

CHAP 01-ACT PB/DOC-Les archives du climat

Mots clés : Traceurs chimiques ; Climat ; Erosion ; Dissolution ;

Objectifs :

- Résolution d'un problème scientifique
- Analyse et synthèse de documents scientifiques

1. Les traceurs chimiques dans le suivi du climat

La paléoclimatologie est la science qui étudie les climats du passé afin de prendre les éventuelles variations climatiques actuelles.

Situation problème

Le relevé systématique des conditions météorologiques est relativement récent (seconde moitié du XIXe siècle). Pour connaître les climats du passé, on doit donc aller chercher des traceurs, témoins des climats anciens. Les paléoclimatologues prélèvent des carottes dans la glace ou les sédiments. Leur analyse chimique permet de connaître l'évolution du volume de glace sur Terre ou celle de la température de l'air, par exemple.

Analyse du problème

Il existe trois isotopes naturels stables de l'oxygène : ^{16}O (99,76 %), ^{17}O (0,04 %) et ^{18}O (0,20 %). Les paléoclimatologues parviennent à reconstituer l'évolution des températures en étudiant la composition isotopique de l'oxygène des glaces. Ils mesurent le rapport isotopique, $\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)$ de l'échantillon, et calculent sa variation relative $\delta^{18}\text{O}$ par rapport à une valeur standard notée SMOW (Standard Mean Océan Water), égale à $2,0 \cdot 10^{-3}$:

$$\delta^{18}\text{O} = \left(\frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)_{\text{échantillon}} - \left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)_{\text{smow}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)_{\text{smow}}} \right) \cdot 10000$$

La valeur de cette variation relative permet de déterminer la température de l'air à l'époque de la formation de la glace.

Vocabulaire :

Traceur : élément ou composé chimique dont la concentration est mesurable et qui permet de suivre un déplacement de matière, notamment dans l'environnement.

Carotte : échantillon cylindrique de glace ou de sédiment prélevé verticalement par forage.

1.1. Questions

- Qu'appelle-t-on isotopes ?
- Que peut-on dire de leurs propriétés chimiques ?
- Dans la glace, à quelle molécule appartiennent les atomes d'oxygène ?
- Le rapport isotopique $\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)$, mesuré a-t-il la même valeur que lorsque la glace s'est solidifiée ? Pourquoi ?
- À quelle grandeur semble reliée la température de l'air à l'époque de la formation de la glace ?

1.2. Question scientifique à résoudre

Peut-on préciser la relation de la question e) et lui donner une explication scientifique ?

Construction des étapes de la résolution

Les changements d'état, vaporisation ou condensation, peuvent enrichir ou appauvrir l'eau en ses isotopes lourds et conduire à un fractionnement mesurable : la phase la plus dense est enrichie en l'isotope le plus lourd, au détriment de la phase légère.

Partiellement dépouillée en isotopes lourds lors de sa vaporisation dans les régions tropicales, l'eau des nuages poursuit son appauvrissement tout au long de son trajet vers les pôles, du fait des condensations successives partielles qu'elle va subir par suite de la baisse progressive de sa température.

Plus la température du lieu des précipitations est faible, plus la masse d'air a subi depuis sa formation un processus poussé d'appauvrissement en isotopes lourds (semblable à une de distillation fractionnée) et plus la teneur en isotope lourd de la neige sera faible.

Année	Moyenne annuelle de la température (en °C)	$\delta^{18}\text{O}$ des précipitations ($\times 10^{-3}$)
1980	-30,0	-28,0
1983	-27,8	-26,2
1984	-26,4	-25,9
1985	-24,8	-26,5
1986	-23,5	-23,8
1987	-22,0	-22,8
1988	-20,3	-20,7
1989	-16,9	-19,7
1990	-13,1	-17,8
1991	-10,2	-20,2
1992	-7,7	-16,9
1993	-5,0	-14,8
1994	-2,9	-17,5

Fig. 3 Relevés effectués à Halley Bay (Antarctique).

- a) Dans la glace des calottes polaires, le rapport isotopique $\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)$, est légèrement plus faible que dans l'eau de mer, ce qui prouve un fractionnement isotopique lors du cycle de l'eau. Expliquer.
- b) Comment évolue la variation $\delta^{18}\text{O}$ dans la glace polaire fraîchement gelée :
 - Lorsque la température locale diminue ?
 - Lorsqu'elle augmente ?
- c) Comment peut-on montrer que la valeur de $\delta^{18}\text{O}$ est liée à la valeur de la température en un lieu donné ?

Mise en œuvre des étapes de la résolution

d) Représenter graphiquement l'évolution de la valeur $\delta^{18}\text{O}$ relevée à Halley Bay en fonction de la moyenne annuelle de la température (Fig. 3).

Montrer le résultat au prof pour vérification

- e) Quel est le type de courbe obtenue ? Déterminer son équation.
 f) En déduire l'effet sur la température d'une augmentation de $\delta^{18}\text{O}$ de $1,0 \cdot 10^{-3}$.

Regard critique sur la résolution

g) Pourquoi l'équation obtenue précédemment est-elle spécifique à Halley Bay ?

