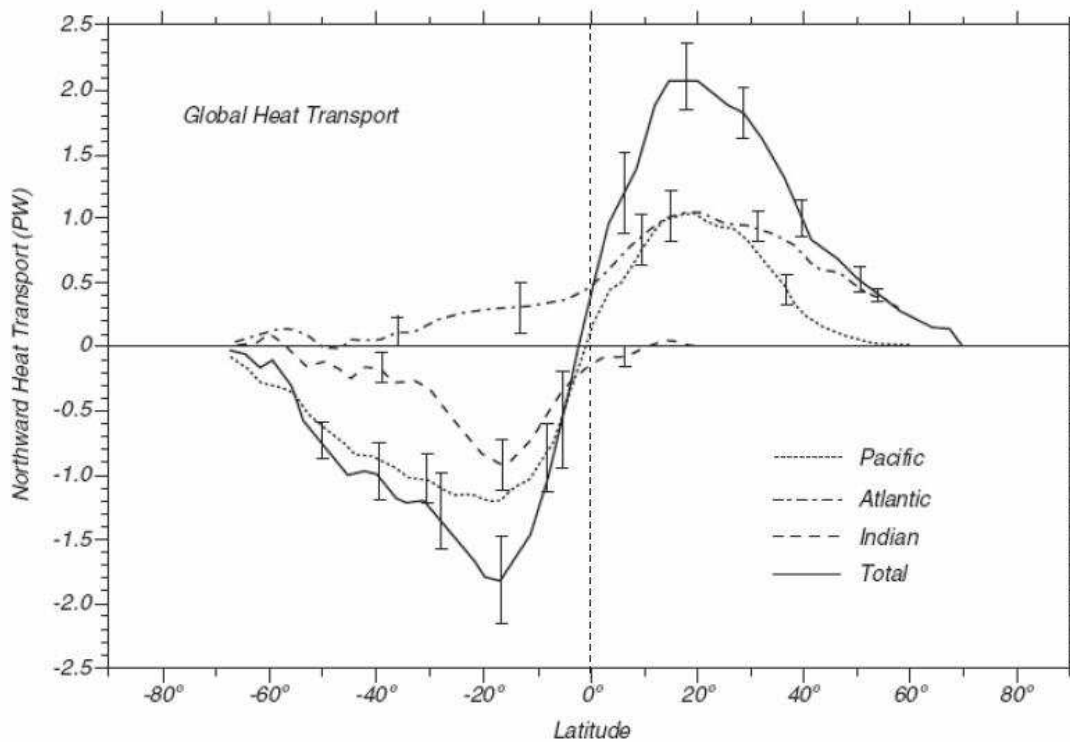


Figure 4 : Transport méridien de chaleur vers le Nord par les océans.

Les océans sont donc un acteur extrêmement important pour l'équilibre énergétique de la planète et jouent un rôle non négligeable dans la variabilité du système climatique. Un exemple connu de ce deuxième point est le phénomène El Niño.

Si l'atmosphère et les océans sont tous les deux impliqués dans l'équilibre énergétique de la Terre, leur dynamique est très différente. Les perturbations qui ont lieu dans l'atmosphère sont atténuées au bout de quelques semaines maximum à cause notamment de la forte turbulence de cette enveloppe. En revanche, les perturbations dans l'océan, au regard de l'inertie thermique vue précédemment, peuvent rester pendant plusieurs mois dans la couche de surface bien mélangée, et pendant plusieurs siècles pour les eaux profondes. Les océans ont donc bien une mémoire longue des perturbations thermique. Si la grande inertie thermique garde en mémoire les perturbations, elle permet aussi de les atténuer (en amplitude) en restituant le signal sur de longues périodes. Les océans ont donc aussi un rôle tampon des variations climatiques. Cependant, les mécanismes en jeu, notamment le transfert des anomalies de température depuis la surface vers la profondeur des océans, restent mal connus et mal quantifiés. Les processus océaniques restent très complexes et ont été très simplifiés ici.

#### 1.4 Réfutation de l'argument concernant l'effet thermique des océans

Nous allons donc nous pencher sur l'argumentation du film. Tout d'abord, la base scientifique de leur argument est correcte puisque nous avons vu que les océans ont une mémoire des perturbations thermiques. Cependant, la durée de cette mémoire n'est que de quelques siècles, et au maximum de 1600 ans, le temps de renouvellement des eaux de l'océan, et non pas de 10000 ans comme cela est annoncé dans le film.

Est-ce que le réchauffement actuel serait un rééquilibrage thermique de l'océan à cause d'un réchauffement passé ? Nous devons regarder dans les archives climatiques afin de voir s'il y a eu un réchauffement conséquent il y a 1000 ans environ. Ce que nous pouvons voir c'est qu'il y a eu effectivement un réchauffement, l'optimum médiéval (900-1200), il y a un millier d'année (fig.5). Cependant, l'amplitude de l'anomalie thermique était d'environ 0.5 °C pour l'optimum médiéval. Alors que depuis un siècle environ, l'augmentation de température est de 0.76°C (rapport IPCC 2007). De plus l'optimum médiéval a duré plusieurs siècles alors que nous observons une anomalie thermique d'amplitude importante depuis 150 seulement. Si le réchauffement actuel était le contre coup de l'optimum médiéval à cause de l'océan, le signal ne serait pas d'amplitude plus élevée et si brutal dans le temps. En effet, comme nous l'avons vu précédemment, les océans ont une dynamique lente et atténuent les perturbations.

