

Thème 1: Enjeux planétaires contemporains: Atmosphère, hydrosphère, climats: du passé à l'avenir.

Activité 1: Indices des variations climatiques "récentes" : le delta isotopique des glaces polaires

Les calottes glaciaires qui recouvrent les pôles sont constituées d'une accumulation de neige déposée années après années et compressée sous son propre poids. Les carottes de glace extraites de forages (documents 2 et 3 page 84) donnent accès à des échantillons de glace issus de précipitations neigeuses dont l'âge dépend de la profondeur de l'échantillon. En certains forages, les glaces les plus profondes ont jusqu'à 800 000 ans.

Il existe plusieurs isotopes stables de l'oxygène dont ^{16}O et ^{18}O qui sont les plus abondants (respectivement 99,8 % et 0,2 %). On les retrouve dans tous les composés oxygénés naturels, notamment l'eau et les carbonates. L'eau (océan, vapeur, pluie, glace, etc.) est constituée essentiellement à partir de l'isotope 16 de l'oxygène qui est le plus répandu.

Problème: Comment les isotopes de l'oxygène des glaces polaires renseignent-ils sur les paléoclimats?

Matériel:

Ordinateur avec tableur-grapheur Excel. FT Excel. Fiche élève documents.
Fichiers excel température / $\delta^{18}\text{O}$ pour différentes stations à travers le monde (Dossier Temp_o18)
Fichiers excel $\delta^{18}\text{O}$ / profondeur / âge pour différents forages antarctique et arctique (Dossier ice-O18)

Activités et déroulement des activités

Concevoir une stratégie pour résoudre un problème scientifique

Expliquer comment évolue le $\delta^{18}\text{O}$ lorsque la concentration en ^{18}O de l'eau diminue (documents A et C)
Indiquer 2 facteurs de variations du $\delta^{18}\text{O}$ (document B). **Formulez une hypothèse** pour expliquer ces variations.

Exposer en quelques lignes une démarche qui permettrait d'utiliser le $\delta^{18}\text{O}$ comme un thermomètre isotopique pour reconstituer les paléoclimats. (Fiche - documents)

Mettre en œuvre un protocole de résolution

Choisir un fichier excel correspondant à une station soit comprise entre 30°N et 30°S, soit située au delà de 60° de latitude (Dossier Temp_o18. Document E)

Construire le graphique en nuage de points (dispersion XY) présentant le $\delta^{18}\text{O}$ en fonction de la température moyenne de l'air. **Affichez** la droite de régression, son équation ainsi que le coefficient de corrélation. (FT Excel graphique)

Déterminez l'équation de la droite $\delta^{18}\text{O}$ ou δD en fonction de la température de l'air au Groenland et en Antarctique à partir du graphique de Jouzel (Document G). Reformulez cette équation de manière à exprimer la température en fonction du $\delta^{18}\text{O}$ ou du δD .

Construire le graphique représentant la variation du $\delta^{18}\text{O}$ ou δD en fonction du temps à partir des données issues d'un forage réalisé au Groenland (GRIP) ou d'un forage réalisé en Antarctique (Vostok). (dossier ice-O18)

Utiliser et adapter le fichier excel précédent pour **représenter graphiquement** l'évolution de la température en antarctique ou en arctique en fonction du temps (FT Excel formules)

Traiter des données et communiquer des résultats

Compléter le tableau - réponse en mettant vos résultats ($\delta^{18}\text{O}$ en fonction de la température moyenne de l'air) en commun avec ceux des autres groupes.

Exporter et ajuster vos graphiques (delta isotopique en fonction du temps, et température en fonction du temps) dans une même page word.

Appeler le professeur pour vérification et obtention de la fiche - résultats Groenland et Antarctique

Légender la périodicité observée sur les graphiques.

