Reconstruire le climat et l'environnement du passé



Plan de l'intervention

- Les échelles de temps considérées
- Traceurs climatiques dans différentes archives
 - La reconstruction du niveau des mers dans les archives sédimentaires
 - La reconstruction de température dans les archives sédimentaires
 - La reconstruction de température dans les carottes de glace
 - La reconstruction de concentration en gaz à effet de serre dans les carottes de glace
- Reconstructions climatiques

Plan de l'intervention

• Les échelles de temps considérées

- Traceurs climatiques dans différentes archives
 - La reconstruction du niveau des mers dans les archives sédimentaires
 - La reconstruction de température dans les archives sédimentaires
 - La reconstruction de température dans les carottes de glace
 - La reconstruction de concentration en gaz à effet de serre dans les carottes de glace
- Reconstructions climatiques

Paléotempératures sur Terre



Le Quaternaire – la géographie actuelle et les calottes polaires



Les cycles glaciaires - interglaciaires



Les cycles glaciaires - interglaciaires

Present



Last Glacial Maximum 20.000 ans BP



Les cycles glaciaires – interglaciaires, le moteur de l'insolation



Les cycles glaciaires – interglaciaires, le moteur de l'insolation

La **théorie de Milankovitch:** une période glaciaire est enclenchée par un minimum de l'ensoleillement à 65°N en été (21 juin), qui permet à la neige de persister toute l'année et donc de construire des calottes glaciaires de l'hémisphère Nord. Par exemple, à la dernière entrée en glaciation, il y a 116 ± 1 mille ans, l'ensoleillement en

Juin à 65°N etait environ 40 W m⁻² moins élevé qu'aujourd'hui.







Plan de l'intervention

- Les échelles de temps considérées
- Traceurs climatiques dans différentes archives
 - La reconstruction du niveau des mers dans les archives sédimentaires
 - La reconstruction de température dans les archives sédimentaires
 - La reconstruction de température dans les carottes de glace
 - La reconstruction de concentration en gaz à effet de serre dans les carottes de glace
- Reconstructions climatiques

Les sédiments marins





Les sédiments marins















$$\delta^{18}O = \left(\frac{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O}\right)_{\acute{e}chantillon}}{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O}\right)_{standard}} - 1\right) \times 1000$$







From W.F. Ruddiman, 2001









Comptage de faune polaire (neogloboquadrina pachyderma sinistra)





Les isotopes de l'oxygène dans les carbonates



Ravelo & Hillaire marcel, 2007

 $T^{\circ}C = 16,5 - 4,3 \ (\delta^{18}O_{calcite} - \delta^{18}O_{eau}) + 0,14 \ (\delta^{18}O_{calcite} - \delta^{18}O_{eau})^2$

Les alcénones





La répartition Mg/Ca dans le réseau cristallin



Une nouvelle méthode – les « clumped » isotopes



D'après Eiler, 2007



Une nouvelle méthode – les « clumped » isotopes



Mangenot, 2018

Les analyses polliniques dans les sédiments marins



Pollen et types de végétation



Analyses polliniques (Europe)

Forêt méditerranéenne



Pin



Chêne vert



Olivier



Végétation semi-désertique



Sauge







diacées

Petits arbustes Herbacées

Analyses pollinique (Europe)

Steppe centro-européenne

Forêt tempérée





Chêne Charme Hêtre

Chardon











Les analyses polliniques dans les sédiments marins



Les analyses polliniques dans les sédiments marins



Plan de l'intervention

- Les échelles de temps considérées
- Traceurs climatiques dans différentes archives
 - La reconstruction du niveau des mers dans les archives sédimentaires
 - La reconstruction de température dans les archives sédimentaires
 - <u>La reconstruction de température dans les carottes de glace</u>
 - La reconstruction de concentration en gaz à effet de serre dans les carottes de glace
- Reconstructions climatiques

Les carottes de glace



Les carottes de glace



Les carottes de glace polaires





Informations climatiques dans la glace

Composition isotopique de l'eau Evolution de la température

Espèces chimiques Impuretés transportées par l'atmosphère (poussière, aérosols, pollution, ...)