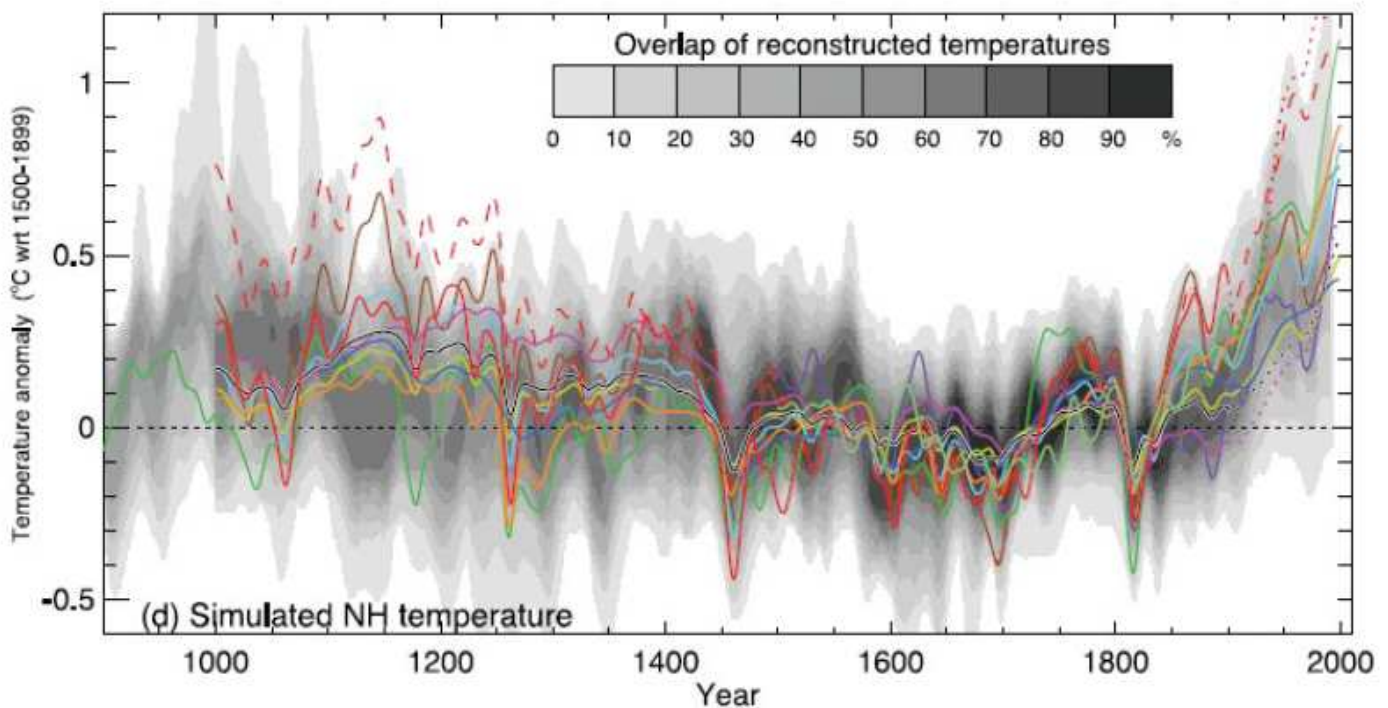


Figure 5 : Reconstruction des températures sur les derniers 1000 ans (Source : IPCC 1007).

D'autre part, si le réchauffement actuel était dû à un relargage de chaleur par les océans à cause de leur inertie thermique, ils devraient perdre leur chaleur vers l'atmosphère et donc leur contenu en chaleur devrait diminuer. Or ce n'est pas du tout ce qu'on observe. Des mesures entre 1993 et 2003 montrent que les océans se réchauffent en moyenne de 0.86 W/m<sup>2</sup>/an (moyenne sur 10 ans, globale et pour les 750 premiers mètres de l'océan, Hansen et al., 2005). Le contenu en chaleur des océans augmentent (fig.6), ce qui est incompatible avec un relargage de chaleur accumulée dans le passé.

