

Océan et Climat

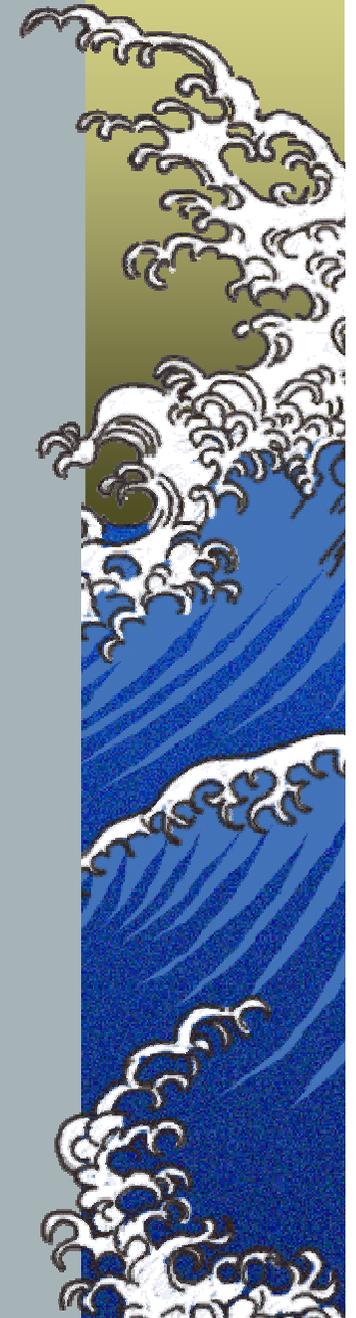
Pascale Delecluse

Directeur-adjoint de la Recherche

Météo-France

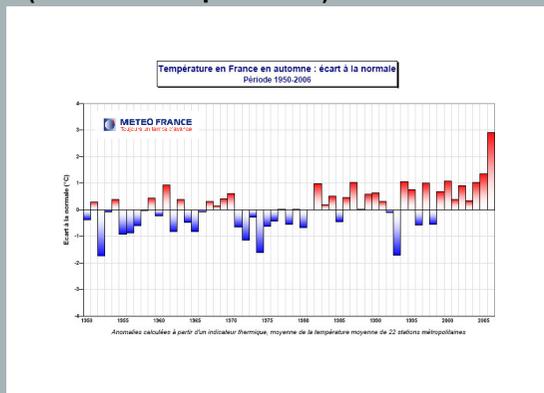
Bureau des longitudes

6 novembre 2007

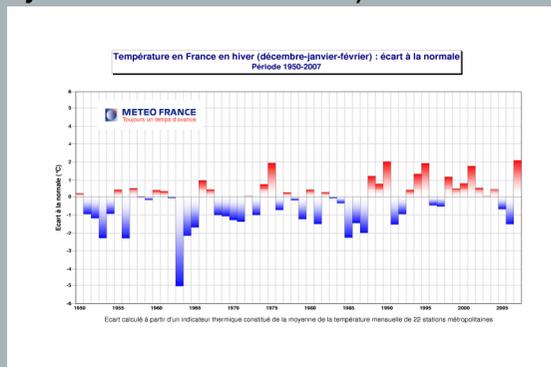


Des saisons qui ne se ressemblent pas ...

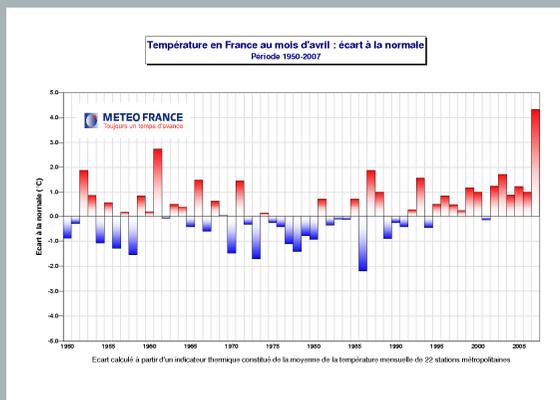
- Automne 2006 exceptionnellement chaud
- anomalie : +2,9°C
- (le + chaud depuis 1950)



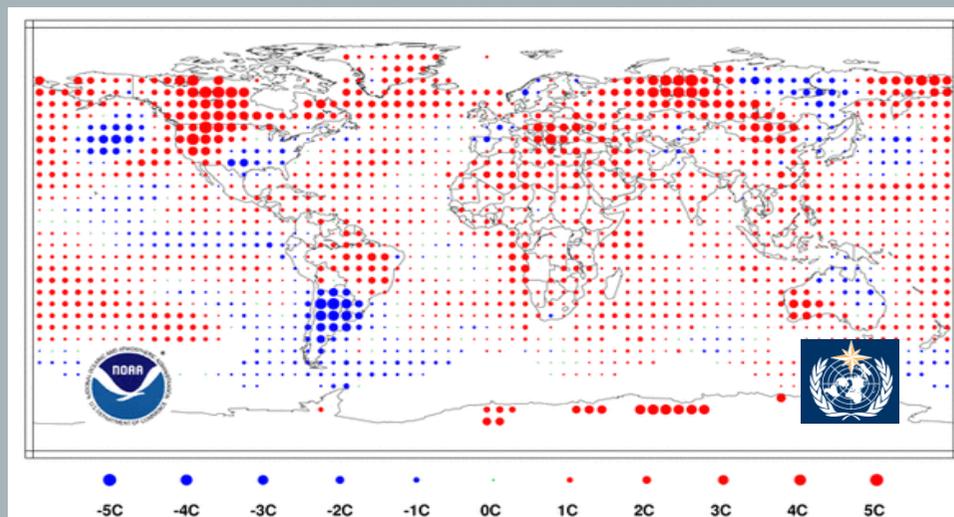
- Hiver 2006/2007 également au 1^{er} rang
- anomalie : +2,1°C (conséquence des mois de janvier et février très doux)