Air piégé dans la glace

 Composition de l'atmosphère (gaz à effet de serre)





Carottes de glace polaires-Isotopes de l'eau et température

Oxygène: ¹⁶O (99,63 %), ¹⁷O (0,0375 %), ¹⁸O (0,1995 %)

> **Hydrogène:** ¹H (99,9852 %), ²H (D) (0,0148 %)

> > Dans l'eau de mer :

 $^{18}O/^{16}O = 0.2$ % et D/H = 0.015 %

Formes principales de la molécule d'eau:

 $H_2^{16}O, H_2^{18}O, HD^{16}O, H_2^{17}O$

$$\delta^{18} \mathbf{O} (\%) = \left(\frac{\left[\frac{{}^{18} \mathbf{O}}{{}^{16} \mathbf{O}} \right]_{\text{ech}}}{\left[\frac{{}^{18} \mathbf{O}}{{}^{16} \mathbf{O}} \right]_{\text{SMOW}}} - 1 \right) * 1000$$

Carottes de glace polaires- Isotopes de l'eau et température



Casado, 2017

Carottes de glace polaires - Isotopes de l'eau et température



Carottes de glace polaires-Isotopes de l'eau et température



Thermomètre isotopique

Carottes de glace polaires - Isotopes de l'eau et température



temps

Carottes de glace polaires-Isotopes de l'eau et température



Carottes de glace polaires- Isotopes de l'eau et température





Modèles de climat avec isotopes

Carottes de glace polaires – mesures de temperature dans le trou de forage



Jusqu'à un facteur 2 de différence entre les reconstructions de température avec les isotopes de l'eau et la mesure de la température dans le trou de forage.

Carottes de glace polaires - Isotopes de l'eau et température

Difficulté de déterminer la pente isotopes – température

Grande variabilité en fonction des carottes et des échelles de temps.



Plan de l'intervention

- Les échelles de temps considérées
- Traceurs climatiques dans différentes archives
 - La reconstruction du niveau des mers dans les archives sédimentaires
 - La reconstruction de température dans les archives sédimentaires
 - <u>La reconstruction de température dans les carottes de glace</u>
 - La reconstruction de concentration en gaz à effet de serre dans les carottes de glace
- Reconstructions climatiques

Lien entre température et gaz à effet de serre à l'échelle des cycles glaciaires - interglaciaires



Incertitude sur la relation de phase entre CO₂ et température



Modèles de densification de la neige et du névé



Modèles de densification de la neige et du névé



Mesure isotopique de la profondeur de fermeture des pores



Plan de l'intervention

- Les échelles de temps considérées
- Traceurs climatiques dans différentes archives
 - La reconstruction du niveau des mers dans les archives sédimentaires
 - La reconstruction de température dans les archives sédimentaires
 - La reconstruction de température dans les carottes de glace
 - La reconstruction de concentration en gaz à effet de serre dans les carottes de glace
- <u>Reconstructions climatiques</u>

Dernière déglaciation (- 20 000 à - 10 000 ans)



52

Dernière entrée en glaciation



La variabilité millénaire – système climatique instable















59





Signal dans les sédiments

- -signal détritique pauvre en micro-organismes
- -7000/8000 ans
- -Refroidissements des eaux de surfaces
- >>Destabilisation de la calotte Laurentide

// Evènements de Heinrich

dans les sédiments d'Atlantique Nord



250 μm sédiment glaciaire de l'Atlantique Nord





Les comparaisons aux modèles climatiques



La dernière déglaciation





Kaufmann et al., 2020

Synthèse de données et lien avec la modélisation



Citer Osman 2021, *Nature* volume 599, pages 239–244 (2021)