



LABORATOIRE DES SCIENCES DU CLIMAT & DE L'ENVIRONNEMENT

# *Les Sédiments Marins, Archives de la Variabilité Climatique Naturelle*

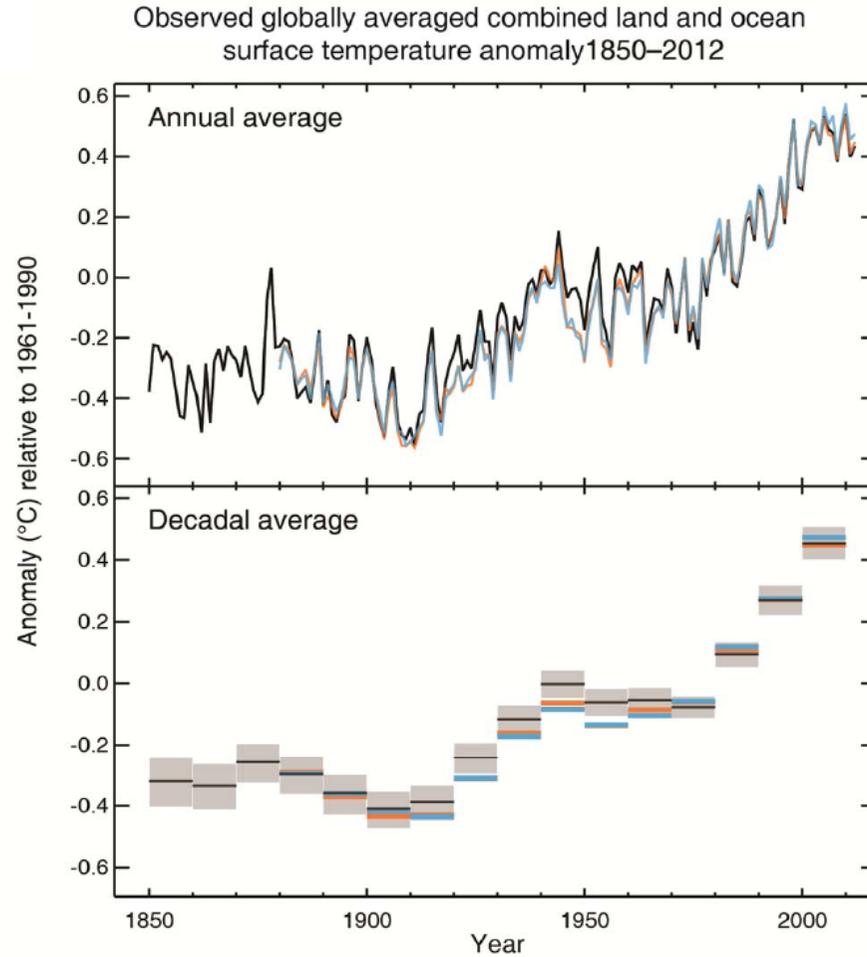
Claire Waelbroeck

Directrice de Recherche au CNRS

LSCE/IPSL, Laboratoire CNRS-CEA-UVSQ, Gif-sur-Yvette

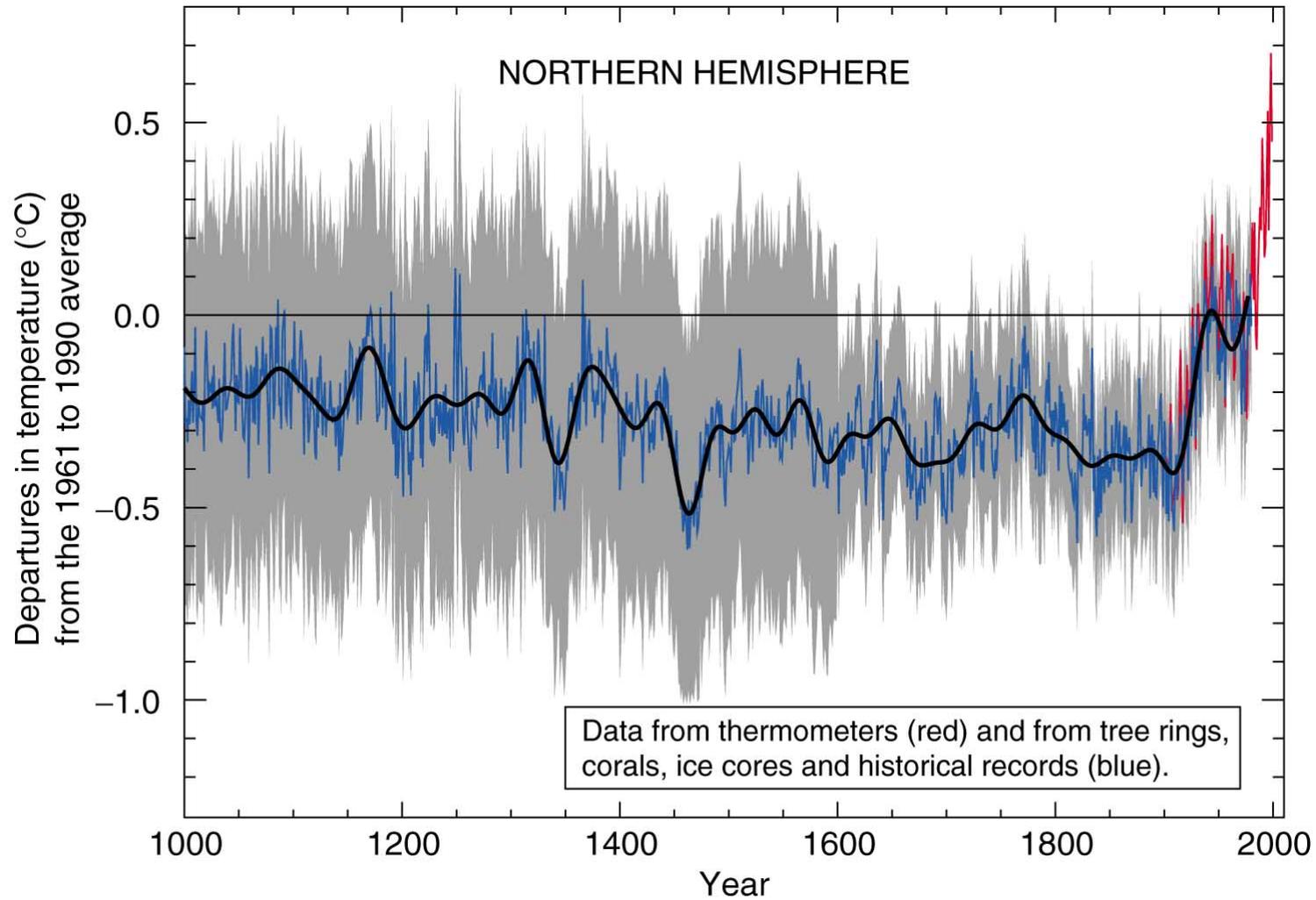


# Température globale



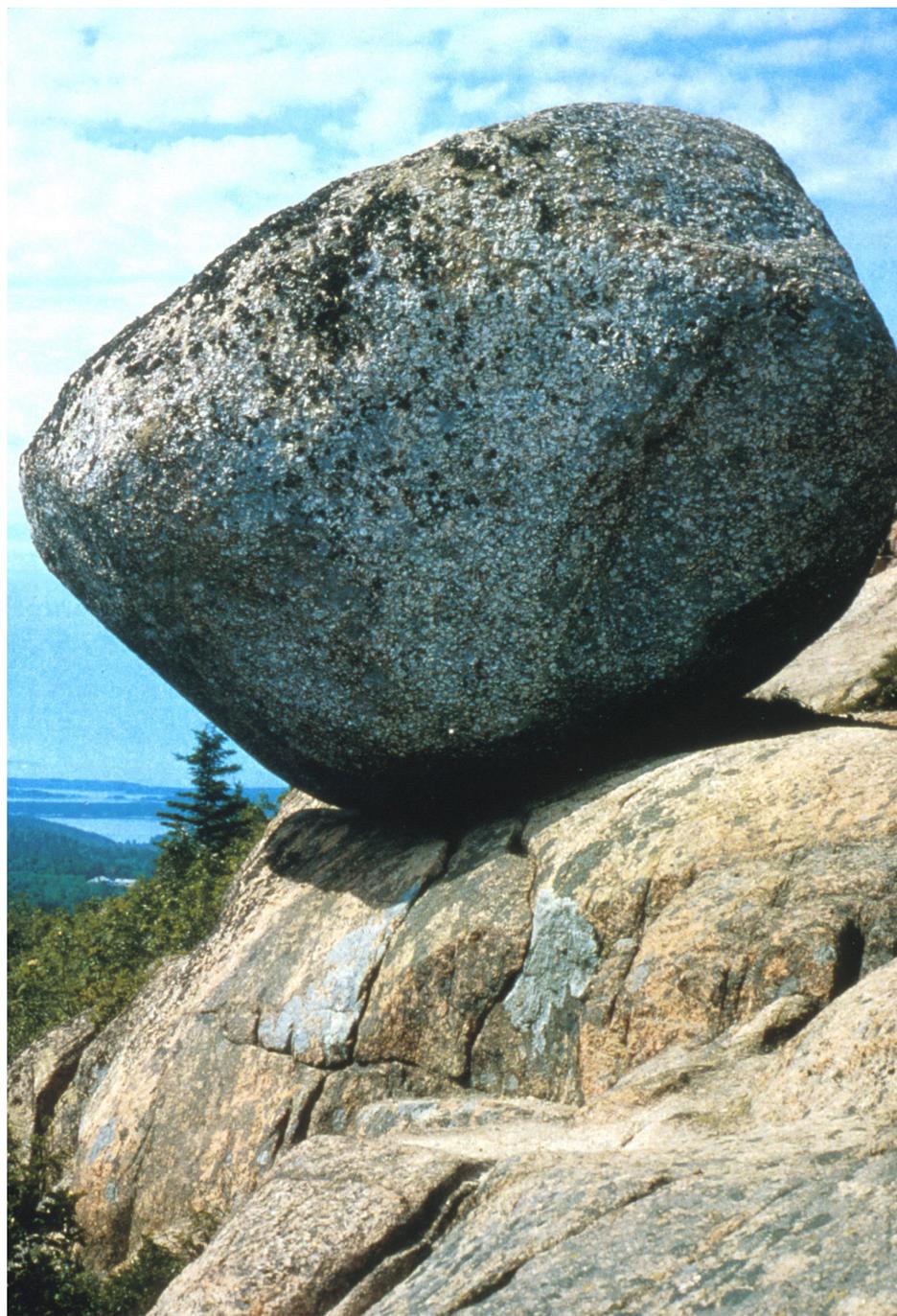
Source: 5ème rapport du GIEC (2013) (<http://www.ipcc.ch/>)  
IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

# Température de l' hémisphère Nord au cours du dernier millénaire



Source: 3ème rapport du GIEC (2001)