- Avril 2007 exceptionnellement chaud
- anomalie : +4,2°C
- (le + chaud depuis 1950)

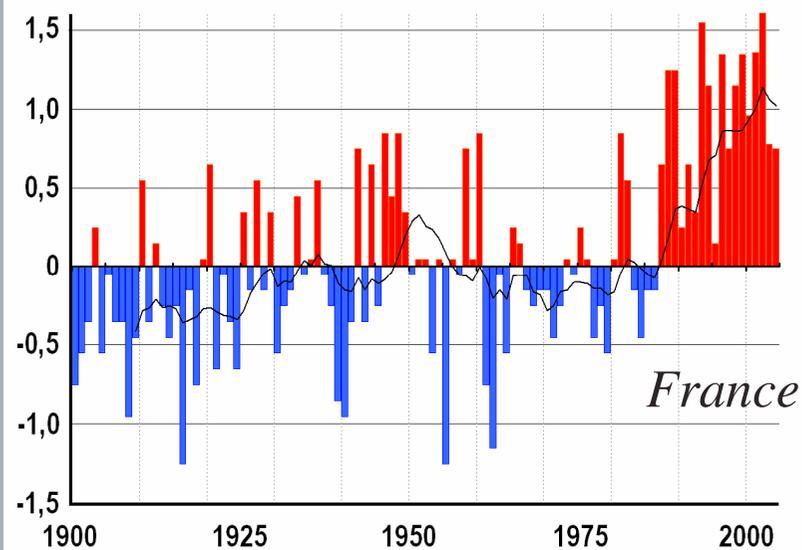
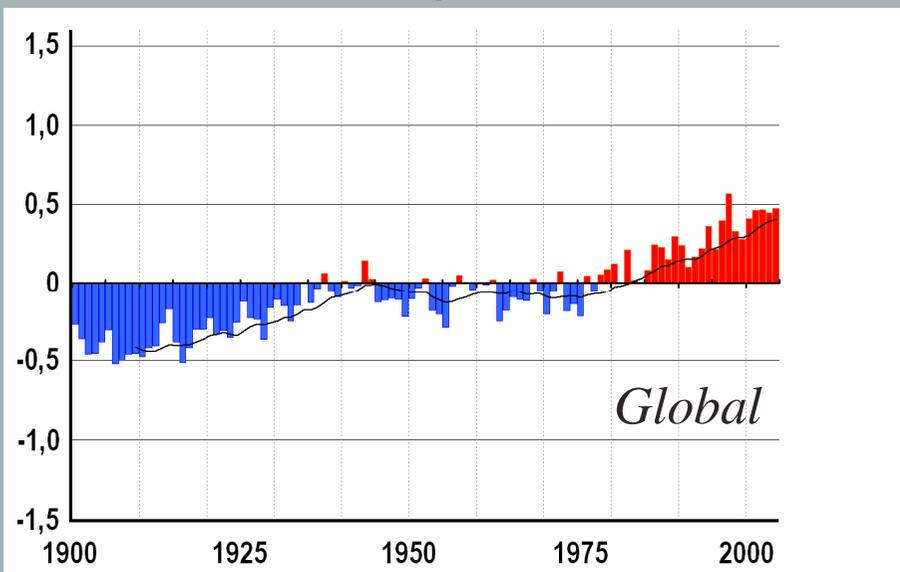


- Juillet 2007 frais et pluvieux
- Dans un climat global chaud...



Observations de température

Température



Augmentation de la température globale

De 0,76°C de le début de l'ère industrielle
De 0,74°C [0,56°C à 0,92°C] entre 1906 et 2005

La vitesse de réchauffement augmente
0,13°C/décennie pour les 50 dernières années
Soit le double de la pente sur le dernier siècle

11 des 12 dernières années sont au palmarès
des années les plus chaudes depuis 1850.