## GLOBAL OCEAN HEAT CONTENT (0 - 700 m)

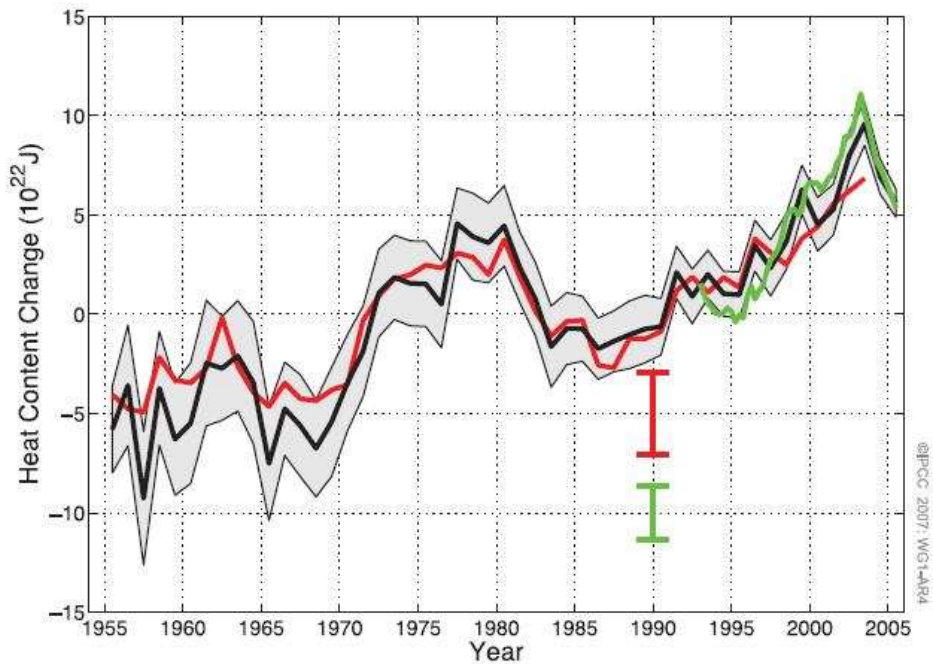


Figure 6 : Mesure du contenu en chaleur des océans depuis 1955 (rapport IPCC 2007). En noir : d'après Levitus et al., 2005 avec l'intervalle de confiance à 90% en grisé ; en rouge : Ishii et al. 2006, la barre d'erreur est indiquée sous la courbe ; en vert : Willis et al., 2004, la barre d'erreur est sous la courbe.

Au contraire, ce qu'on observe c'est que l'océan accumule de la chaleur actuellement, contribuant à réchauffer les océans. L'inertie thermique des océans va faire que ce réchauffement actuel va perdurer pendant probablement plusieurs siècles, même si l'augmentation de température s'arrête.

En conclusion de cette partie, nous pouvons dire que les océans possèdent une réelle inertie thermique, de l'ordre de plusieurs siècles, qui joue un rôle prépondérant dans la régulation du climat en tamponnant les variations climatiques. Cependant, le réchauffement global que l'on observe aujourd'hui (+0.76°C sur le dernier siècle) n'est très vraisemblablement pas dû à un réchauffement passé qui serait « réémis » par les océans aujourd'hui. Le réchauffement a donc une origine actuelle. En effet, l'explication donnée par le film n'est certes pas valable mais les variations naturelles décennales, multi-décennales ou à plus long terme sont encore très mal connues. En revanche, ce réchauffement actuel aura des conséquences dans le futur à cause justement de l'inertie thermique des océans : les variations climatiques seront certes atténuées dans le futur mais probablement prolongées, quand bien même l'action anthropique sera stoppée voire diminuée. D'autre part, ce que nous pouvons également noter, c'est que le contenu en chaleur des océans augmente : ils absorbent donc une partie du réchauffement global actuel. Le réchauffement atmosphérique que l'on mesure ne serait donc qu'une partie du réchauffement causé par l'homme. Nous estimons que 9/10<sup>èmes</sup> du réchauffement imputable aux GES seraient absorbés par les océans (Levitus et al. 2005). Cette quantification est corroborée par des modèles climatiques. Une nuance à apporter est que le réchauffement des océans n'est pas uniforme dans le temps (variabilité décennale ou multi-décennale) et dans l'espace : les 300 premiers mètres de l'océan sont plus affectés par le réchauffement. Il dépend aussi de la latitude. Il est donc parfois important de différencier réchauffement global et régional. Par ailleurs, le transfert des anomalies thermiques vers les eaux profondes a lieu par des processus encore mal identifiés.



## 2. Comment expliquer l'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère ?

### 2.1 Introduction

Nous avons étudié dans la partie précédente la cause du réchauffement climatique actuel. Nous avons conclu comme quoi ce réchauffement n'était pas dû à l'inertie thermique de l'océan, il est donc causé par un ou plusieurs autres facteurs qui ne sont pas étudiés ici. Cependant, l'océan possède un deuxième rôle important dans le système climatique terrestre, à savoir sur la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub>. Nous allons donc maintenant étudier l'augmentation de CO<sub>2</sub> observée depuis 150 ans en relation avec les océans (fig.8).