# Cycles glaciaires- interglaciaires



# Paléoclimatologie: Etude des climats passés

→ Etude de la variabilité climatique *naturelle*

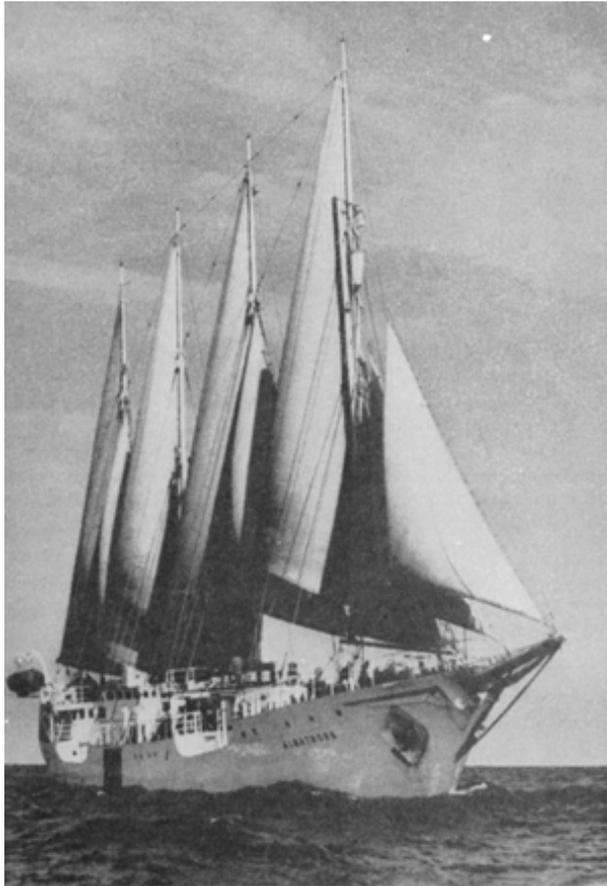
→ Acquisition de données/connaissances permettant de tester les modèles utilisés pour les projections climatiques des 20-80 prochaines années

Plusieurs types d' **archives complémentaires**:

- Les sédiments marins
- Les glaces polaires

Les débuts de la paléocéanographie:  
L'expédition suédoise sur l'Albatros (1947-1948)

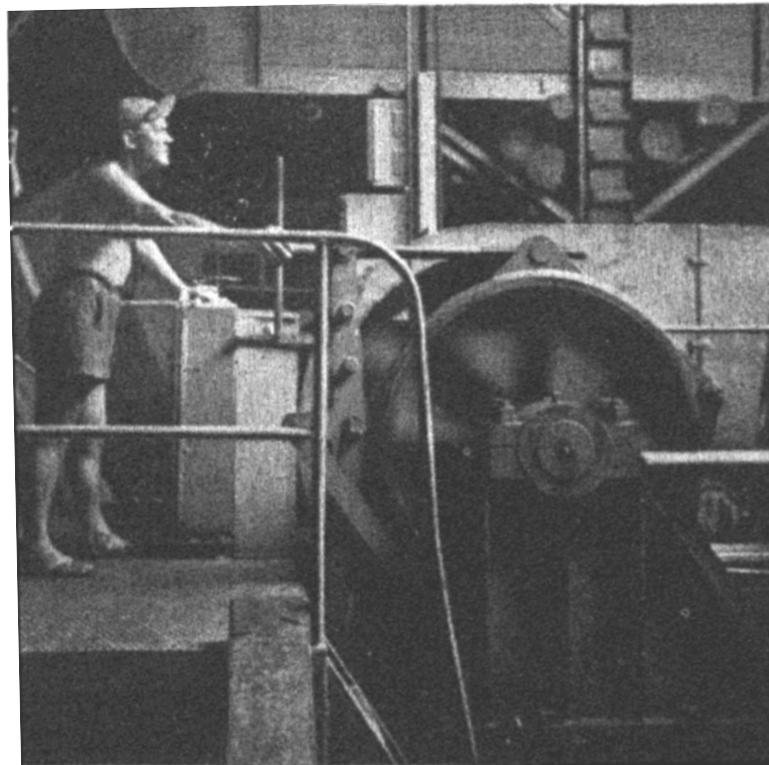
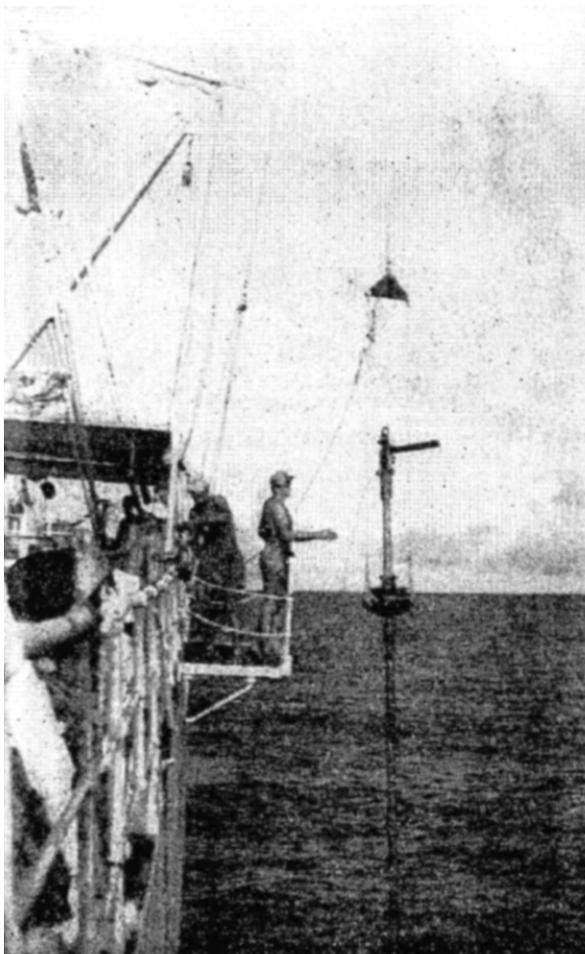
=> 300 carottes de sédiments



L'Albatros



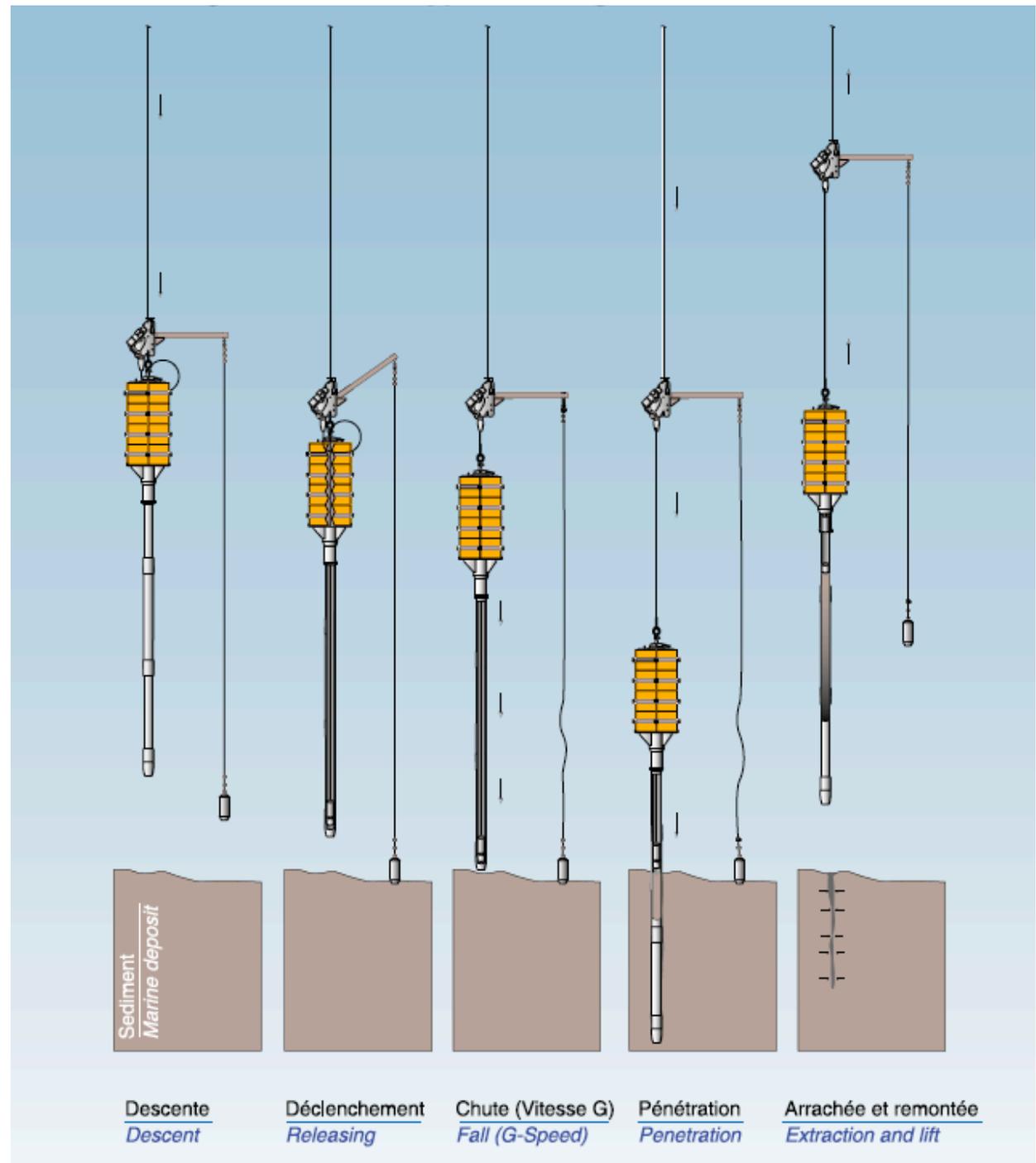
Le premier carottier est inventé par Kullenberg en 1947