**En France : suivi du signal global avec une
amplitude près de deux fois plus forte**

Evolution des gaz à effet de serre

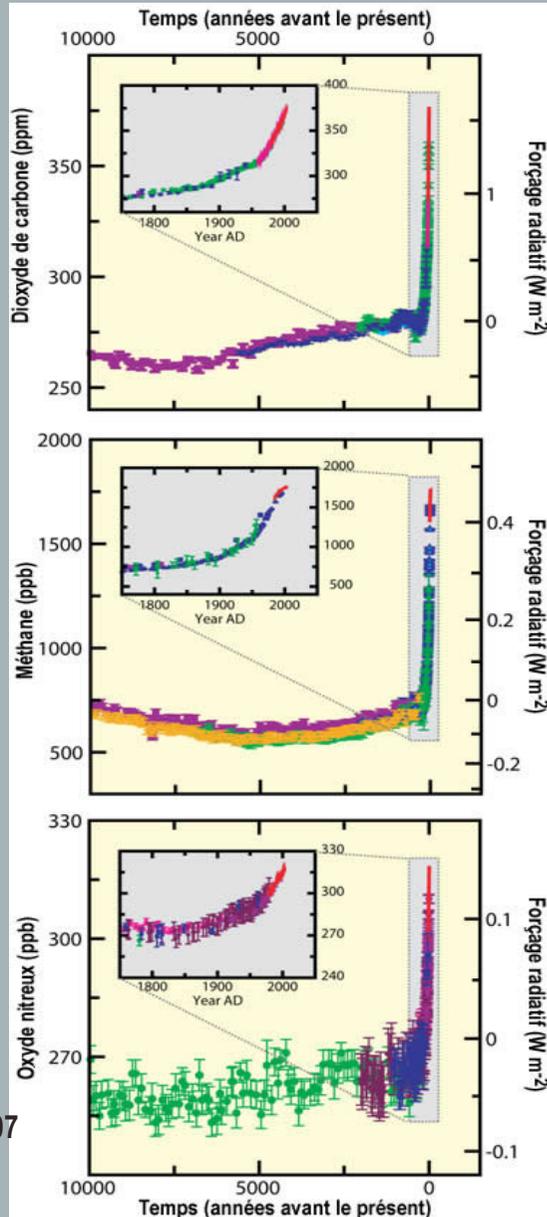


CO₂
+36 %
Depuis
250 ans

CH₄
+30 %
Depuis
25 ans
12 ans

N₂O
114 ans

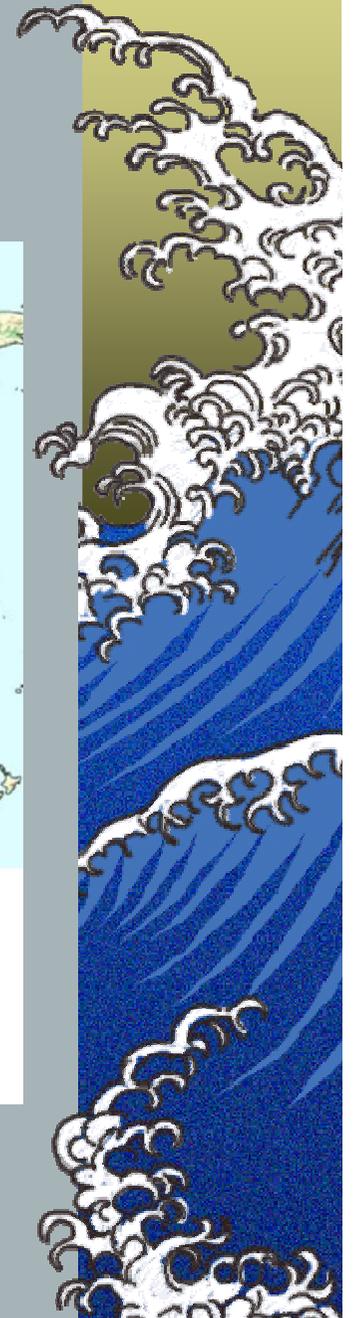
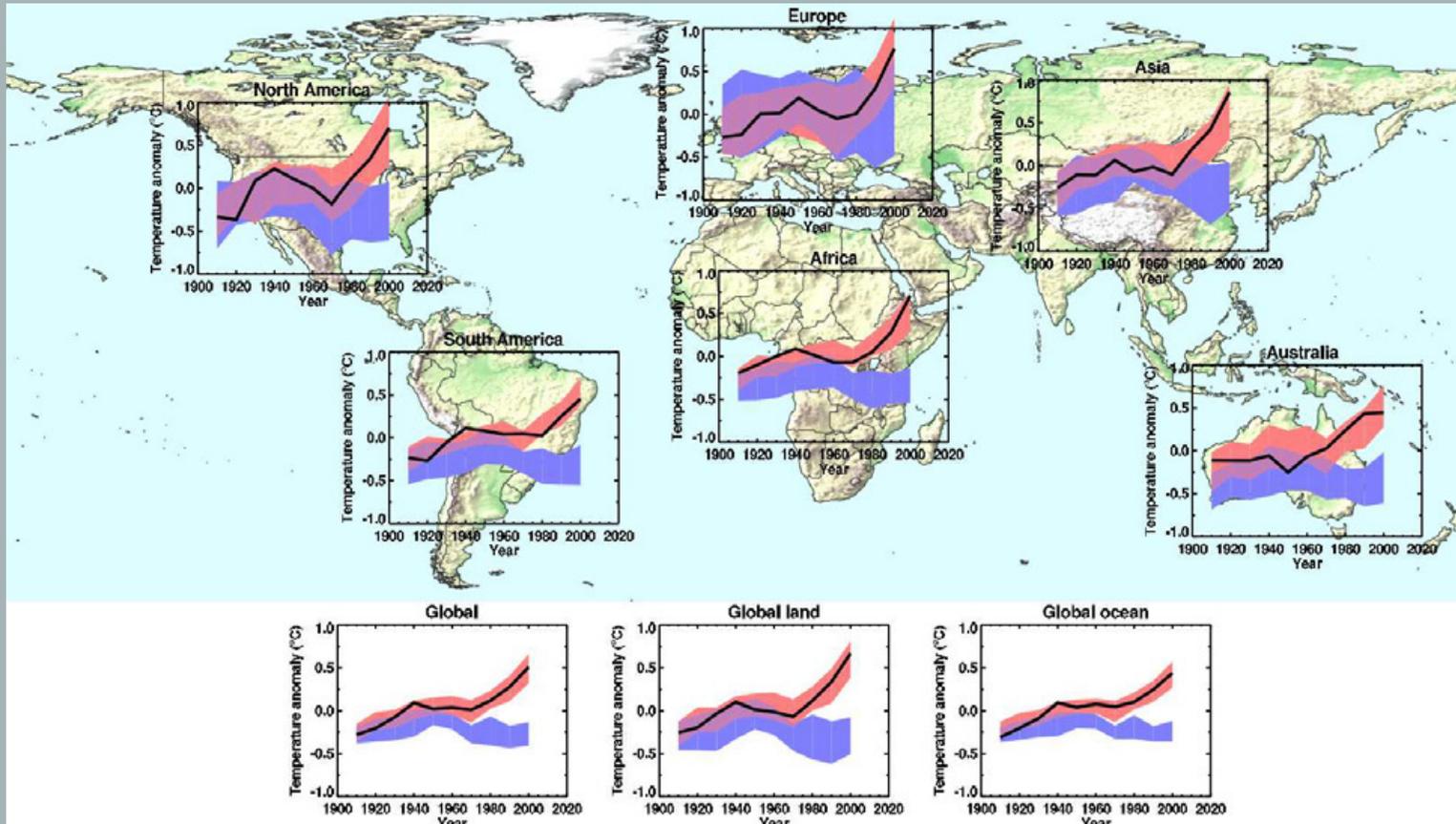
GIEC AR4, 2007



« Les concentrations mondiales actuelles de dioxyde de carbone, de méthane et de protoxyde d'azote ont crû de façon notable par suite des activités humaines depuis 1750 et maintenant dépassent largement les valeurs préindustrielles déterminées à partir des carottes de glace couvrant plusieurs milliers d'années. Les augmentations du dioxyde de carbone sont principalement dues à l'utilisation des combustibles fossiles et au changement d'utilisation des terres, tandis que ceux du méthane et du protoxyde d'azote sont principalement dus à l'agriculture. »



La main de l'homme



L'océan et le système climatique

Partie 1 - Comment se caractérise l'océan ?