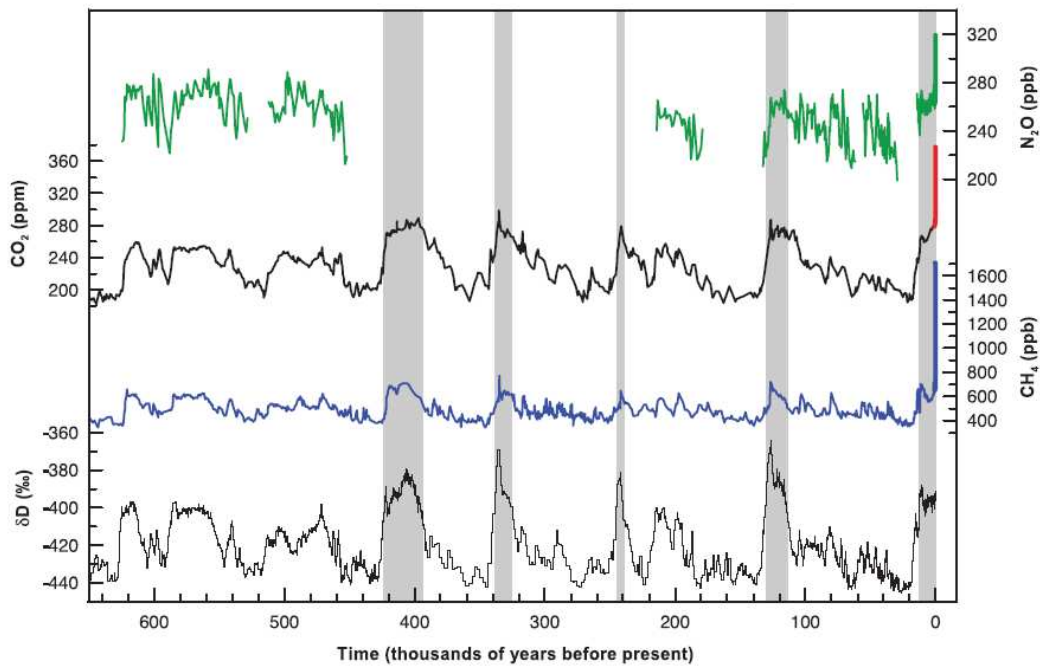


Figure 7 : Evolution de N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et δD en fonction du temps issue d'analyse de carottes de glace Antarctique (rapport IPCC 2007).

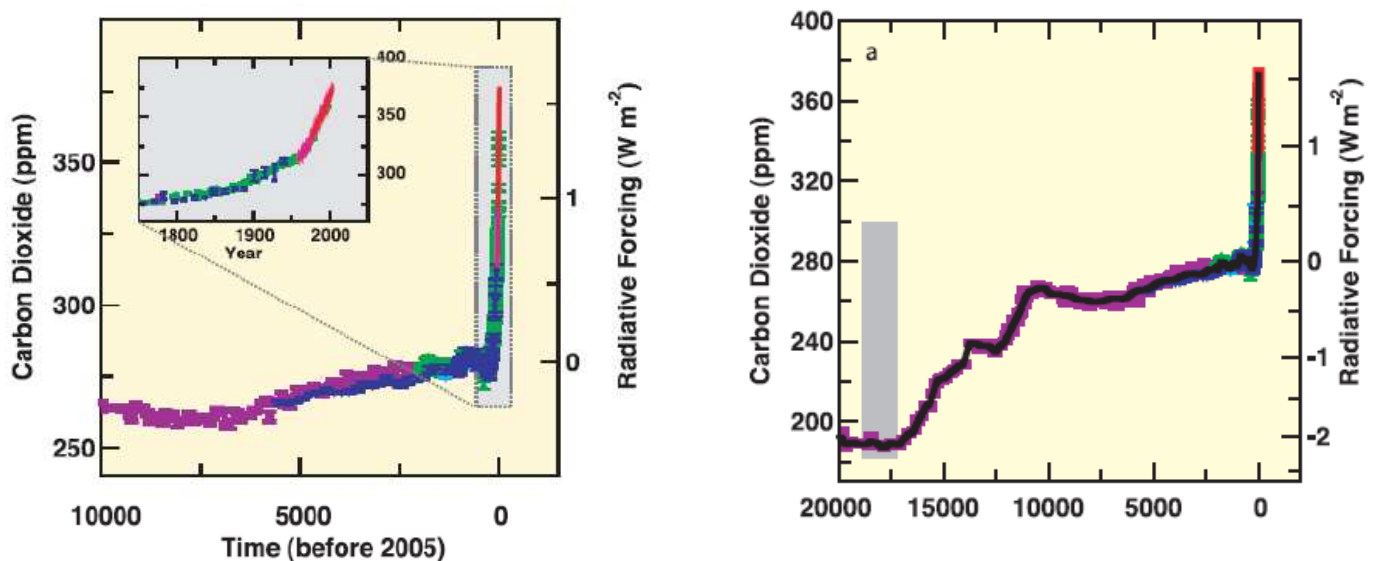


Figure 8 : Evolution de la concentration en CO<sub>2</sub> pendant l'holocène issue de différents proxys (rapport IPCC 2007).

## 2.2 Présentation de l'argument concernant le rôle de l'océan pour le cycle du carbone

Dans la partie 2 du film *l'arnaque du réchauffement climatique*, Carl Wunsch, explique le rôle de la température sur la capacité d'absorption du CO<sub>2</sub> par l'océan. Il s'ensuit que le réchauffement climatique actuel entraîne une baisse d'absorption du CO<sub>2</sub> par l'océan et donc une réémission de celui-ci dans l'atmosphère ce qui expliquerai l'augmentation actuelle de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. En effet, l'océan étant un gigantesque réservoir de carbone, le flux de carbone issue de l'océan serait très largement supérieur au flux de carbone anthropique. De plus, cet argument est confirmé dans le film par le fait que, dans le passé, l'augmentation de CO<sub>2</sub> suit avec un retard d'environ 800 ans l'augmentation de température.