DR. KULLENBERG AT THE CONTROLS  
OF THE DEEP-SEA WINCH



# Prélèvement avec le carottier CALYPSO



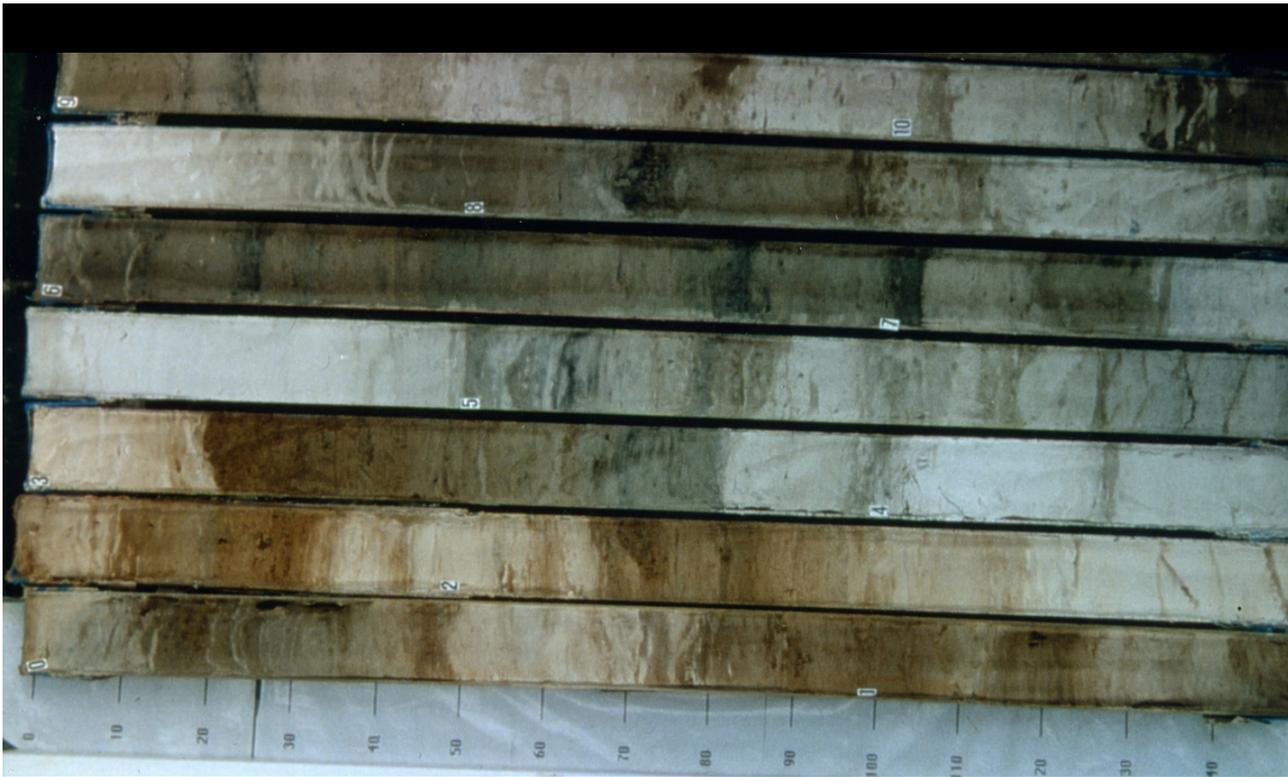






Carottier CASQ (à section carrée)

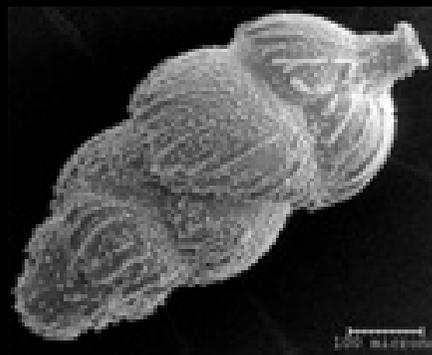
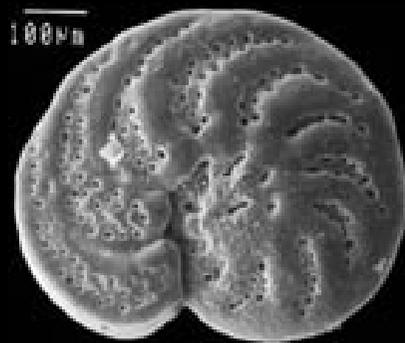


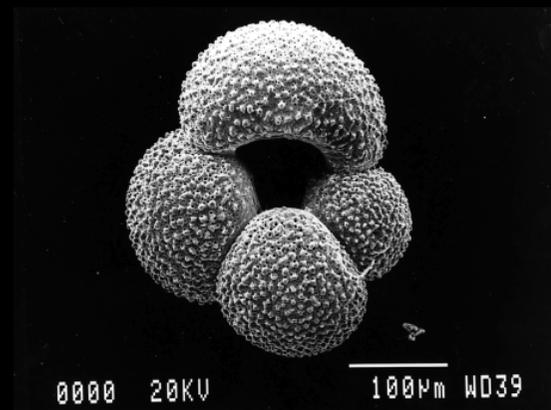
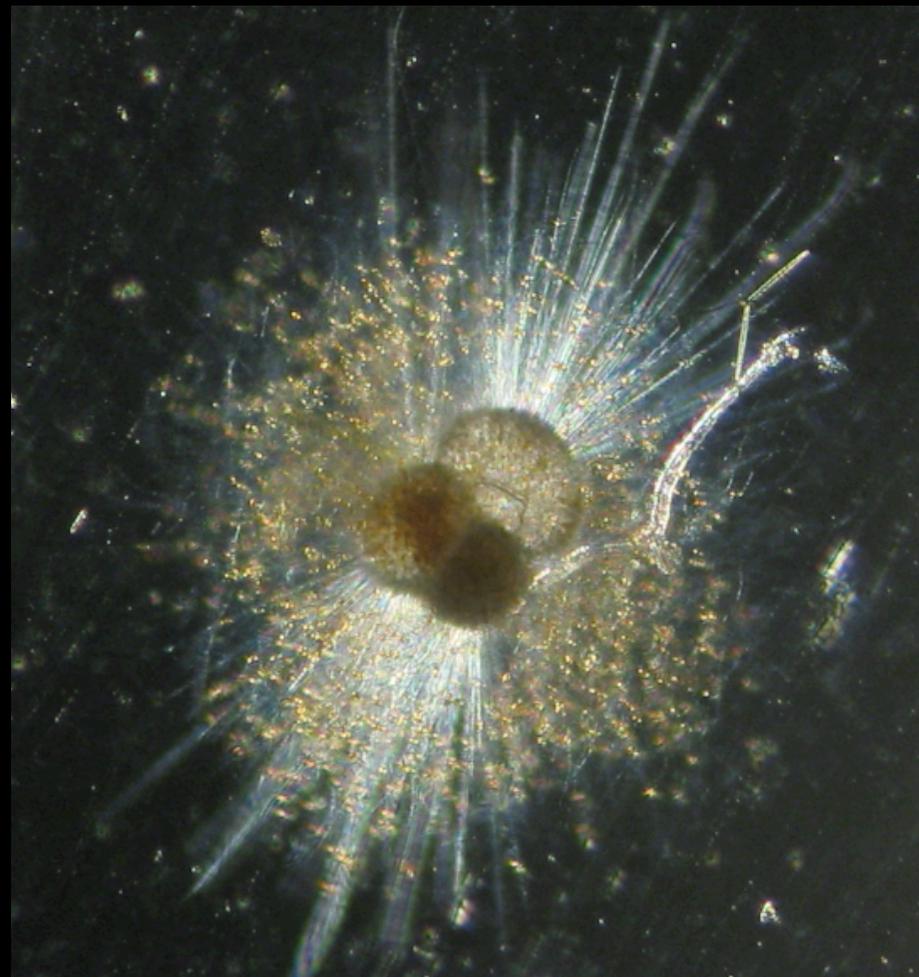


Foraminifères  
planctoniques



Foraminifères benthiques





# Isotopes stables

Oxygène:  $^{16}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$   
99.8 %, 0.1%, 0.04%

Carbone:  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$   
99 %, 1 %,  $10^{-10}$  %

Azote:  $^{14}\text{N}$ ,  $^{15}\text{N}$   
99.3 %, 0.4 %

...

- Noyaux avec un nombre différent de neutrons
- Mêmes propriétés chimiques
- Propriétés physiques  $\neq$

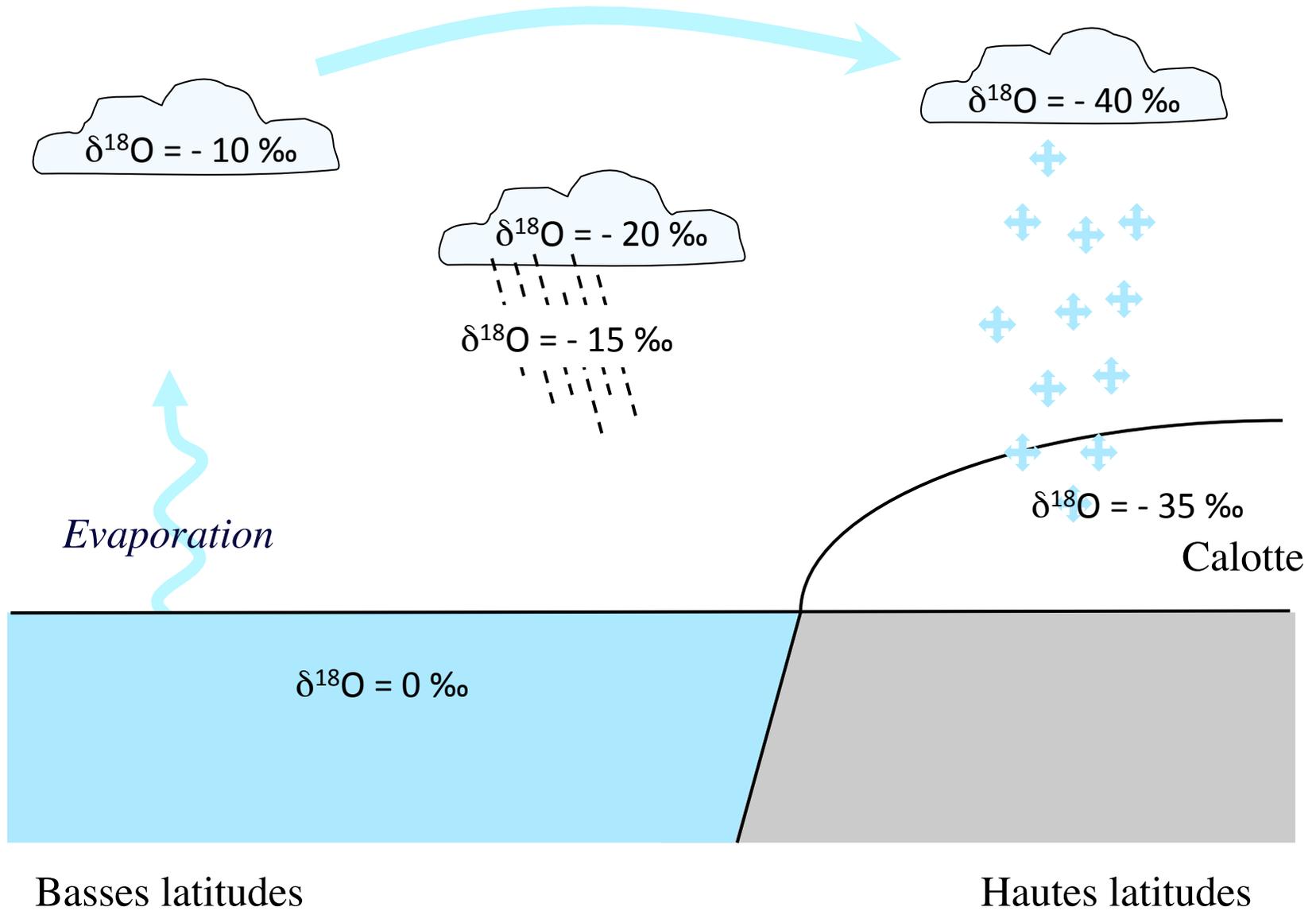
**Rapport isotopique**  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  d'un échantillon: mesuré par rapport à un rapport isotopique de référence