Qu'est-ce qui fait bouger l'océan ?

Comment se transforment les eaux océaniques ?

Les grandes caractéristiques de la circulation

Partie 2- Comment l'océan intervient dans le climat ?

El Niño : le couplage tropical

Oscillation Nord Atlantique : variabilité décennale

Événements d'Heinrich : surprises climatiques

Partie 3- Questions pour le 21^{ème} siècle

Le niveau de la mer

L'océan géochimique

Les risques de circulation

L'océan sous surveillance



L'océan et le système climatique

Partie 1 - Comment se caractérise l'océan ?

Qu'est-ce qui fait bouger l'océan ?

Comment se transforment les eaux océaniques ?

Les grandes caractéristiques de la circulation

Partie 2- Comment l'océan intervient dans le climat ?

El Niño : le couplage tropical

Oscillation Nord Atlantique : variabilité décennale

Événements d'Heinrich : surprises climatiques

Partie 3- Questions pour le 21^{ème} siècle

Le niveau de la mer

L'océan géochimique

Les risques de circulation

L'océan sous surveillance



Quelques chiffres pour caractériser l'océan

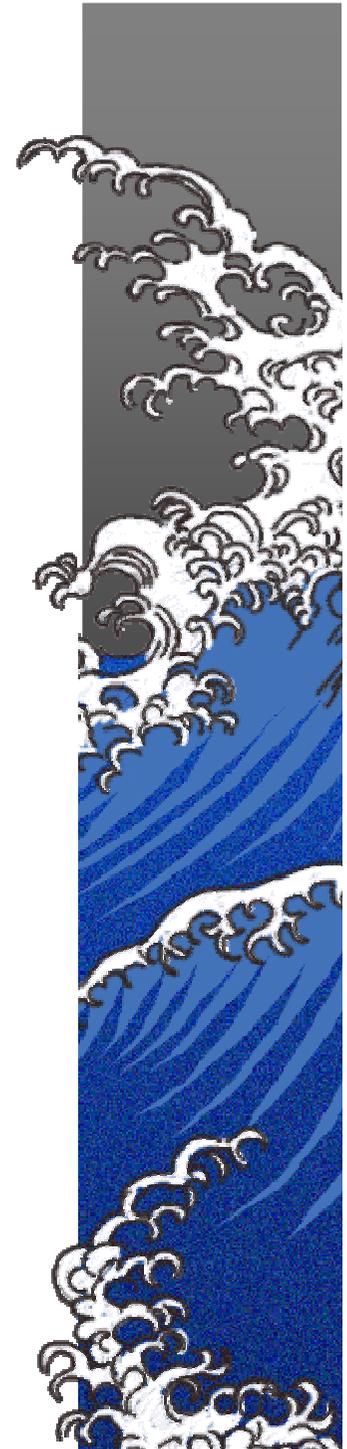
70% de la surface terrestre, 97% de l'eau

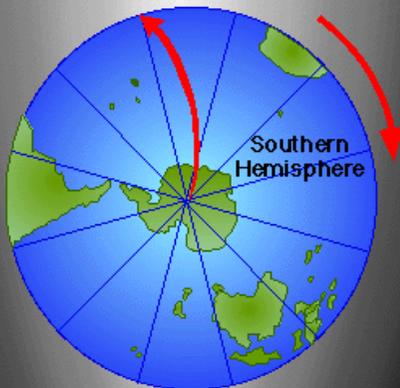
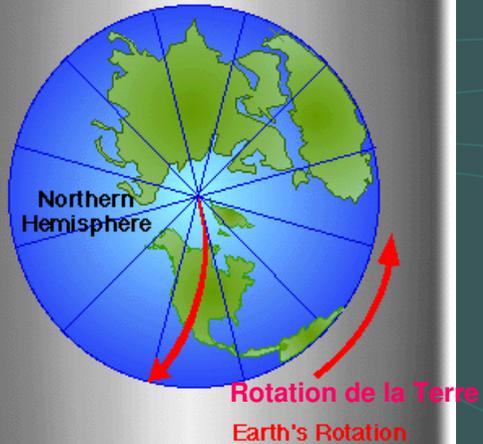
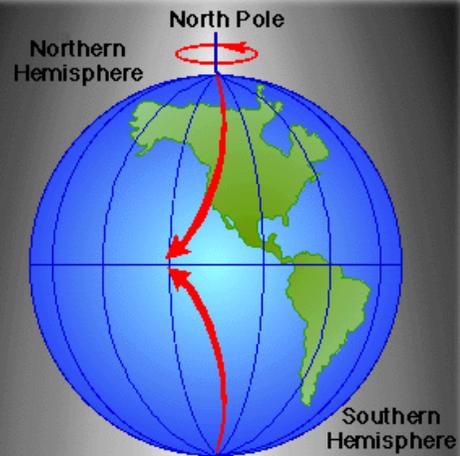
- ▲ *Température :*
- ▲ *De $-1,8^{\circ}\text{C}$ en région polaire à 32°C dans mers semi-fermées*
- ▲ *75% de l'océan entre 0°C et 4°C*

- ▲ *Salinité :*
- ▲ *De 33 psu (g/kg) à 37 psu (g/kg)*
- ▲ *75% de l'océan entre 34,4 et 34,7*