Exploiter les résultats obtenus pour répondre au problème

Discuter de l'utilisation du $\delta^{18}\text{O}$ comme thermomètre isotopique. (Tableau réponse. Document D)

Indiquer l'écart moyen de température entre les périodes froides et les périodes chaudes ainsi que la périodicité de ces écarts au Groenland et en Antarctique sur la période de temps considérée.

| <u>Tableau réponse</u> | Latitude comprise entre 30°N et 30°S | | Latitude supérieure à 60°N ou à 60°S | | | |
|--|--------------------------------------|--|--------------------------------------|--|--|--|
| Station | | | | | | |
| Latitude | | | | | | |
| Équation droite régression | | | | | | |
| Coefficient de corrélation $\delta^{18}\text{O}$ / température | | | | | | |

Document A: La notion de delta isotopique

Deux atomes sont dits isotopes s'ils ont le même nombre de protons (Z) mais une masse atomique (A= neutrons + protons) différente (du fait d'un nombre de neutrons différents). Les différents isotopes d'un atome ont les mêmes propriétés chimiques et biochimiques; ils ont en revanche des propriétés physiques différentes dues à leur différence de masse atomique.

Il existe ainsi différents isotopes de l'oxygène tels que ^{16}O et ^{18}O , qui peuvent entrer dans la constitution de molécules d'eau H_2^{16}O ou H_2^{18}O

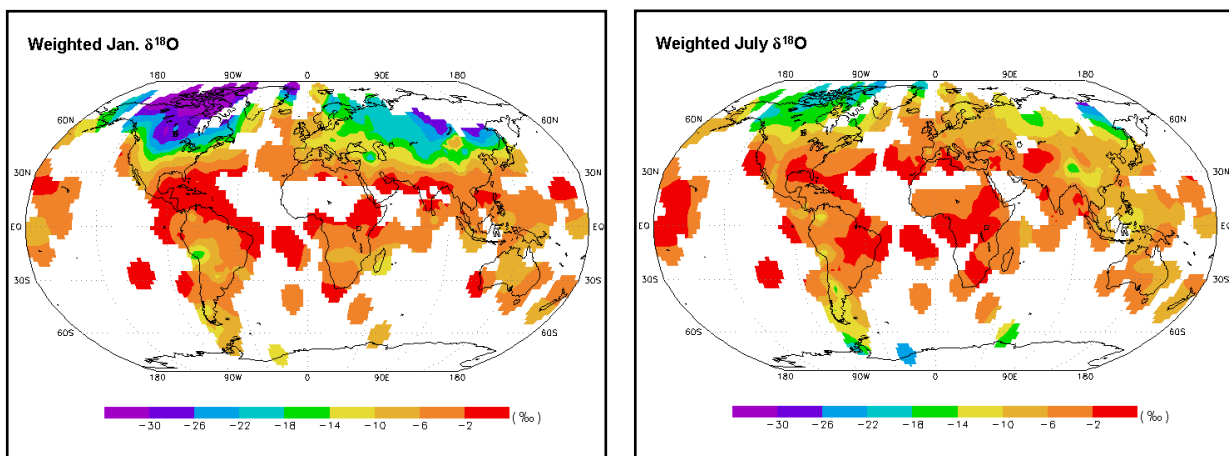
Le rapport $\text{H}_2^{18}\text{O} / \text{H}_2^{16}\text{O}$ peut être mesuré par spectrométrie de masse dans différents échantillons. Il existe des variations extrêmement faibles de ce rapport dans les océans (de l'ordre de $\pm 0,1\%$) et un peu plus importantes dans les précipitations, pluie et neige (de l'ordre de $\pm 3\%$). Un indice permet d'exprimer ces différences, le $\delta^{18}\text{O}$

Le $\delta^{18}\text{O}$ indique la différence entre le rapport $^{18}\text{O} / ^{16}\text{O}$ mesuré dans échantillon d'eau et le rapport $^{18}\text{O} / ^{16}\text{O}$ moyen des océans actuels (nommé SMOW). Il est exprimé en pour mille et il se calcule selon la formule suivante :

$$\delta^{18}\text{O} = 1000 \cdot [(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{mesuré}} / (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}} - 1]$$

SMOW désigne la composition moyenne de l'océan (Standard Mean Ocean Water), qui vaut : $(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}} = 2005,2 \cdot 10^{-6}$

Document B: Moyennes mensuelles du $\delta^{18}\text{O}$ des eaux de précipitations



Documents d'après <http://accres.ens-lyon.fr>

Document C: Le fractionnement isotopique de l'oxygène

Lorsque l'eau de mer s'évapore, la molécule H_2^{16}O légère passe plus facilement dans la phase vapeur que la molécule lourde H_2^{18}O .