Pour conclure

- h) Pourquoi les glaces constituent-elles des archives du climat ?
 g) On qualifie parfois les glaces de « thermomètre isotopique ». Expliquer cette expression

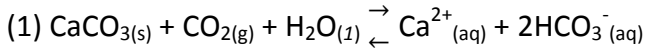
2. Rôle de l'altération des roches dans l'évolution du climat

Le climat a fortement évolué depuis la formation de la Terre.

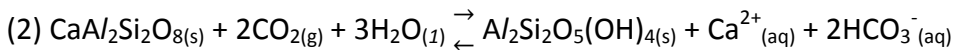
Comment l'altération des roches par l'eau peut-elle modifier le climat à l'échelle des temps géologiques

Certaines formations géologiques sont dues à l'altération des roches (érosion).

C'est par exemple le cas des karsts, structures géologiques formées par dissolution des roches **calcaires** au contact d'eau riche en dioxyde de carbone :



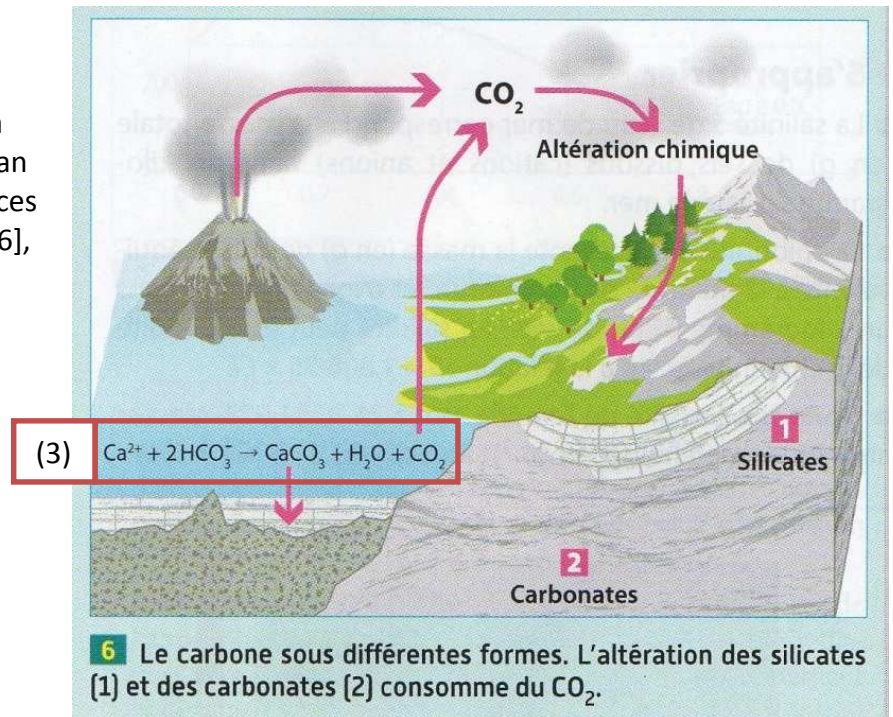
L'érosion d'un **basalte** conduit à l'altération de l'anorthite (minéral silicaté) en kaolinite. Cette érosion consomme elle aussi du dioxyde de carbone :



Les ions et minéraux produits sont conduits, grâce aux rivières, dans l'océan.

Les ions $\text{Ca}^{2+}_{(aq)}$ et $\text{HCO}_3^{-}_{(aq)}$ s'accumulent dans l'eau de mer et précipitent dès que la limite de solubilité du carbonate de calcium est atteinte.

Cette précipitation s'accompagne d'une libération de dioxyde de carbone [doc.6], L'érosion des roches sur les continents et la précipitation des ions carbonate dans l'océan s'opposent donc en termes de bilan d'espèces chimiques produites et consommées [doc. 6],



S'informer :

- Le calcaire est une roche sédimentaire constituée d'au moins 50 % de calcite, minéral dont la formule chimique est CaCO_3 .
- Le basalte est une roche magmatique volcanique, formée par refroidissement rapide de magma et constituée de minéraux silicatés.
- La limite de solubilité d'une espèce est la concentration : à partir de laquelle cette espèce ne se dissout plus dans l'eau. Cette limite dépend de la température.

2.1. Questions

- a)** Faire un tableau d'avancement des équation (1), (2) et (3)
- b)** En raisonnant sur les équations de réactions, faire le bilan de la quantité de dioxyde de carbone consommée ou produite dans le cas de l'érosion continentale de calcaire suivie de la précipitation dans l'océan des ions carbonate.
- c)** Réaliser de même le bilan de la quantité de dioxyde de carbone consommée ou produite dans le cas de l'érosion continentale de basalte, riche en anorthite, suivie de la précipitation dans l'océan des ions carbonate.
- d)** Laquelle de ces deux érosions influe le plus sur la teneur en dioxyde de carbone dans l'atmosphère ?
- e) Rédiger une synthèse**
Expliquer comment l'érosion d'un relief constitué de basalte riche en anorthite contribue à refroidir durablement le climat de la Terre.