- ▲ *Masse volumique $\rho(T, S, p)$:*
- ▲ *Avec $\rho_m = 1025 \text{ kg/m}^3$ ($1000 \times \rho_a$) de 1023 à 1028*
- ▲ *Et $\sigma = \rho_m - 1000$*

- ▲ *Capacité thermique*
- ▲ *Très supérieure à celle de l'air*
- ▲ *2,5 m d'eau = toute la colonne d'air*





Un océan sur une Terre en rotation

Chaque point possède une vitesse intrinsèque d'entraînement, en fonction de la latitude

⇒ Vitesse d'entraînement vers l'est,

⇒ Maximale à l'équateur

Chaque point possède une capacité intrinsèque de rotation, en fonction de la latitude

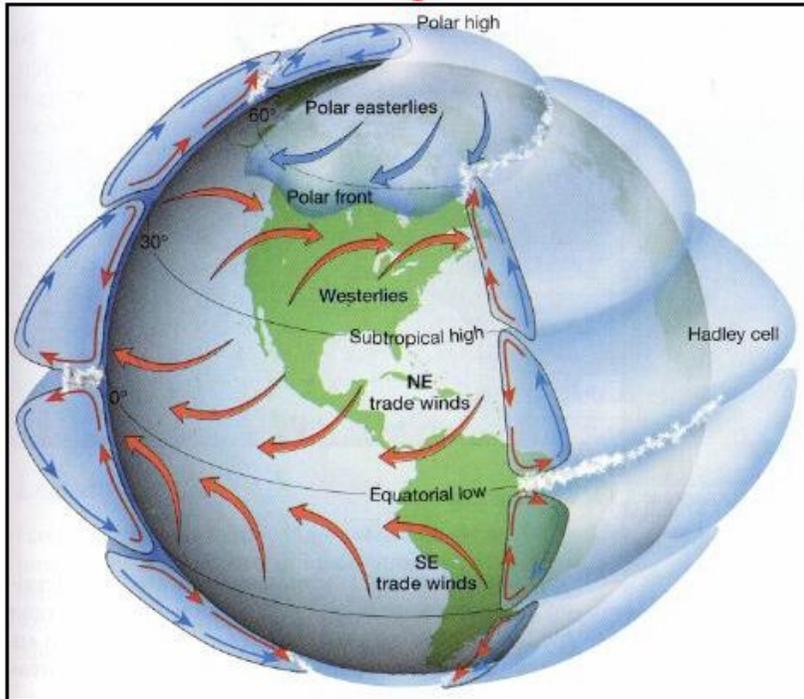
⇒ Rotation positive au nord, maximale au pôle nord

⇒ Rotation négative au sud, maximale au pôle sud

⇒ Et nulle à l'équateur

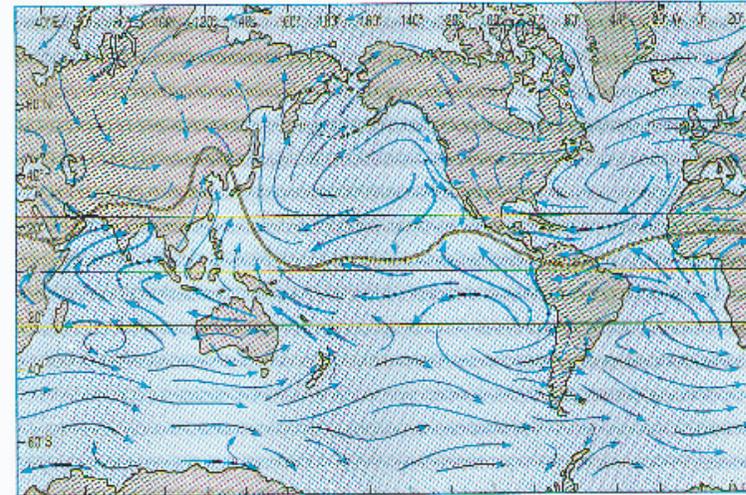
Un océan entraîné par les vents

Rotating Earth



Eté

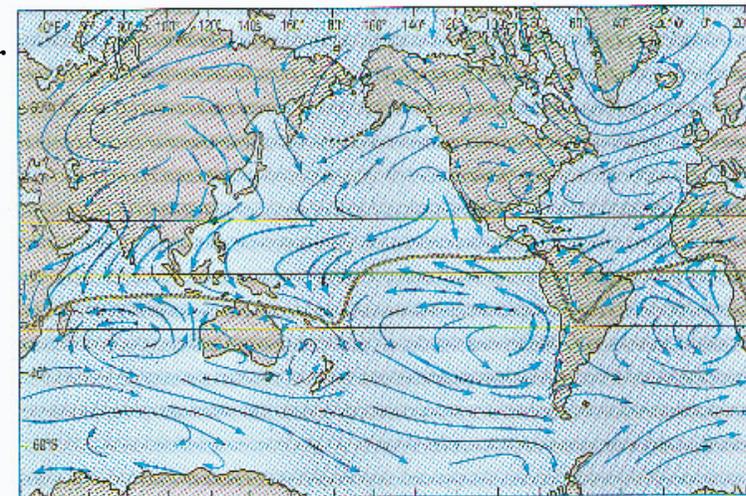
SUMMER



— mean position of ITCZ — most frequent wind direction — prevailing wind direction (≥ 50% of observations)

