

## **Introduction.**

### Objectifs.

- Montrer que des événements géologiques majeurs qui se produisent en surface ont des causes internes à la Terre mais aussi externes (système solaire) ;
- Découvrir la richesse des enregistrements (archives du climat) ;
- Rechercher les mécanismes physiques élémentaires expliquant les changements climatiques et du niveau marin ;
- Etablir des liens entre phénomènes biologiques et géologiques ;
- Montrer que la recherche des mécanismes qui contrôlent la variation des climats de la Terre dans le passé est importante pour appréhender l'évolution future de notre environnement.

## **A. Les climats passés de la planète.**

### **1. Les changements du climat au cours des 700 000 dernières années.**

#### **1.1 Les méthodes de mesure.**

Les carottes de glace forées dans les calottes polaires et les carottes sédimentaires des fonds océaniques ou lacustres permettent de reconstituer les variations climatiques des 700 000 dernières années.

Les variations locales de la température au-dessus des calottes polaires sont déduites de la composition isotopique de l'oxygène ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ou  $\delta^{18}\text{O}$ ) de la glace. Ces variations de température sont corrélées à des variations de concentration en gaz à effet de serre dans l'atmosphère (notamment  $\text{CO}_2$  et  $\text{CH}_4$ ). En dehors des pôles, les variations climatiques locales sont déduites de l'étude de carottes sédimentaires de lacs ou de tourbières (pollens par exemple).

Les variations globales du volume des calottes glaciaires et des glaciers, représentatives des changements climatiques à l'échelle de la planète, sont déduites de la composition isotopique de l'oxygène ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) des tests carbonatés dans les sédiments océaniques (Foraminifères benthiques...).

#### **1.2 Les résultats.**

Les variations climatiques montrent des alternances de périodes glaciaires et interglaciaires. Un cycle de 100 000 ans rythme les glaciations. Des cycles de réchauffement-refroidissement sont observés entre deux maxima glaciaires avec des périodes de 43 000, 24 000 et 19 000 ans.

#### **1.3 Les causes des changements climatiques.**

Les périodicités enregistrées dans les glaces et sédiments s'expliquent par les variations régulières des paramètres orbitaux de la Terre (Milankovitch). Ces paramètres déterminent la répartition et les variations au cours du temps de l'énergie solaire reçue aux différentes latitudes.

Cependant, les seules variations de l'ensoleillement n'expliquent pas l'amplitude observée des variations de températures (baisse d'énergie reçue insuffisante pour expliquer les amplitudes thermiques observées). D'autres phénomènes interdépendants modulent l'effet astronomique. Parmi ces phénomènes, on trouve :

- Les variations de l'albédo de la planète.

L'albédo est l'un des facteurs qui contrôle la température de surface de la Terre. Il est fonction entre autres du couvert végétal et de l'extension des calottes polaires qui eux-mêmes dépendent de la température.

- Les variations de la teneur en  $\text{CO}_2$  atmosphérique.

Le  $\text{CO}_2$  participe à l'effet de serre de la planète. Sa concentration dans l'atmosphère est en équilibre avec celle de l'océan. Lorsque la température augmente, la solubilité de  $\text{CO}_2$  dans l'océan diminue, l'équilibre précédent est déplacé : du  $\text{CO}_2$  passe de l'océan dans l'atmosphère ce qui induit une augmentation de l'effet de serre.

Ces deux facteurs correspondent à des rétroactions positives.

## 2. Les changements climatiques aux plus grandes échelles de temps.

La période actuelle est plutôt froide (présence de calottes glaciaires en Antarctique et au Groenland). Dans cette période froide, il fait actuellement moins froid. Cela provient des variations des paramètres orbitaux terrestres. Ces variations n'expliquent toutefois pas les changements aux grandes échelles de temps (plusieurs millions d'années). Comment les expliquer ?

On sait que le climat terrestre a fortement évolué car on retrouve, dans les roches lithosphériques :

- des traces de périodes chaudes
- des traces de périodes glaciaires
- des traces de changements brusques du climat.

