

## Thème 2 Enjeux planétaires contemporains

### Atmosphère, hydrosphère, climats : du passé à l'avenir

#### Réf.06 Chap.III L'évolution du climat durant les 800 000 dernières années

Les changements climatiques des 800 000 dernières années sont déduits d'analyses effectuées à partir de carottes glaciaires, de tourbes mais aussi d'indices sédimentaires.

#### I Des indices permettant de reconstituer des variations climatiques

##### A Des indices biologiques

Les variations climatiques locales peuvent être déduites de l'étude de **carottes** sédimentaires de lacs ou de tourbières.

Grâce à ces carottages, on peut retrouver des **pollens** fossiles et les dater. La comparaison des pollens fossiles et des pollens actuels permet d'identifier les végétaux qui se sont succédé au cours du temps dans une région donnée. La répartition en pourcentage des pollens des différentes espèces à une époque donnée constitue **un spectre pollinique**.

L'évolution des spectres polliniques au cours du temps est représentée par un **diagramme pollinique**.

En appliquant le **principe d'actualisme** (c'est-à-dire en considérant que les espèces d'autrefois avaient les mêmes exigences climatiques que les espèces actuelles), on peut reconstituer les climats qui se sont succédé localement au cours du temps.

##### B Des indices physico-chimiques dans les carottes de glace

- Les variations locales de température au-dessus des calottes polaires sont déduites de la composition isotopique de l'oxygène  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  de la glace.

Les glaces polaires se forment par accumulation de neige au cours des années. Le principe de superposition s'applique à leur étude : les couches de glace superficielles sont plus récentes que les couches profondes.

L'oxygène présente deux isotopes stables,  $^{18}\text{O}$  et  $^{16}\text{O}$  présents en quantités différentes dans l'eau, la glace ou la neige. On mesure le **rapport isotopique de la glace** ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) puis on calcule le  **$\delta^{18}\text{O}$**

$$\delta^{18}\text{O} = \left[ \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{glace}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}} - 1 \right] \times 1000$$
 SMOW = Standard Mean Ocean Water = référence standard.

⇒ Le  $\delta^{18}\text{O}$  est un **thermomètre isotopique** : plus il est négatif, plus la température au moment de la formation de la glace est basse.

⇒ Le  $\delta^{18}\text{O}$  permet de déterminer des variations de températures au niveau des pôles.

Les carottages effectués permettent de remonter dans le temps jusqu'à 800 000 ans (record obtenu en 2004 en Antarctique).

Ces études ont permis de montrer que le climat a fluctué de façon cyclique avec alternance **de période glaciaire et de période interglaciaire**. Chaque cycle climatique, d'une durée approximative de 100 000 ans, est ainsi caractérisé par une phase de refroidissement lent et irrégulier (d'une durée de l'ordre de 90 000 ans) et d'une phase de réchauffement plus rapide qui peut durer 10 000 ans.

On reconnaît actuellement que depuis 800 000 ans, la Terre a connu huit cycles climatiques.

- Les analyses des bulles de gaz piégées dans les glaces permettent aussi de récolter des données sur la **composition gazeuse de l'atmosphère** au cours des 800 000 dernières années. De nombreux gaz sont étudiés et certains, comme **les gaz à effet de serre** tels que le dioxyde de carbone et le méthane, sont significatifs et permettent d'expliquer les variations climatiques. En effet, on constate une corrélation étroite entre les concentrations en  $\text{CO}_2$  et  $\text{CH}_4$  (méthane) et les changements de température enregistrés aux pôles : lorsque la concentration des gaz à effet de serre augmente, on enregistre une augmentation de la température.

### C Des indices physico-chimiques dans les sédiments océaniques

Les foraminifères sont des organismes marins à test carbonaté (squelette externe). On mesure un rapport isotopique  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  établi à partir de ces tests de foraminifères et on calcule, comme pour la glace, l'indice isotopique  $\delta^{18}\text{O}$  (le rapport de isotopique de référence n'est pas celui du SMOW).

Les scientifiques ont établi une **relation entre  $\delta^{18}\text{O}$  et le volume des glaces** présents à la surface des continents : cet indice est élevé lorsque le volume de glace stocké sur les continents est important, ce qui indique une période de refroidissement.

Le calcul de cet indice permet de faire des estimations de changements climatiques sur les 800 000 dernières années mais également sur des échelles de temps beaucoup plus grandes (millions d'années).

## II Des paramètres permettant d'expliquer l'origine des variations climatiques

### A Des paramètres astronomiques

Ces paramètres modifient la quantité d'énergie solaire reçue par la Terre ainsi que sa répartition à sa surface. La théorie de Milankovitch (ou théorie astronomique des changements climatiques) permet d'expliquer des changements des climats en relation avec des changements de paramètres orbitaux de la Terre. Ces changements sont cycliques et sont en corrélation avec les enregistrements effectués grâce aux indices physico-chimiques.

### B Des facteurs qui amplifient les changements climatiques

#### ➤ Le dioxyde de carbone

⇒ L'effet de serre :

L'atmosphère laisse passer une très grande partie du spectre de la lumière solaire : l'atmosphère est transparente aux radiations du domaine du visible. Une partie importante de l'énergie solaire atteint la surface de la Terre (on parle d'énergie incidente). Une partie de cette énergie est réémise sous forme de **radiations infra-rouges**. Ce qui a tendance à refroidir la surface de la Terre. Cependant, les gaz à effet de serre absorbent une grande partie des radiations infra-rouges, ce qui limite les pertes d'énergie vers l'espace. L'absorption de ces infra-rouges par certains gaz comme le dioxyde de carbone constitue **l'effet de serre naturel**.