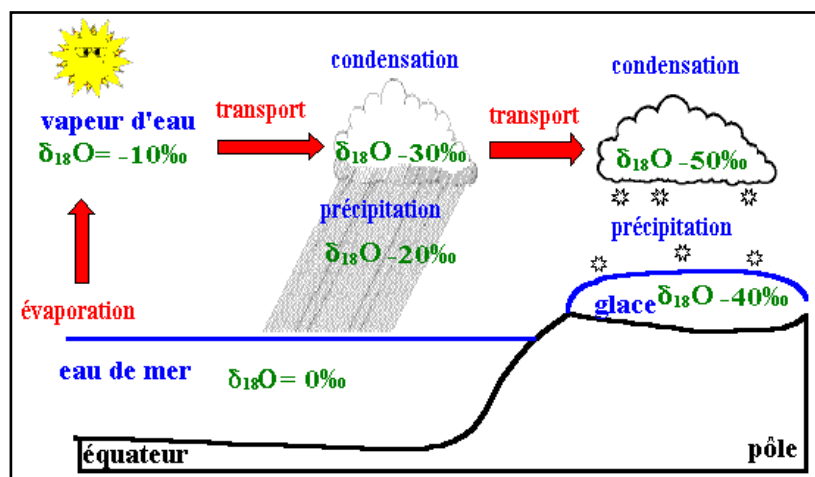
La vapeur d'eau s'évapore essentiellement dans les régions tropicales les plus chaudes.

Dès le processus d'évaporation, la vapeur d'eau contient environ 1‰ de ^{18}O en moins par rapport à l'eau des océans ($\delta^{18}\text{O} = -10$ pour mille).

Cette masse d'air humide est ensuite transportée vers les plus hautes latitudes. Lors de chaque condensation de la vapeur d'eau, les molécules H_2^{18}O se condensent préférentiellement par rapport aux molécules H_2^{16}O .

La vapeur d'eau s'appauvrit alors en ^{18}O . Au cours de sa migration vers les pôles (et de son refroidissement), la masse d'air subit des condensations successives qui l'appauvrissent en isotope lourd.

Les précipitations se fabriquent à partir de vapeur d'eau de plus en plus appauvrie en isotope lourd. Le $\delta^{18}\text{O}$ des précipitations diminue (-10, -20, -30, -40 pour mille)



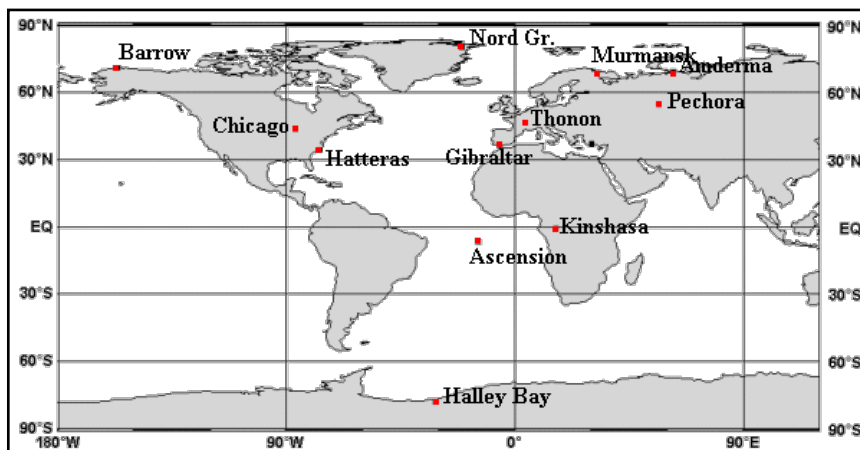
Document d'après <http://accres.ens-lyon.fr>