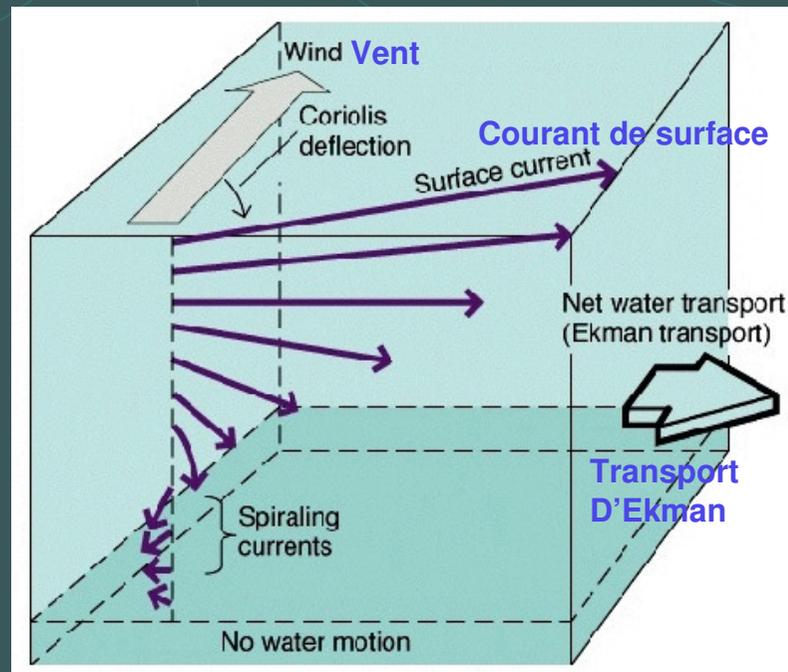
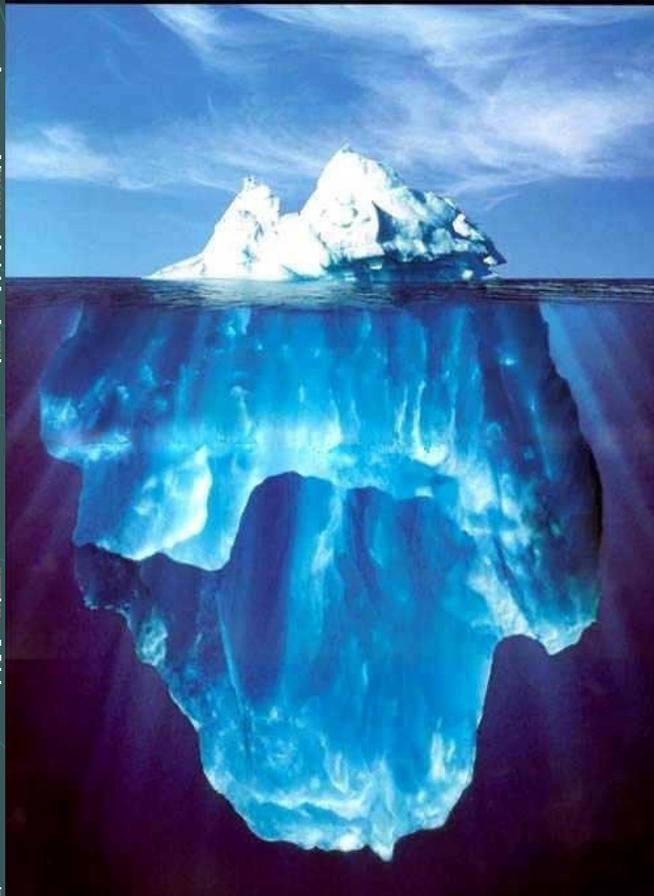
Hiver

WINTER



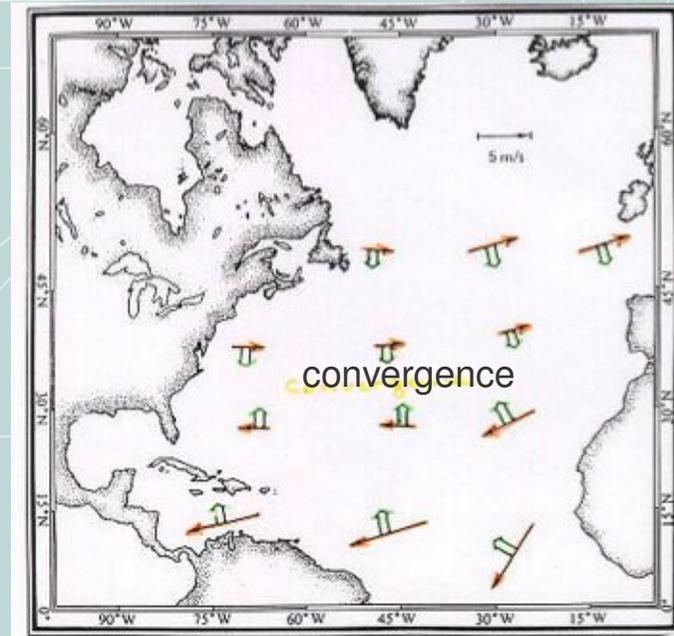
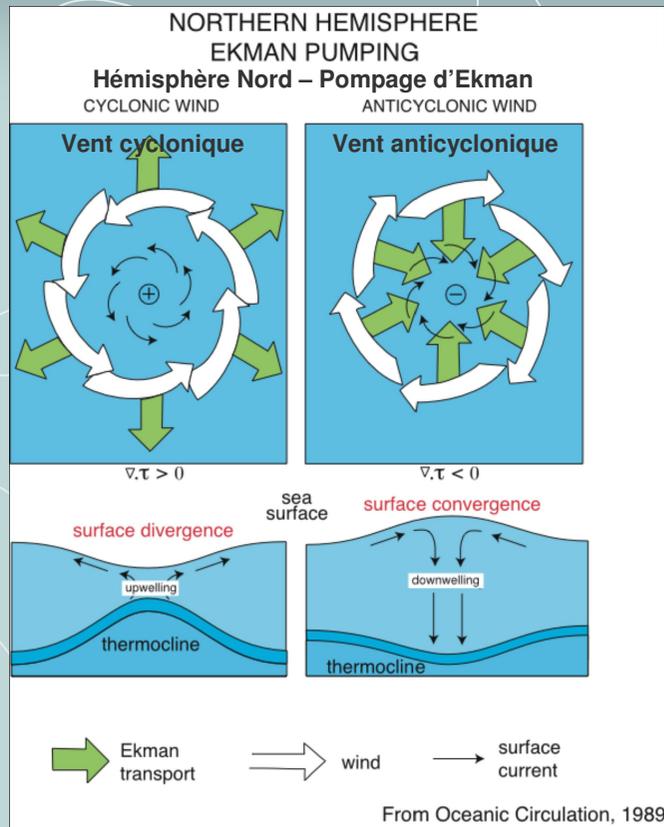
Entraînement par le vent Spirale d'Ekman et courants de surface