Des variations dans la composition en gaz à effet de serre entraîneront donc un déséquilibre avec soit une augmentation de l'effet de serre ou une diminution.

⇒ Les modifications des paramètres astronomiques sont des **déclencheurs** de variations de climats. Ces variations sont amplifiées par un processus de **rétroaction positive** ou diminuées par **rétroaction négative**.

Par exemple, si les paramètres orbitaux déclenchent une augmentation de la quantité d'énergie reçue à la surface de la Terre, on observe une amorce de réchauffement climatique. Ce réchauffement va interférer sur le cycle du carbone : réchauffement des eaux de surface, diminution de la solubilité du  $\text{CO}_2$  dans l'eau. Les océans deviennent des **sources de  $\text{CO}_2$** . Du  $\text{CO}_2$  passe dans l'atmosphère ce qui engendre une augmentation de l'effet de serre. Dans ce cas, il y a amplification du réchauffement (rétroaction positive) avec un **forçage radiatif** positif (augmentation de la quantité d'énergie au sol).

Même type de raisonnement si les modifications des paramètres orbitaux déclenchent un refroidissement. Dans ce cas, les océans deviennent des **puits de  $\text{CO}_2$** .

#### ➤ L'albédo

L'albédo correspond au rapport de l'énergie réfléchie par une surface sur l'énergie reçue par cette surface. Plus la quantité d'énergie réfléchie est élevée, plus l'**albédo** est important : la surface réfléchissante absorbe encore moins d'énergie et se refroidit davantage. (voir chap.II)

D'autres phénomènes naturels sont à prendre en compte dans les modifications du climat comme par exemple les éruptions volcaniques qui sont source de dioxyde de carbone.

### III Activités humaines et évolution possible du climat

Depuis la révolution industrielle de la fin du XVIIIème siècle, les activités humaines libèrent une grande quantité de gaz à effet de serre. Il en résulte un effet de serre d'**origine anthropique** qui s'ajoute à l'effet de serre naturel. On parle de forçage radiatif positif d'origine anthropique.

Actuellement, le taux de CO<sub>2</sub> a atteint 400 ppm. Ce taux, mesuré notamment dans les carottes de glace, a augmenté rapidement depuis le début du XIXème siècle alors que les variations enregistrées jusqu'alors oscillaient entre 200 à 300 ppm environ.

Les conséquences d'un réchauffement climatique global sont nombreuses :

- Fontes des glaciers des montagnes, fontes des calottes polaires antarctiques et des banquises
- Augmentation de la température des océans
- Modification du cycle du carbone avec augmentation du taux de CO<sub>2</sub> atmosphérique par des processus d'amplification...

L'augmentation de la température a des effets sur le niveau de la mer : l'élévation de la température des océans entraîne une dilatation thermique (augmentation du volume d'eau sous l'effet du réchauffement) ainsi que la fonte des glaces continentales qui entraînent une élévation du niveau marin.

Des modèles climatiques permettent d'évaluer les conséquences du réchauffement de la Terre et d'établir différents scénarios en fonction des politiques engagées dans la réduction de la production des gaz à effet de serre. Ces différents modèles envisagent des augmentations de températures entre 2 et 5°C sur une période de 100 ans.

#### **Léxique Réf.06**

**Albédo** : rapport de l'énergie lumineuse réfléchie par une surface sur l'énergie incidente (revoir réf.5).

**Forçage radiatif** : différence entre l'énergie radiative reçue et l'énergie radiative émise par un système climatique donné. Un forçage radiatif positif tend à réchauffer le système (plus d'énergie reçue qu'émise), alors qu'un forçage radiatif négatif va dans le sens d'un refroidissement (plus d'énergie perdue que reçue).

**Gaz à effet de serre** : gaz atmosphérique qui absorbe les radiations infrarouges émises par la surface de la Terre (revoir réf.5)

**Puits de carbone** : flux entrant de carbone supérieur au flux sortant

**Rétroaction positive** : action en retour d'un phénomène qui tend à accentuer davantage ce phénomène

Ex : refroidissement => calotte glaciaire => albédo élevé => refroidissement accentué

**Rétroaction négative** : action en retour d'un phénomène qui tend à diminuer ce phénomène

Ex : augmentation CO<sub>2</sub> atmosphérique => réchauffement => favorise photosynthèse => fixation de CO<sub>2</sub> => diminution CO<sub>2</sub> atmosphérique (pas aussi simple cependant car les échanges gazeux photosynthétiques sont compensés aussi par les échanges gazeux respiratoires par exemple...)

**Origine anthropique** : liée aux activités humaines

**Principe d'actualisme** : principe selon lequel les lois régissant les phénomènes géologiques actuels étaient les mêmes dans le passé. Ce principe s'applique également aux phénomènes biologiques. (Attention : ce que dit un principe n'est pas vérité pure car difficilement démontrable notamment quand il s'agit de phénomènes qui se sont déroulés il y a très longtemps).