Notation:

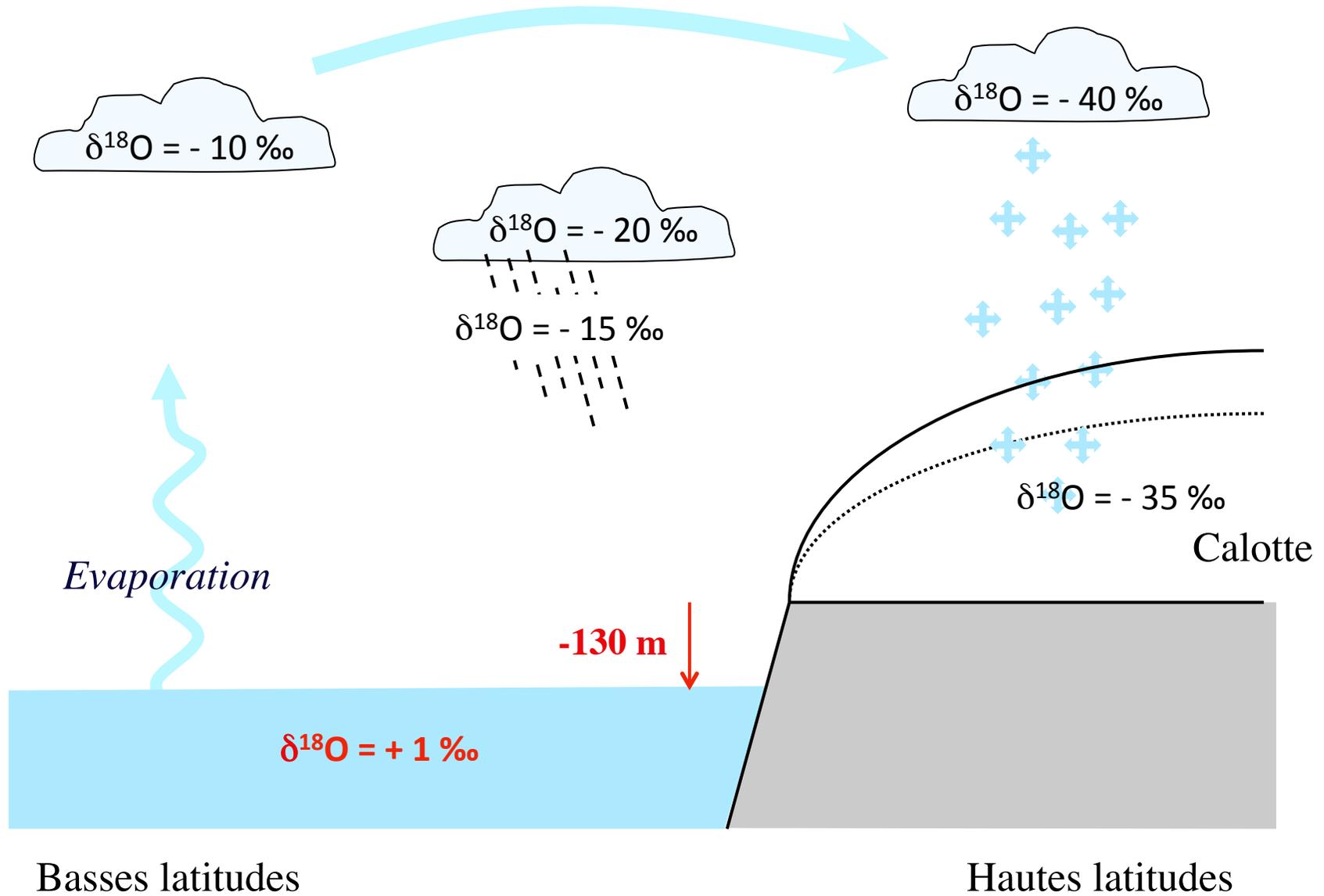
$$\delta^{18}\text{O} (\text{‰}) = \left[ \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{sample}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{standard}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{standard}}} \right] \times 10^3$$

**Fractionnement isotopique:** modification du rapport isotopique lors de l'évaporation, la condensation, la photosynthèse, etc...

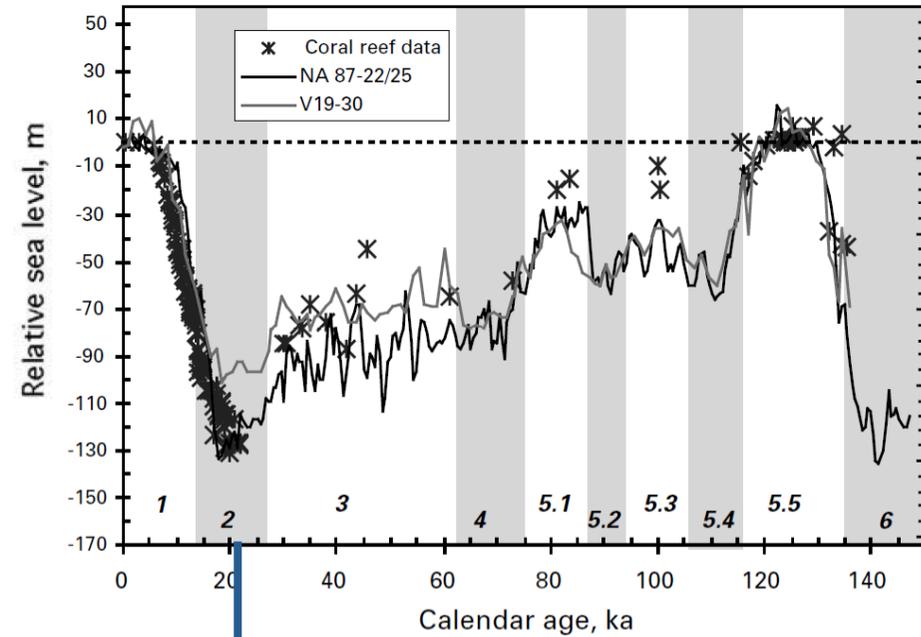
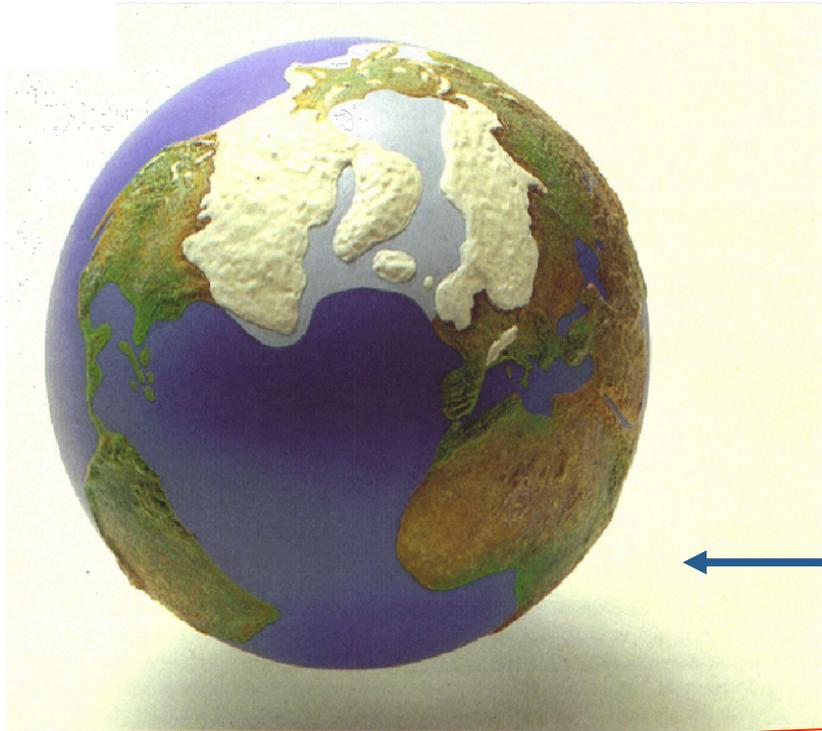
# A l'actuel (interglaciaire)



# Période glaciaire



# Cycles glaciaires-interglaciaires: le dernier cycle climatique



Le Dernier Maximum Glaciaire

! le temps s'écoule de droite à gauche

# La théorie astronomique des paléoclimats

## Bref historique:

- **Adhemar** (1842) suggère que les variations de l'orbite terrestre sont à l'origine de changements du climat;
- **Croll** (1870) développe ces idées;
- **Milankovitch** 1920-40 calcule les changements d'énergie solaire reçue par la Terre en réponse aux variations de l'orbite terrestre.



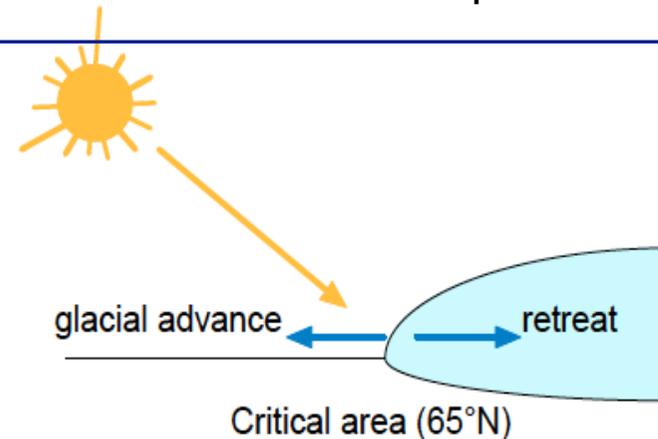
Milutin Milankovitch

## Principe de la théorie astronomique des paléoclimats:

Pilotage de l'évolution des calottes par l'insolation d'été de l'hémisphère Nord.

Impact des changements d'insolation sur le bilan de masse des calottes :

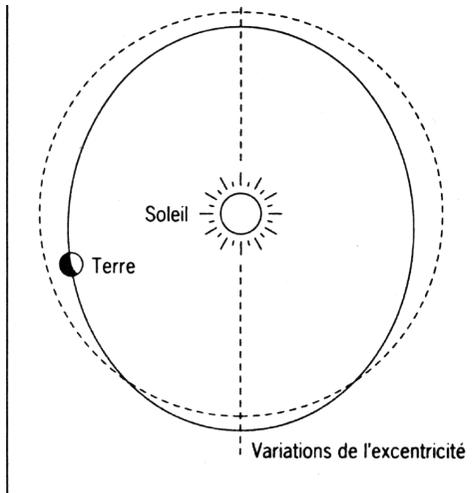
le phénomène critique est la persistance de la neige en été.