## 2.3 Connaissances scientifiques sur les échanges entre l'atmosphère et l'océan

### 2.3.1 Capacité d'absorption du CO<sub>2</sub> par l'océan

Tout d'abord, étudions la capacité d'absorption du CO<sub>2</sub> par l'océan. La concentration en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et celle de l'océan tendent à se mettre à l'équilibre thermodynamique c'est-à-dire un moment où les concentrations de CO<sub>2</sub> restent constantes dans les deux parties (cet équilibre est donné par la loi de Henry, appelée aussi loi de Dalton, qui établit la concentration de gaz dissous dans une solution en fonction de la pression partielle du gaz et de la constante de Henry, qui dépend de la température, de la nature du gaz et de la nature de la solution (fig.9 et 10). Cet équilibre dépend donc de la solubilité du CO<sub>2</sub> dans l'eau de mer à travers la constante de Henry qui conditionne la quantité de dioxyde de carbone pouvant être absorbée ainsi que de la concentration de CO<sub>2</sub> atmosphérique à travers la pression partielle du CO<sub>2</sub>. Nous savons donc que, si la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'une des parties augmente, l'équilibre thermodynamique entraînera une concentration en CO<sub>2</sub> plus forte dans chacune des parties.

$$X_i = p_i / K_i$$

$X_i$  = fraction molaire du gaz i

$p_i$  = pression partielle du gaz i

$K_i$  = constante de Henry du gaz i dans la solution aqueuse déterminée

Nous allons maintenant étudier la solubilité du CO<sub>2</sub> dans l'eau de mer, qui revient à étudier la constante de Henry du CO<sub>2</sub> dans l'eau de mer. Elle est principalement influencée par la température, la salinité et la pression partielle de CO<sub>2</sub>. Nous nous plaçons à une pression partielle de CO<sub>2</sub> constante. Voici le graphique représentant la constante de Henry du CO<sub>2</sub> dans l'eau de mer en fonction de la température et en fonction de la salinité :



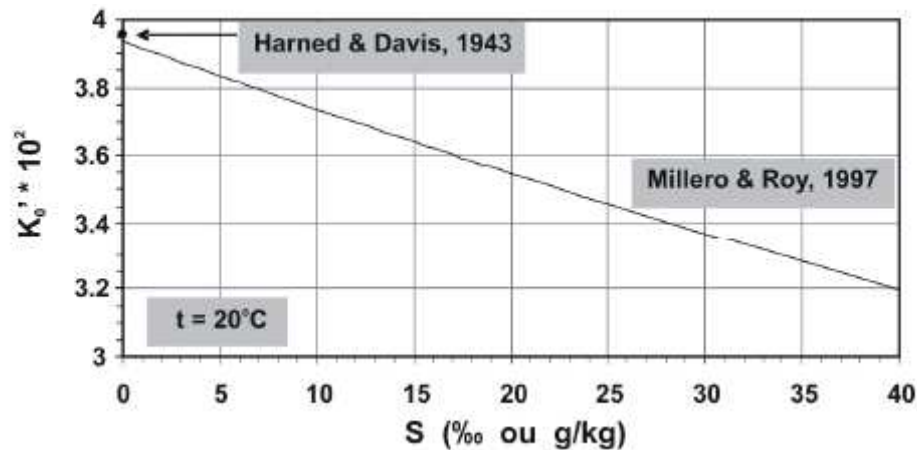
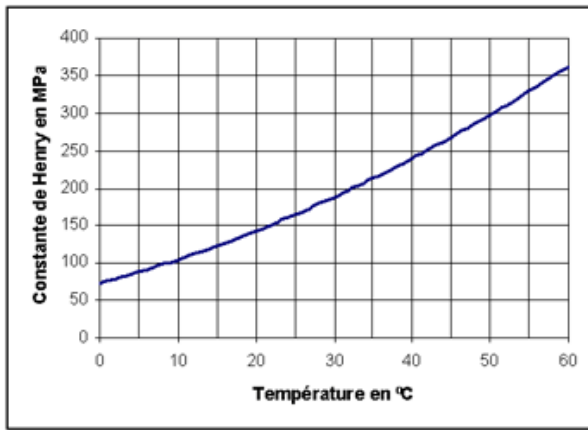


Figure 9 et 10 : Evolution de la constante de Henry en fonction de la température ; Evolution de la constante de Henry en fonction de la salinité (Millero et Roy, 1997).

Nous observons une augmentation de la valeur de la constante de Henry avec une augmentation de la température. Inversement, nous observons une diminution de la valeur de cette constante avec une augmentation de la salinité. D'après la loi de Henry, une augmentation de K entraîne une diminution de la fraction molaire du gaz dissous et inversement une diminution de K entraîne une augmentation de gaz dissous. Nous concluons donc qu'une eau chaude et peu salée peut contenir et donc absorber moins de CO<sub>2</sub> qu'une eau froide et très salée.

### 2.3.2 Facteur biologique affectant la quantité de carbone dissous dans l'océan

La température et la salinité agissent donc sur la quantité de CO<sub>2</sub> dissous dans l'océan. Cependant, la biosphère marine agit elle sur la quantité de CO<sub>2</sub> stocké par les océans ou plutôt absorbée par les micro-organismes marins. Il existe deux effets de la biosphère marine sur la quantité de CO<sub>2</sub> contenu dans l'océan, nous les appellerons « pompe organique » et « pompe carbonate ».