*Etat stationnaire, Océan homogène
Accélération de Coriolis équilibrée par diffusion*

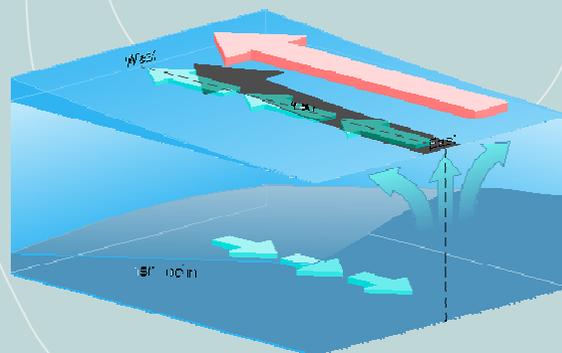


$$\text{Transport d'Ekman} : \mathbf{T}_E = \int_{h \rightarrow s} \mathbf{u}_h \, dz$$

Entraînement par le vent : transport d'Ekman

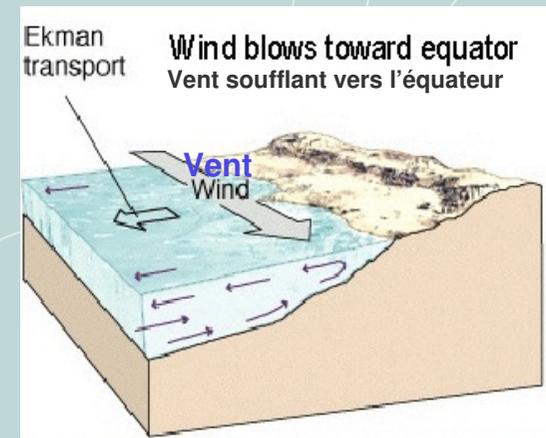


1



Upwelling équatorial : Singularité de T_E à l'équateur

2



Upwelling côtier : Singularité de T_E à la côte

Notion de vorticité

Qu'est ce que la vorticité ?
C'est la capacité de rotation d'une particule

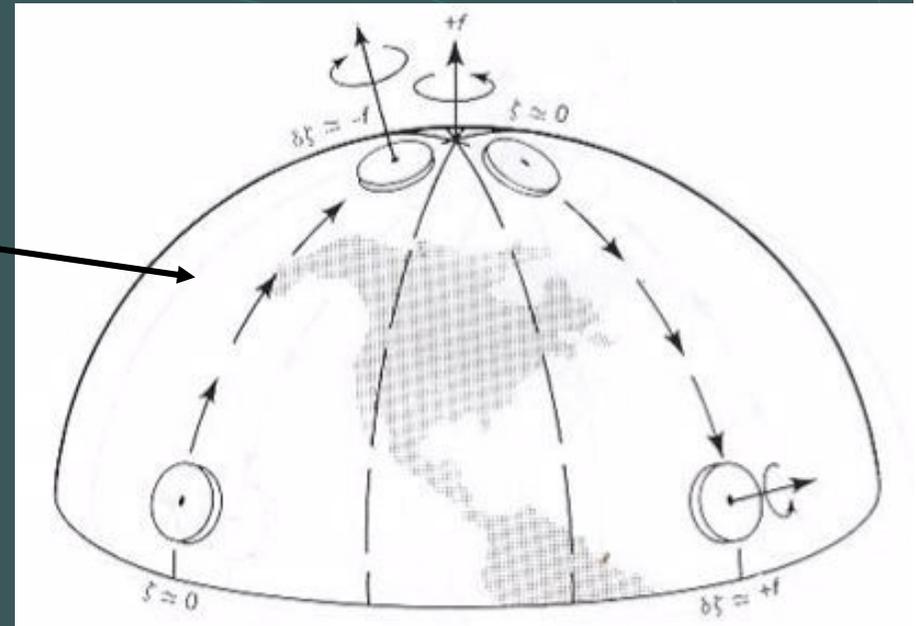
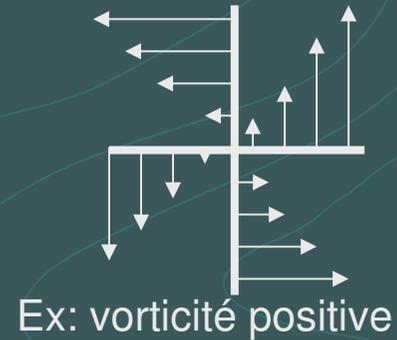
Formellement : $\zeta = \text{rot } \mathbf{u} \cdot \mathbf{k}$
 $= \partial v / \partial x - \partial u / \partial y$

Vorticité relative : ζ

Vorticité planétaire : $\zeta_p = f$

Vorticité totale : $\zeta_t = \zeta + f$

Conservation de la vorticité totale
d'une particule dans un déplacement
sur la sphère

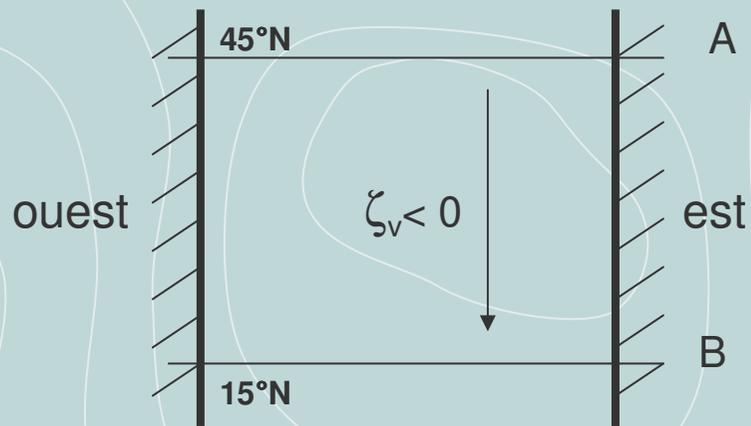


La circulation des grands bassins (Théorie de Sverdrup)

Objectif : Rationaliser le mécanisme de la circulation générale dans l'Atlantique nord.