# Les paramètres orbitaux

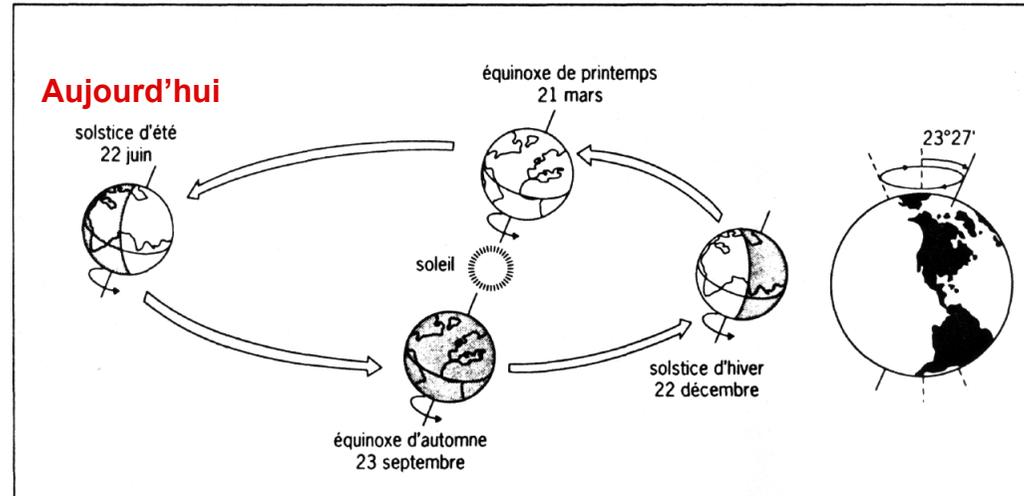
Moyenne annuelle globale,  $0.5 \text{ W/m}^2$

Périodes: 100, 130 et 410 000 ans



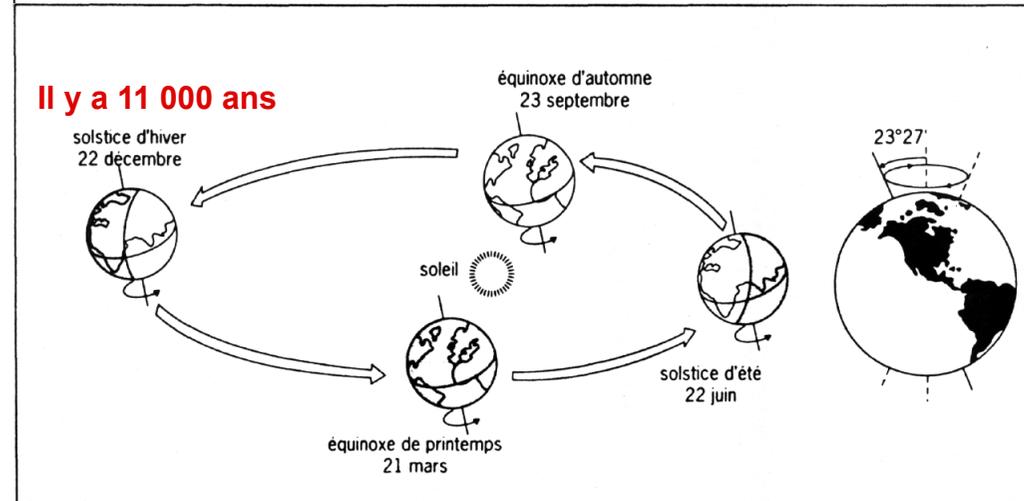
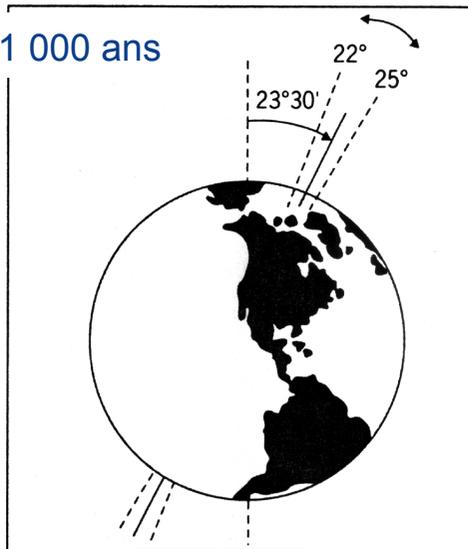
Moyenne saisonnière locale,  $\sim 100 \text{ W/m}^2$

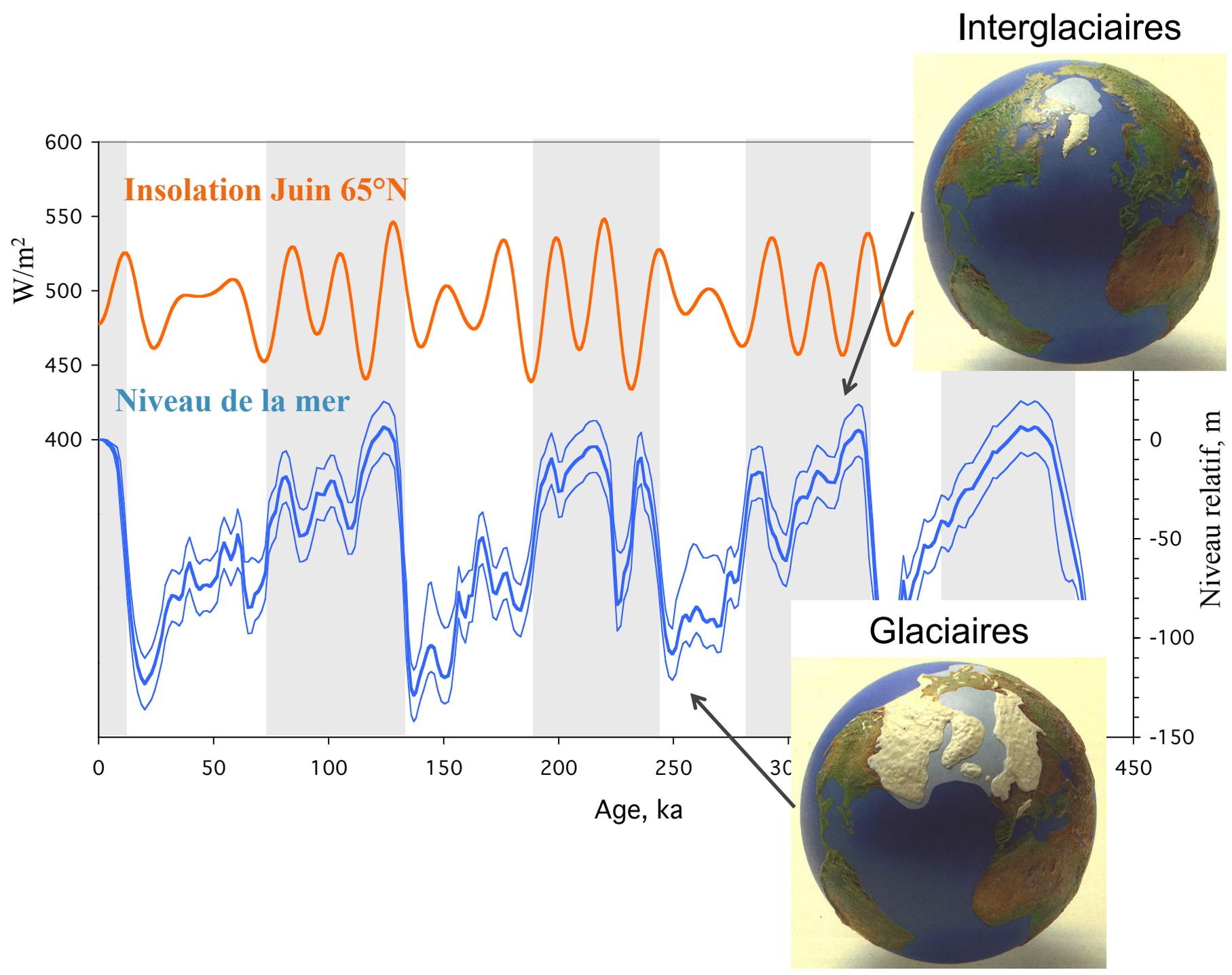
19 000 et 23 000 ans



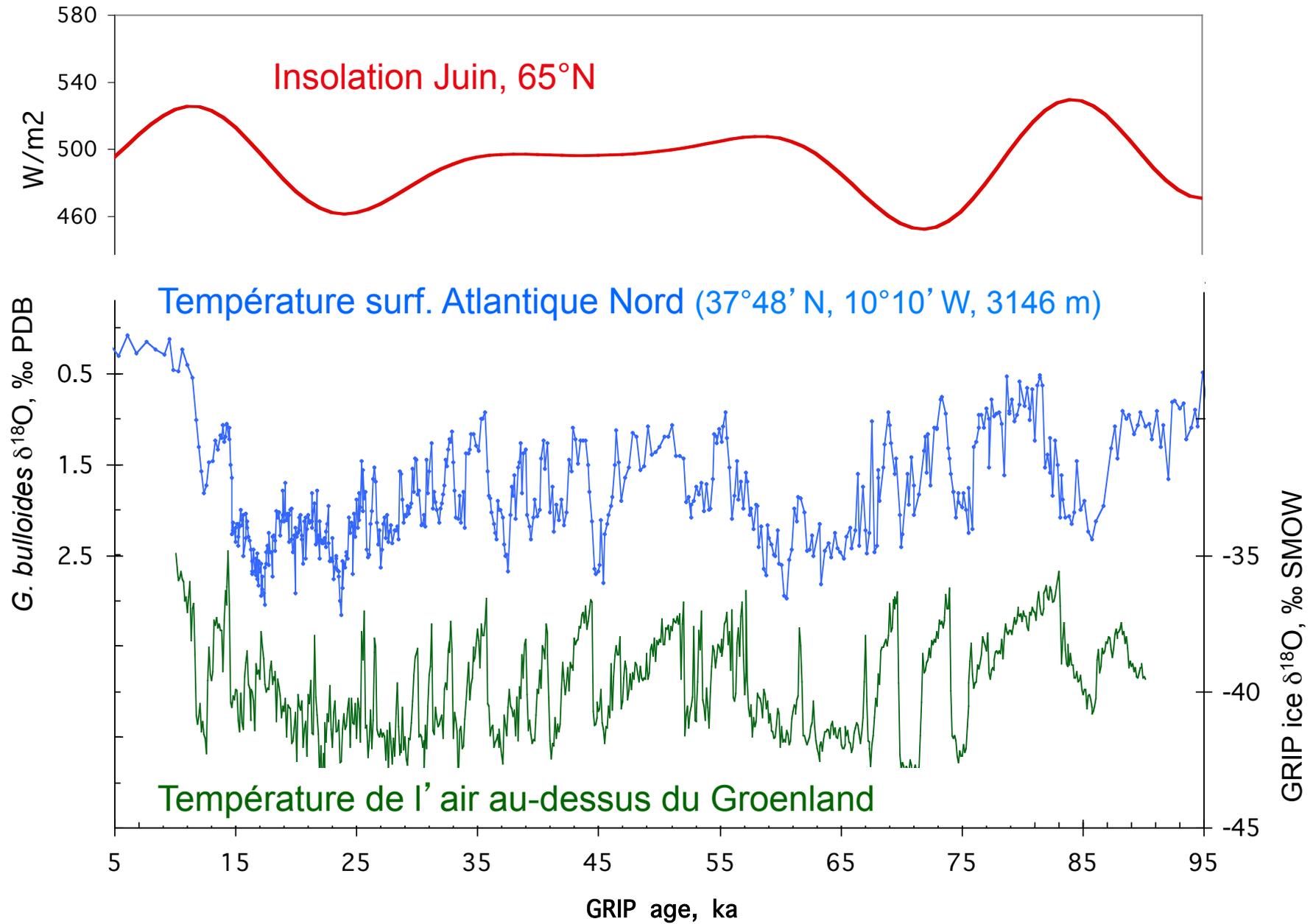
Moyenne annuelle locale,  $\sim 15 \text{ W/m}^2$