La « pompe organique » est provoquée par le phytoplancton. Quand il se développe, celui-ci consomme le CO<sub>2</sub> dissous dans l'océan par photosynthèse d'après la réaction chimique suivante :  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2$ , pour former son test. Nous voyons donc que ce processus permet une absorption plus grande du CO<sub>2</sub> par l'océan puisque celui-ci est consommé par le phytoplancton. Il faut cependant noter que pour une quantité de CO<sub>2</sub> donnée, ce processus est à l'équilibre (il ne diminue ni n'augmente pas la concentration de CO<sub>2</sub>) à cause de la mort du phytoplancton qui entraîne la décomposition de sa coquille et donc un rejet de CO<sub>2</sub>. En première approche, nous observons donc que si la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'océan (via une augmentation de CO<sub>2</sub> atmosphérique) augmente et que la température de l'océan augmente, le phytoplancton sera plus développé et consommera donc plus de CO<sub>2</sub> dissous dans l'océan ce qui justifie le titre de « pompe organique ». Cependant la croissance du phytoplancton dépend aussi de la présence de nutriments dans l'océan ainsi que de son pH.

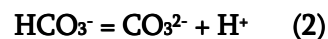
La « pompe carbonate » est la formation de calcaire par le calcium et les ions carbonates dissous dans les océans. Cette formation a lieu au fond des océans. Nous parlons également de « pompe carbonate » car le CO<sub>2</sub> dissous dans l'océan sous forme d'ions carbonates CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> réagit avec les ions calciums Ca<sup>2+</sup> pour former du calcaire (CaCO<sub>3</sub>) qui est très peu réactif et permet un stockage à long terme du carbone dans l'océan. Comme il est dit précédemment pour la « pompe organique », la quantité de calcaire formée est à l'équilibre avec la quantité de CO<sub>2</sub> dissous dans l'océan via la dissolution des carbonates de calcium (calcaire). Et de la même façon aussi que précédemment, une augmentation de CO<sub>2</sub> océanique entraîne une augmentation de formation de calcaire. Cependant, la température peut avoir un effet sur la dissolution de ces calcaires ainsi que le pH et la pression de l'eau au fond des océans (par dilatation des océans).

Nous concluons donc qu'une augmentation de concentration en CO<sub>2</sub> dans l'océan ainsi qu'une augmentation de température entraîne une pompe biologique plus active. L'océan se comporte donc comme un puits de dioxyde de carbone. Cependant, il faut garder en mémoire que cette pompe dépend aussi du pH de l'océan, de la présence de nutriments, ... et que le rôle de puits de l'océan peut donc évoluer.

### *2.3.3 Autres facteurs agissant sur les échanges de CO<sub>2</sub> entre l'atmosphère et l'océan*

De nombreux autres facteurs agissent sur la quantité de carbone dissous et donc stocké dans l'océan. Les autres facteurs importants sont les suivants sachant que cette liste n'est pas exhaustive : le pH de l'eau de mer, la circulation thermohaline, la tectonique, ... La circulation thermohaline, en fonction de sa force et de sa vitesse, peut permettre un échange plus important entre océan et atmosphère (océan froid et salé qui arrive en surface et peut donc absorber beaucoup de dioxyde de carbone) ou moindre par une plus grande stratification de l'océan et donc peu d'échange entre l'eau superficiel et profonde ce qui réduit la capacité d'absorption du CO<sub>2</sub> par l'océan. Nous ne parlerons pas ici de tectonique car les échelles de temps à laquelle elle intervient sont beaucoup plus grande que celle qui nous intéresse dans la suite.

Nous allons examiner rapidement le rôle du pH quand à la capacité de l'océan d'être un puits de CO<sub>2</sub>. Le dioxyde de carbone dans l'océan suit deux étapes de dissolution qui sont les réactions chimiques suivantes :



La répartition du CO<sub>2</sub> dans l'océan sous ses différentes formes est environ de 1% en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), 90 % en hydrogénocarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et 9% en ions carbonates (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>). Le pH actuel de l'océan est d'environ 8,1. Il est donc basique et favorise la dissolution du dioxyde de carbone qui lui tend à acidifier les océans. La plus grande concentration en hydrogénocarbonate est expliquée par la constante de réaction (1) qui est favorisée au pH actuel de l'océan. De plus, la quantité de CO<sub>2</sub> dissous dans l'océan est limitée par la formation d'ions carbonates. Une augmentation de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère entraîne donc une acidification de l'océan ce qui entraîne une diminution de la capacité de dissolution du CO<sub>2</sub> dans l'océan.



### 2.4.2 Explication de l'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère

Comme nous venons de le voir, une part du CO<sub>2</sub> atmosphérique aujourd'hui est d'origine anthropique via la combustion d'énergies fossiles. Cependant, comme le montre le graphique suivant, la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub> augmente moins que ce qu'elle devrait si toutes nos émissions de CO<sub>2</sub> restaient dans l'atmosphère (fig.12) :