Document D: La notion de corrélation

La corrélation est une mesure de l'intensité du lien existant entre 2 variables. Construire une droite de régression qui passe au mieux au milieu de tous les points n'a de signification que si le coefficient de corrélation est élevé. Plus le coefficient de corrélation est proche de +1 ou de -1 plus le lien existant entre les 2 variables est fort. (On admet qu'il y'a une corrélation si $R > \pm 0,87$). La mise en évidence d'une corrélation n'implique pas nécessairement de relation de cause à effet.

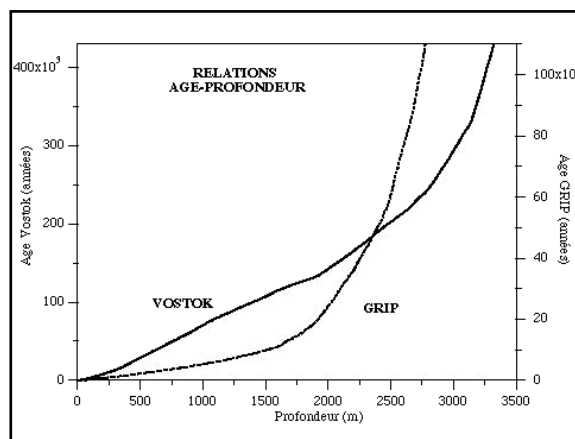
(Excel donne le coefficient de détermination R^2 . Le coefficient de corrélation R est égal à la racine carré de R^2)

Document E: Carte des stations pour l'étude de la corrélation entre le $\delta^{18}\text{O}$ et les moyennes de température



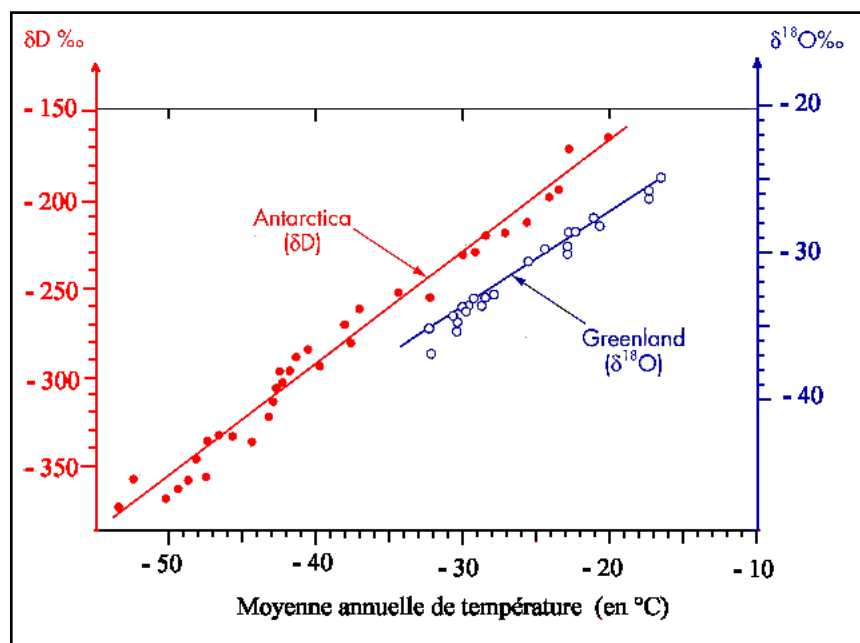
Documents d'après <http://acces.ens-lyon.fr>

Document F: Age de la glace en fonction de la profondeur au Groenland et en Antarctique



Document d'après <http://acces.ens-lyon.fr>

Document G: Graphique de Jouzel



Document d'après <http://acces.ens-lyon.fr>