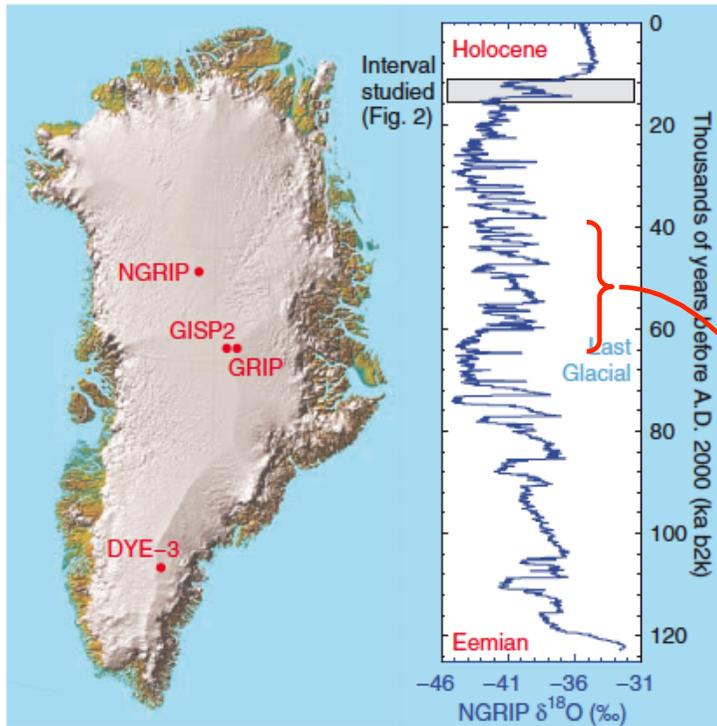
41 000 ans



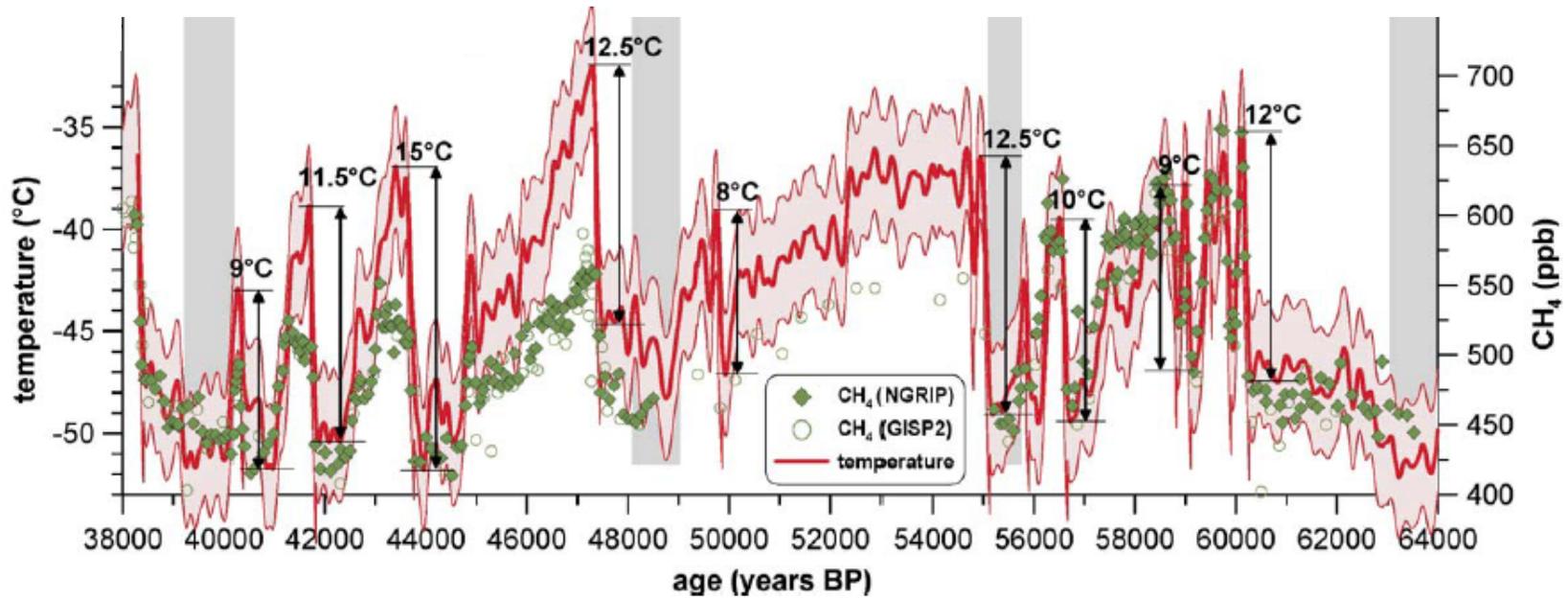


# Changements climatiques rapides





Des réchauffements de 8 à 15°C  
en 200 à 400 ans



[Huber et al., 2006]