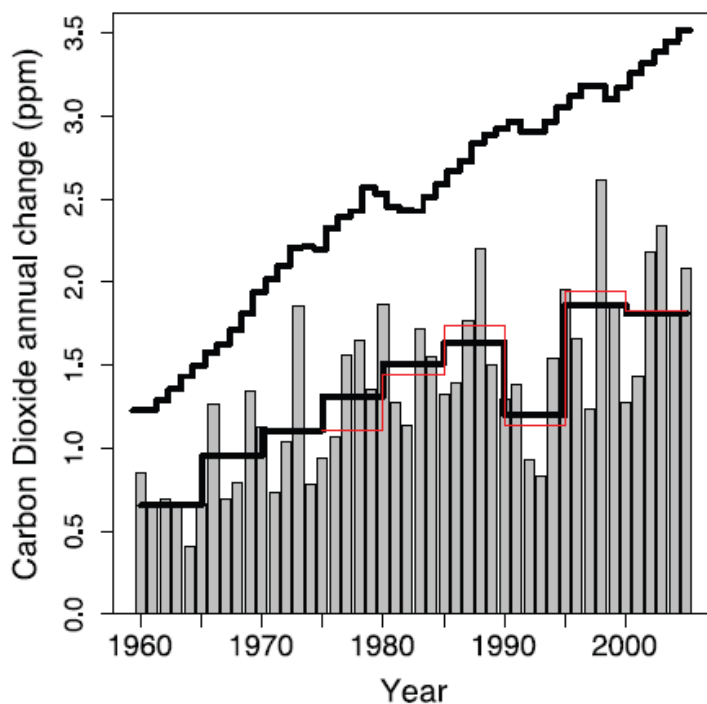


Figure 12 : Evolution de l'émission de CO<sub>2</sub> anthropique et de la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub> au cours des 45 dernières années (rapport IPCC 2007).

L'explication de ce phénomène est que l'hydrosphère, dont la principale composante est l'océan, et la biosphère se comporte aujourd'hui comme un puits de carbone. Nous avons donc un rôle modérateur de l'hydrosphère et de la biosphère donc en particulier de l'océan.

Enfin, l'océan ne peut être une source de carbone dans l'atmosphère. En effet, bien que sa capacité d'absorption diminue (voir partie 2.3.) avec l'augmentation de sa température et avec une diminution de son pH (résultats qui sont observés), comme l'océan n'est pas encore saturé en carbone sous ses trois formes dissoutes, il se comporte encore aujourd'hui en puits de carbone. De plus, l'augmentation rapide des concentrations de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère ne peut être expliquée par le fait que l'océan soit une source de carbone compte tenu de sa grande inertie (« oceans are so big and so deep they take literally hundreds of years to warm up and cool down »).

### 2.4.3 Devenir du puits océanique

Dans cette partie, nous n'allons pas étudier en détail les projections futures du devenir de l'océan (ceci est fait dans le quatrième rapport de l'IPCC) mais faire deux remarques au sujet de l'avenir de ce puits océanique.

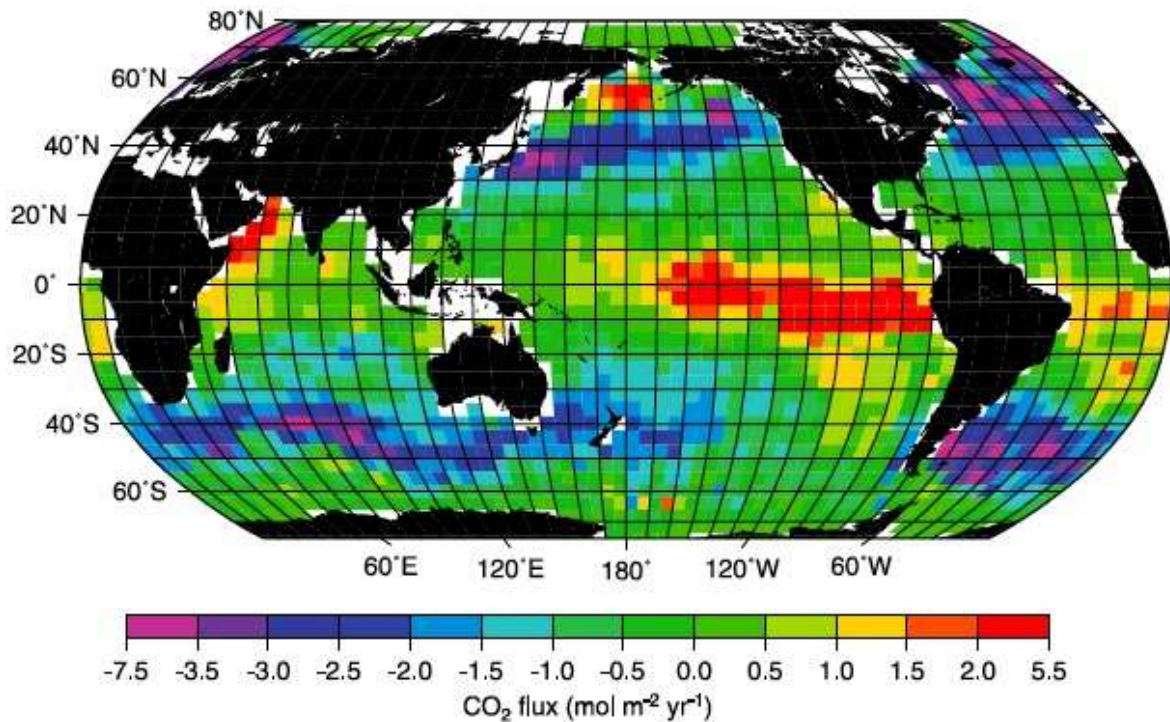


Figure 13 : Flux de CO<sub>2</sub> à la surface des océans vers l'atmosphère. Les zones en bleu représentent les puits de CO<sub>2</sub> dans l'océan (rapport IPCC 2007).