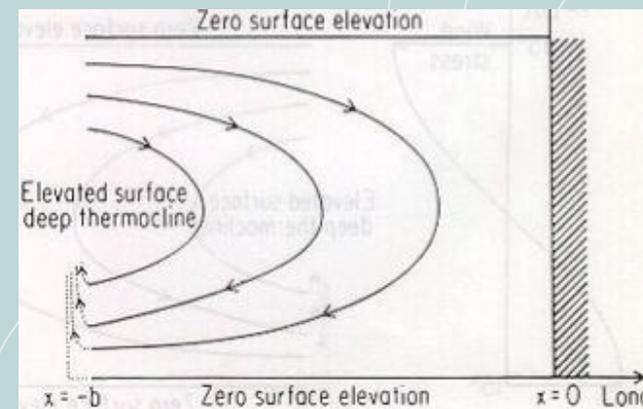
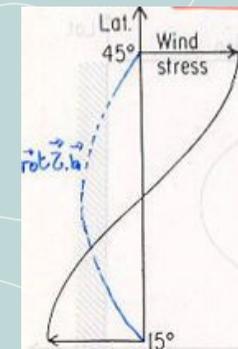
Est-ce que le forçage par le vent l'explique ? Comment ?

Le schéma « vent d'ouest - alizés » impose un rotationnel négatif



La masse fluide se déplace de A vers B pour diminuer sa vorticité totale, afin d'équilibrer l'apport de vorticité négative du vent

Tension de vent



Les grands courants de bord ouest

Théorie de Sverdrup : calcul du flux de masse méridien d'un bassin, exprimé en Sv ($10^6 \text{ m}^3/\text{s}$), en fonction de du rotationnel vent.

La conservation de la masse impose un flux de retour, de grandeur équivalente, qui ne peut être supporté que par les bords ouest des océans où se trouve la source de vorticité positive (par frottement sur le talus ou par non linéarité) nécessaire.

Courants de bord ouest, fortement non linéaires et « rectifiés » par cette non linéarité, d'où une amplitude beaucoup plus forte que le calcul théorique.

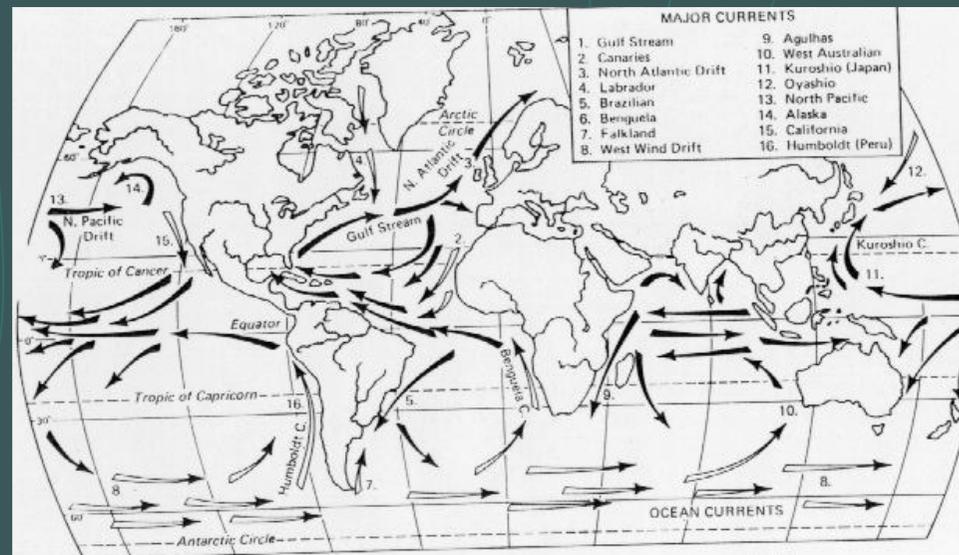
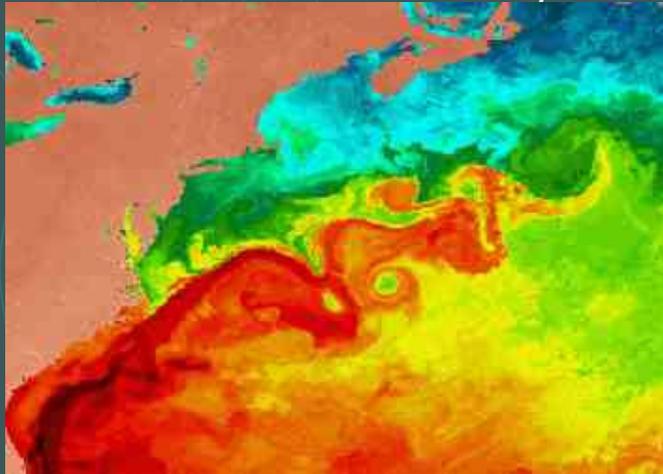


FIGURE 3-9 Major ocean currents. Warm currents are shown by dark arrows and cold currents by open arrows. (Alter J. B. Hoyt, *Man and the Earth*, 3rd ed., © 1973 by Prentice-Hall, Inc., reprinted by permission of the publisher.)