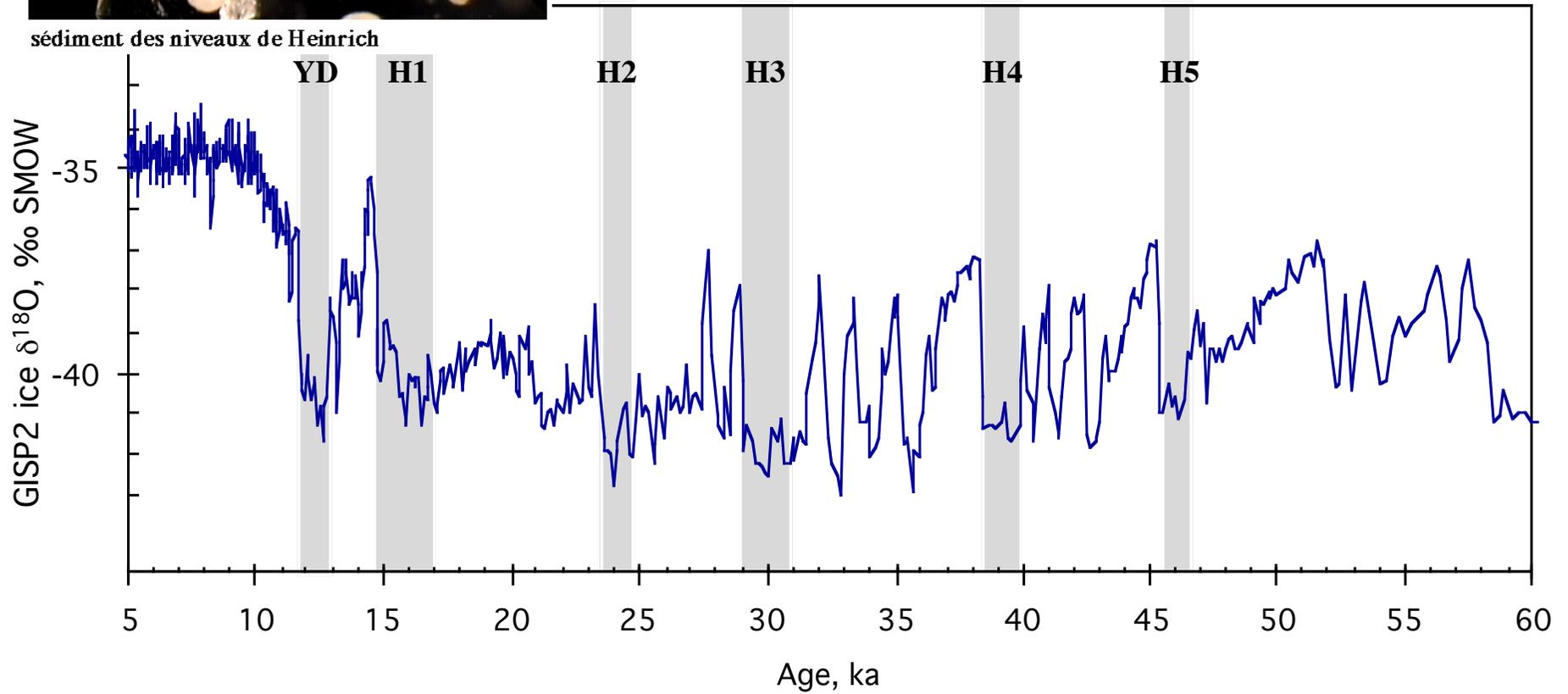
250  $\mu\text{m}$

sédiment glaciaire de l'Atlantique Nord

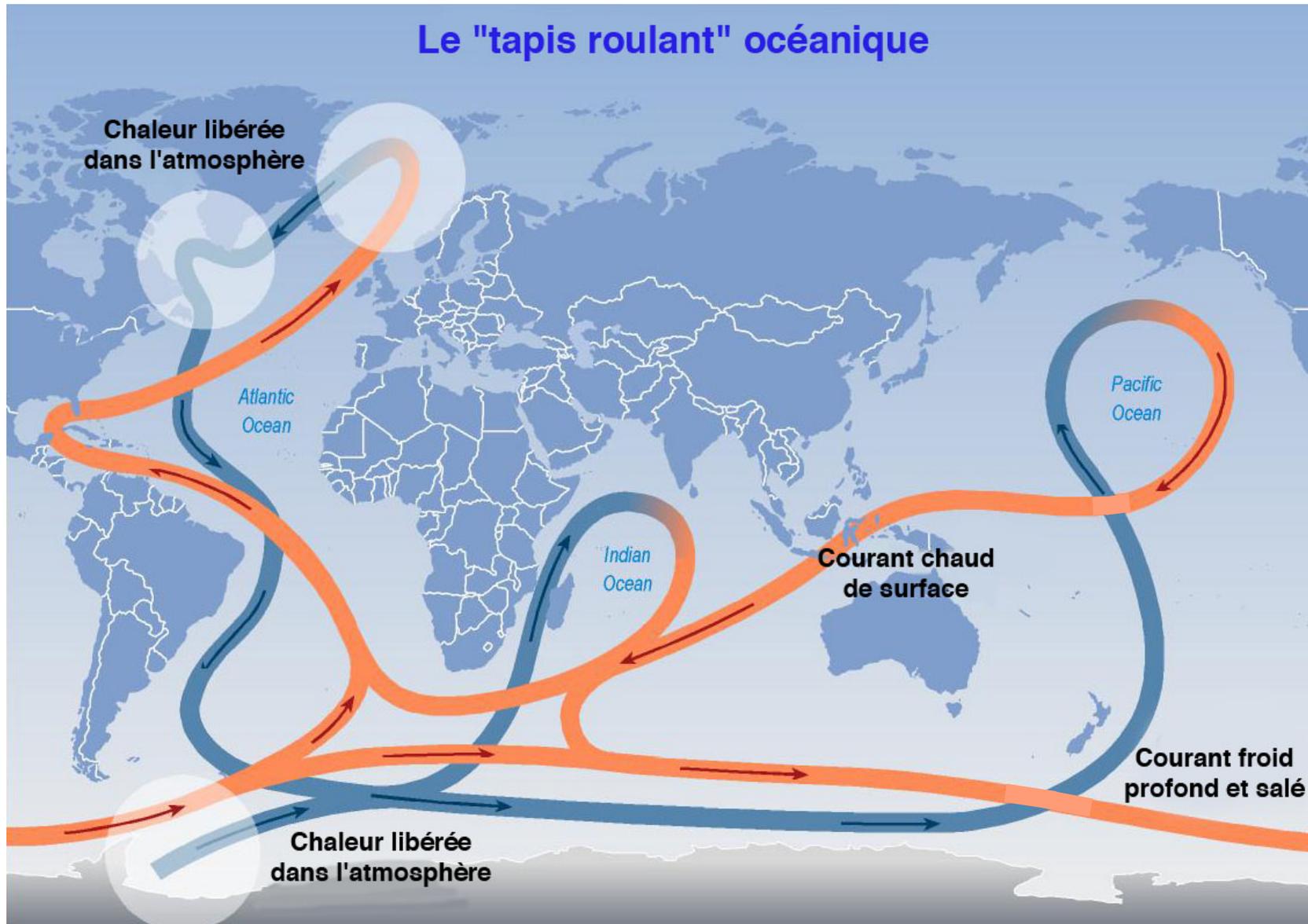


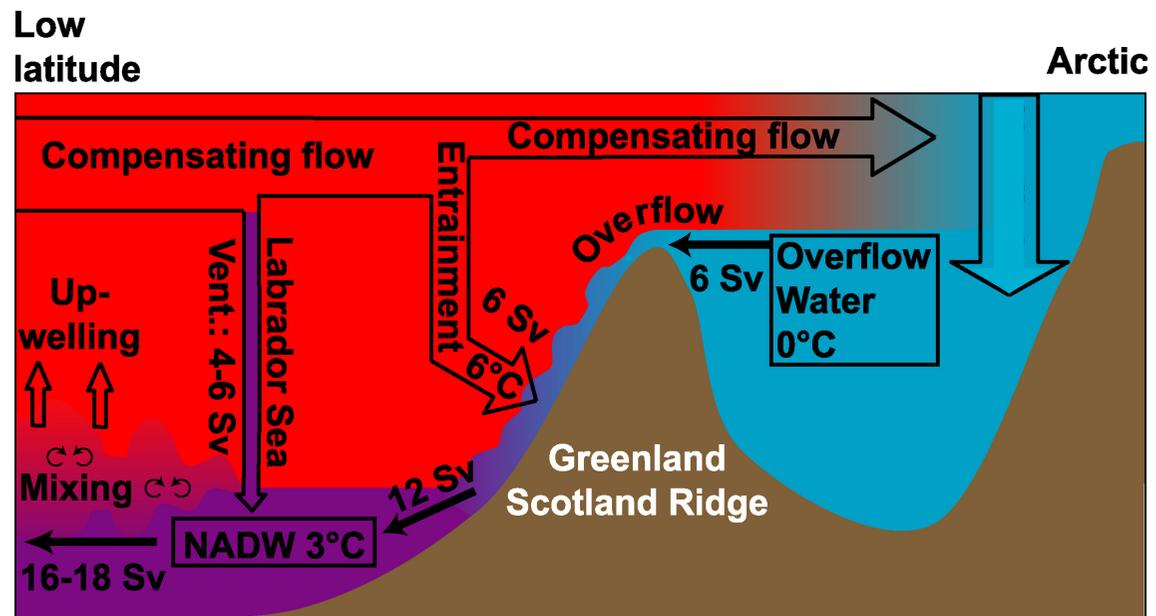
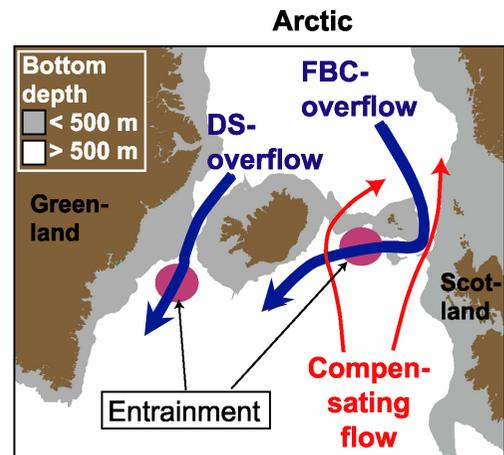
- Evènements de Heinrich: débâcles d'icebergs

sédiment des niveaux de Heinrich



## Le "tapis roulant" océanique





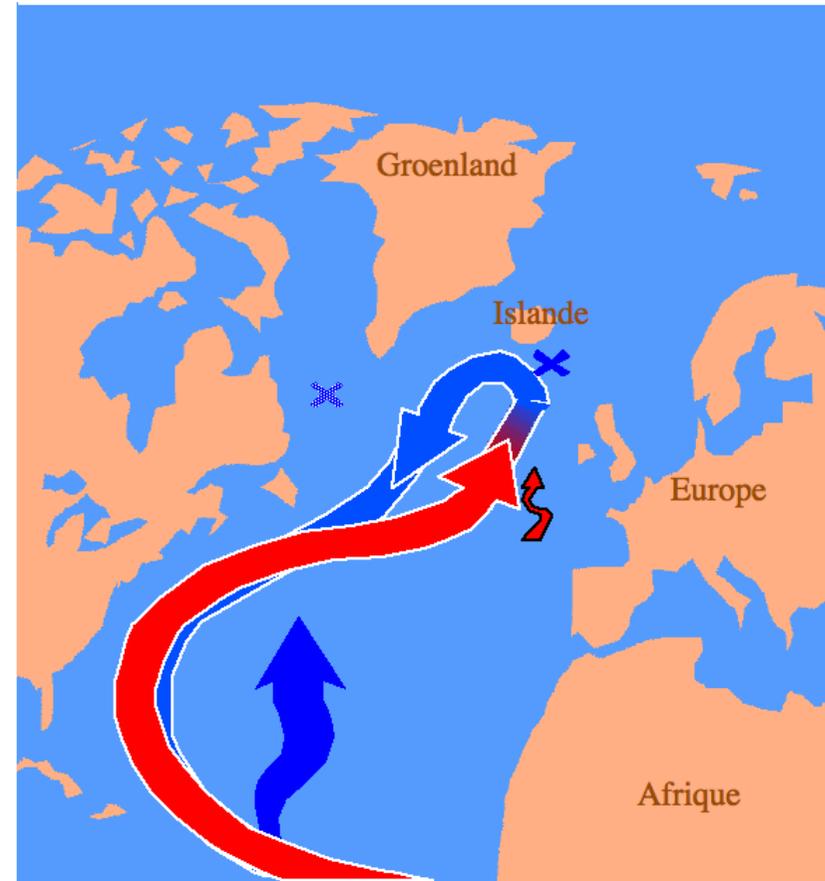
Adpated from [Hansen et al., 2004]