Tout d'abord Carl Wunsch dénonce l'utilisation déformée de son intervention le film *l'arnaque du réchauffement climatique*. Voici ce qu'il a dit à propos de l'utilisation de son intervention: "*my intent was to explain that warming the ocean could be dangerous, because it is such a gigantic reservoir of carbon. By its placement in the film, it appears that I am saying that since carbon dioxide exists in the ocean in such large quantities, human influence must not be very important – diametrically opposite to the point I was making – which is that global warming is both real and threatening*" (Wunsch, 2007). Nous voyons donc deux choses: la première est la mauvaise intention des auteurs du film qui visent simplement à décrédibiliser les scientifiques qui travaillent sur le réchauffement climatique. La deuxième, plus scientifique, montre l'incertitude quand au devenir du puits océanique, qui pourrait devenir une source de carbone. Cette idée nous amène à la deuxième remarque que nous voulions faire dans ce paragraphe, quand à l'acidification et la hausse des températures de l'océan. Ces deux phénomènes engendrent une baisse de la capacité d'absorption du CO<sub>2</sub> dans l'océan et donc une atténuation de l'effet régulateur de l'océan sur l'augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère (Fig.13).

## Conclusion

L'étude des différents mécanismes de transferts de chaleur entre l'océan et l'atmosphère ainsi que les échanges de CO<sub>2</sub> entre ces deux corps ont été étudiés dans cette synthèse. Tout d'abord, nous avons vu (première partie) que l'océan possède une inertie thermique importante et qu'il conserve donc une mémoire des changements passés de température. Cependant, nous avons montré que le réchauffement actuel n'est pas dû à un réchauffement atmosphérique par l'océan (amplitude et vitesse trop élevée ainsi que réchauffement de l'océan et non re-largage de chaleur par celui-ci) mais inversement que le réchauffement atmosphérique actuel entraîne un réchauffement de l'océan et qui sans doute continuera pendant longtemps dû à l'inertie thermique de l'océan, entraînant par la suite une rétroaction positive sur la température de l'atmosphère si celle-ci vient à diminuer. Ensuite, nous avons vu que la concentration en CO<sub>2</sub> atmosphérique augmente depuis les deux cents dernières années. Nous avons montré qu'elle n'est pas due à l'émission de carbone par l'océan mais aux émissions anthropiques (isotopes du carbone qui montrent du CO<sub>2</sub> atmosphérique issue de combustion fossile et océan qui est un puits de carbone).

Il faut cependant faire attention à deux idées importantes. En premier, il subsiste de nombreuses incertitudes sur les mécanismes d'échange entre l'océan et l'atmosphère aussi bien d'un point de vue thermique que pour le dioxyde de carbone. En effet, des incertitudes importantes existent sur les flux de chaleur par les différents phénomènes étudiés dans la première partie entre l'océan et l'atmosphère. De plus, la dynamique des océans, la circulation thermohaline ainsi que l'influence de la salinité, de la fonte des calottes polaires, ... sur cette circulation océanique sont des processus encore mal connus. Par exemple, il est difficile de connaître à quelle vitesse la circulation océanique peut être modifiée par une débâcle d'une calotte polaire. Enfin, nous connaissons mal les rétroactions d'une augmentation de salinité et d'une baisse du pH dans l'océan sur les pompes biologiques. La deuxième idée à laquelle il faut prêter attention est la suivante : aujourd'hui l'océan est un puits de carbone mais il est envisageable que celui-ci devienne une source dans le futur comme le dit Carl Wunsch quand il réfute l'utilisation erronée faite par son intervention dans le film *l'arnaque du réchauffement climatique*. En effet, l'océan peut devenir saturé en carbone et donc réémettre celui-ci vers l'atmosphère. Et enfin, un changement de température, de pression ou de circulation océanique peut déstabiliser les carbonates de calcium déposés au fond des océans, ce qui pourrait entraîner une émission très importante de carbone vers l'atmosphère.



## Bibliographie

### *Sites internet :*

Wikipédia : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Accueil>

Encyclopédie universalis : <http://www.universalis.fr>

Real climate : <http://www.realclimate.org/>

Climate of denial°: <http://www.climateofdenial.net/>

### *Livres:*

La machine océan (1999), J-F Minster, Flammarion.

Océan et Climat (2006), J. Merle, IRD Editions.

### *Articles scientifiques:*

Crueger et al. (2008) Ocean dynamics determine the response of oceanic CO<sub>2</sub> uptake to climate change, *Clim. Dyn.*, 31, 151 - 168.

Goosse et Ranssen (2006) Regional response of the climate system to solar forcing : the role of the ocean, *Space Science Reviews*, 125, 227 - 235.

Hansen et al. (2005) Earth's Energy Imbalance: Confirmation and Implications, *Science*, 308.

Huhle et al. (2004) Le cycle du carbone et le réchauffement climatique, Atelier changement climatique ENPC

Millero et Roy (1997) A chemical equilibrium model for the carbonate system in natural waters, *Croatia chemical acta*, 70, 1 – 38.

Quay, Tilbrook et Wong (1992) Oceanic uptake of fossil fuel CO<sub>2</sub>: carbon-13 evidence, *Science*, 256, 74 – 79.

Rapport IPCC 2007

Rive et al. (2007) Complaint to Ofcom Regarding “The Great Global Warming Swindle”.

Stuiver, Burk et Quay (1984) <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C ratios and the transfer of biospheric carbon to the atmosphere, *J. Geophys. Res.*, 89, 1731 - 1748.

[Wunsch](#) (11 March 2007) "[Partial Response to the London Channel 4 Film "The Great Global Warming Swindle"](#)".