# Liens entre circulation océanique et climat

Circulation thermohaline active



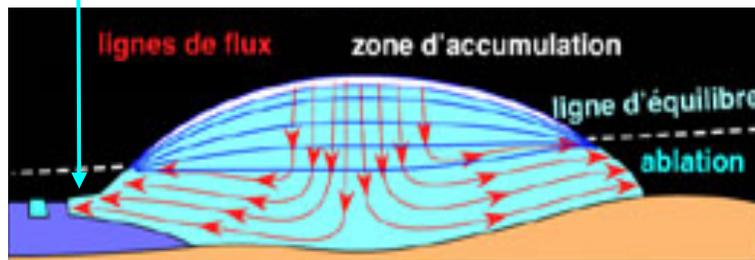
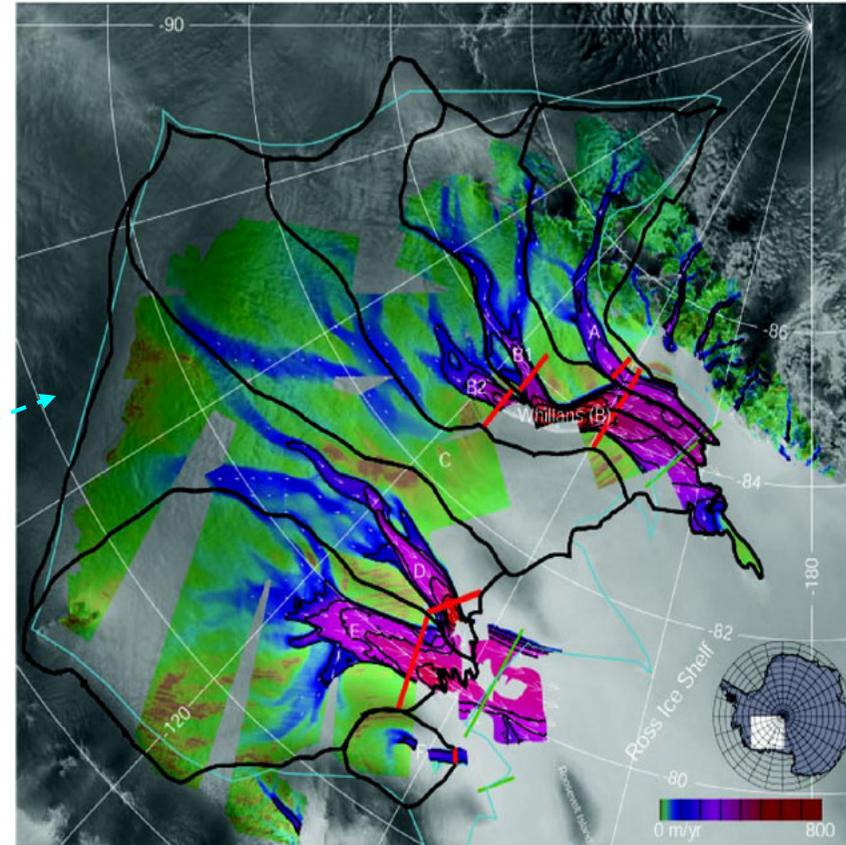
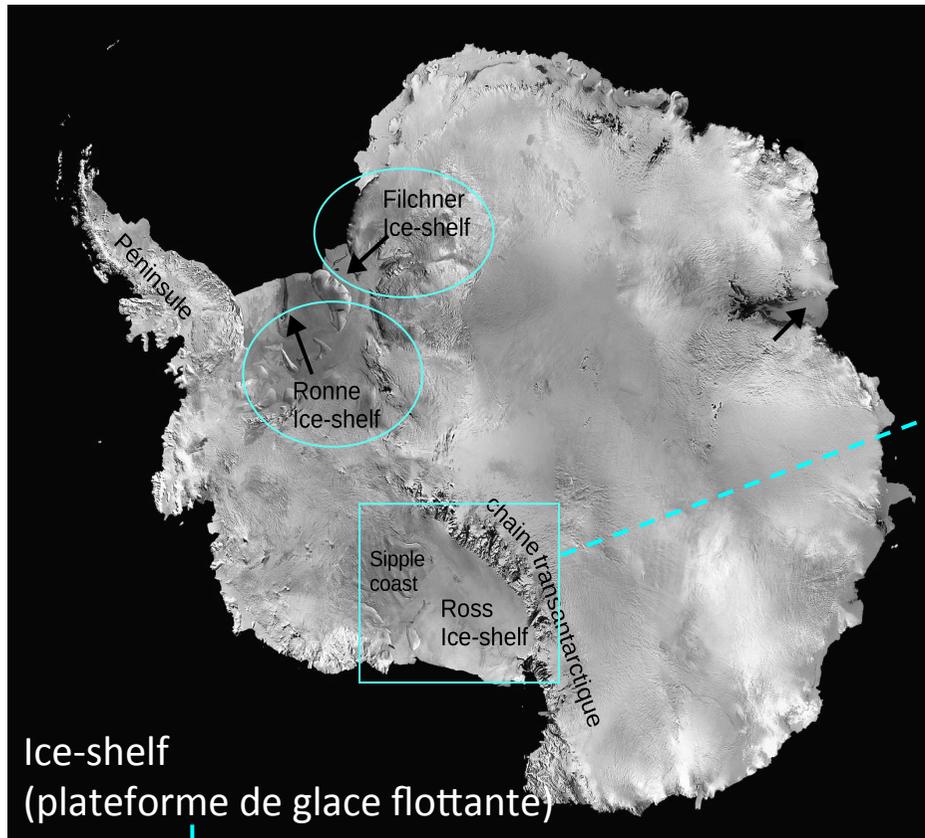
Circulation thermohaline ralentie



# Fonte de la calotte du Groenland



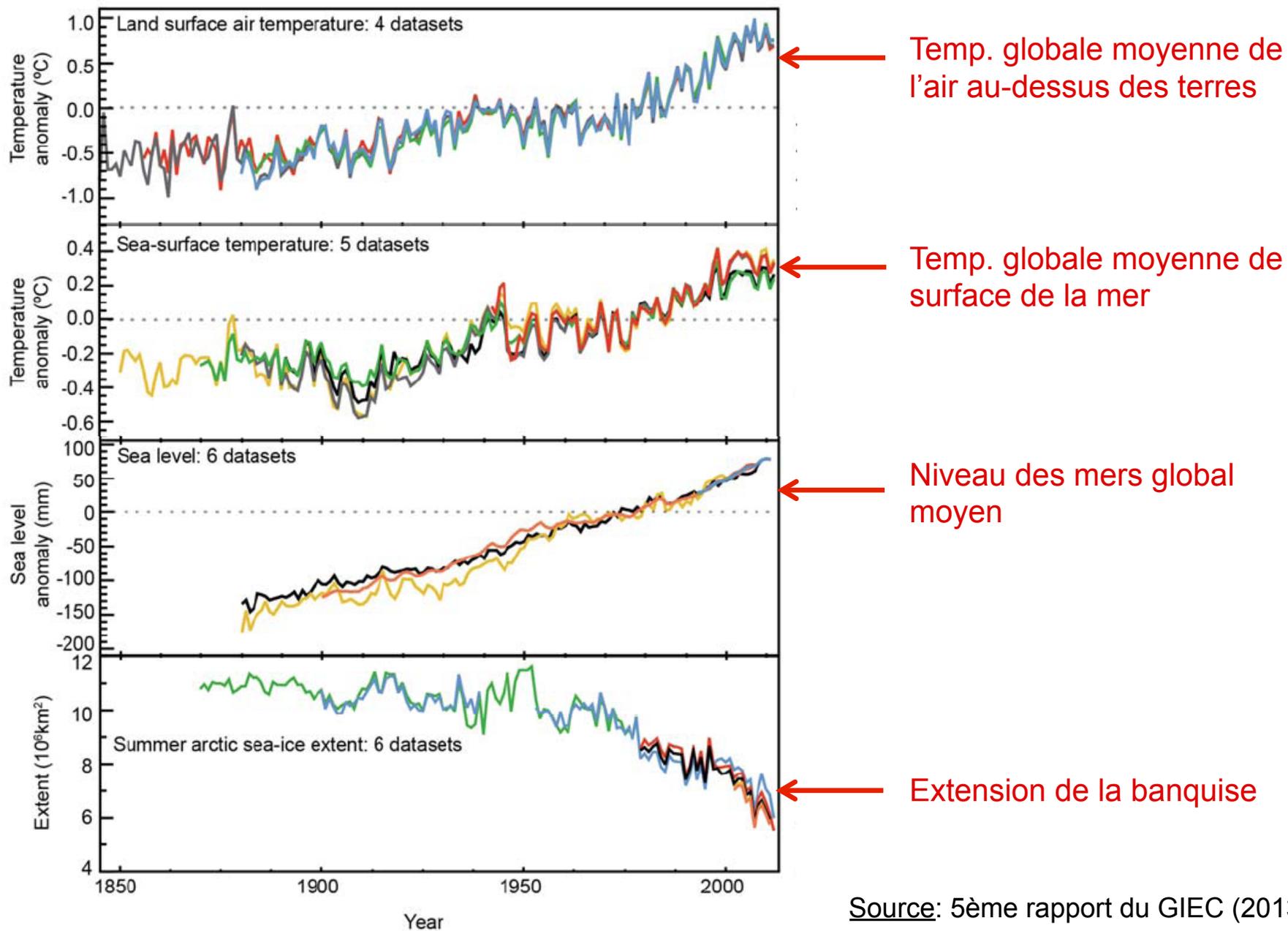
# Progrès récents dans l'étude de la dynamique des calottes de glace: un exemple en Antarctique



Fleuves de glace du Ross ice-shelf:  
Vitesse d'écoulement de la glace mesurée par  
imagerie radar : 0 à ~500 m/an

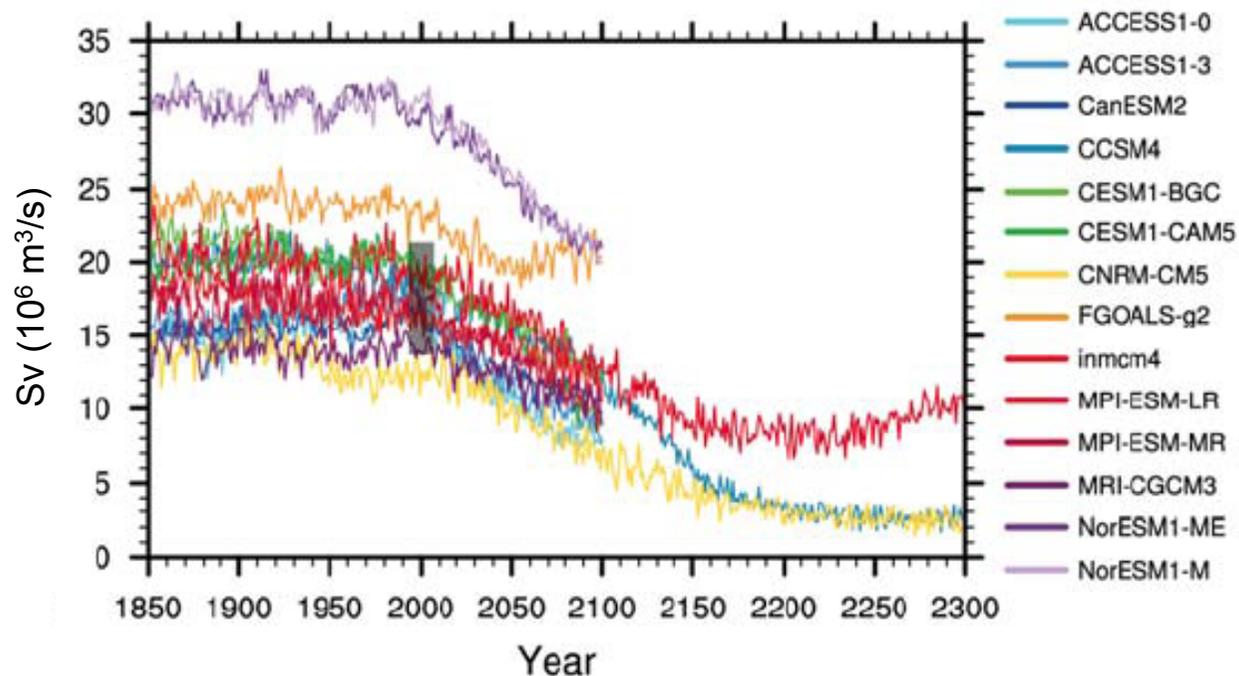
[Joughin & Tulaczyk, Science 2002]

# Evolution depuis la révolution industrielle



Source: 5ème rapport du GIEC (2013)

## Résultats de différents modèles couplés océan-atmosphère



Source: 5ème rapport du GIEC (2013)

Scénario RCP8.5: scénario d'augmentation de la conc. en GES de l'atm. moyen du GIEC, dans lequel les conc. en GES sont stabilisées après 2100

# Conclusions

- Les données paléoclimatiques montrent que le climat a varié dans le passé (en réponse à des variations de l'insolation mais aussi en raison d'une variabilité interne du système climatique);
- Ces **variations** peuvent être de **grande amplitude** et **très rapides**;
- Les changements climatiques ont un impact sur la circulation océanique, qui à son tour, a un impact sur les conditions climatiques => existence de **rétroactions** qui expliquent l'ampleur et la rapidité des variations internes du système climatique;
- Il faut que ces rétroactions soient correctement prises en compte dans les modèles climatiques: notre capacité à prévoir l'évolution climatique future est conditionnée par notre capacité à comprendre et quantifier la variabilité climatique naturelle.