Les mécanismes des variations climatiques aux grandes échelles de temps impliquent des variations importantes dans la teneur en gaz à effet de serre de l'atmosphère (maximum du CO<sub>2</sub> au Crétacé, minimum au Carbonifère par exemple). Ces variations sont contrôlées en particulier par les processus suivants qui libèrent ou consomment du CO<sub>2</sub> :

Libération de CO <sub>2</sub>	Consommation de CO <sub>2</sub>
La précipitation des carbonates libère du CO <sub>2</sub> et la dissolution des carbonates consomme du CO <sub>2</sub> . Le bilan entre les deux réactions est donc nul. Voir les équations en TP.	L'altération des silicates calciques et magnésiens consomme du CO <sub>2</sub> (érosion des chaînes de montagnes). Voir les équations en TP.
Le dégazage du manteau par le volcanisme (dorsales, points chauds) libère du CO <sub>2</sub> dans l'océan et dans l'atmosphère.	Le piégeage de la matière organique par fossilisation des végétaux stocke le CO <sub>2</sub> (charbon, pétrole...).

Quelques ordres de grandeur :

- L'atmosphère contient  $2,82 \cdot 10^{15}$  kg de carbone
- 1 kg de CaCO<sub>3</sub> (calcaire, craie...) contient 440 g de CO<sub>2</sub>
- L'ensemble des calcaires de la Terre contient  $4 \cdot 10^{20}$  kg de CO<sub>2</sub>

L'albédo joue également un grand rôle.

Notez que la position des continents intervient dans l'installation d'une période glaciaire ou non (continent au pôle ; reliefs...).

## 3. Comment envisager les climats du futur (Bilan).

L'identification des paramètres qui contrôlent le climat de la Terre est essentielle pour construire des modèles climatiques. Les scénarios d'évolution de la température moyenne de la Terre qui, outre la variabilité naturelle du climat, prennent en compte l'impact de l'activité humaine, prévoient un réchauffement de l'ordre de 1,4°C à 5,8°C au cours du XXI<sup>e</sup> siècle.

Ce réchauffement à l'échelle du siècle se superpose à un refroidissement constant de plus grande ampleur qui a débuté depuis 20 millions d'années.

## B. Les variations du niveau de la mer.

### 1. Mise en évidence des variations du niveau de la mer au cours des temps géologiques.

- Les variations du niveau de la mer modifient la surface des terres émergées.
- Les roches sédimentaires par leur nature et leur extension enregistrent les variations relatives du niveau de la mer. (Exemples : les coraux, DM pour vendredi). Ces variations se manifestent notamment par des **transgressions** (hausse du niveau marin) et des **régressions** (baisse du niveau marin) sur les continents (on parle d'**eustatisme** : changement du niveau marin).

### 2. Les causes des variations mondiales du niveau de la mer.

- Les variations relatives du niveau de la mer à l'échelle mondiale sont contrôlées par le **volume d'eau dans les bassins océaniques**. On considère que **pendant les 200 derniers millions d'années le volume d'eau** sous forme de glace, de liquide et de vapeur est **constant à la surface de la Terre**.

Les principales causes des variations du niveau de la mer sont (attention aux trois échelles temporelles, nettement différentes !!!) :

- La **dilatation thermique** de l'eau (de **10 à 20 cm par siècle**) ;

On peut mesurer cette dilatation thermique à l'aide de satellites. La relation mathématique entre la température et le niveau n'est pas développée ici : globalement, pour 5 °C d'augmentation, l'élévation attendue est de 5 m. Toutefois, seules les eaux de surface sont affectées par le réchauffement (pas les eaux profondes, donc l'élévation est forcément moindre). De plus, depuis 1 siècle, le changement de température est de l'ordre de quelques dixièmes de degrés, donc l'élévation est faible.

- La formation et la destruction des **calottes polaires** (de l'ordre de la **centaine de mètres en 10 000 à 100 000 ans**) ;

Baisse du niveau marin d'environ une centaine de mètres entre les périodes glaciaire et interglaciaire. Le volume actuel de la calotte antarctique est de  $2,4 \cdot 10^{16} \text{ m}^3$  (volume des océans :  $1,4 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$ ). Si elle fondait complètement, le niveau des océans augmenterait de 69 m (par approximation). Attention, je rappelle que la glace de mer (banquise) n'a pas d'influence sur le niveau marin (ce n'est que de l'eau de mer qui est gelée).

Ces deux causes ont des conséquences à relativement court terme (quelques milliers d'années) -> cela explique les variations observées lors des périodes glaciaires et interglaciaires au Quaternaire. **Les activités humaines interviennent sur ces deux facteurs.**

- Le **volume des bassins océaniques** (dont la variation peut aller jusqu'à **plusieurs centaines de mètres en une dizaine de millions d'années**).

Il dépend de l'activité et du nombre des dorsales ; si la vitesse d'expansion est élevée, la profondeur moyenne des fonds océaniques diminue et l'eau déborde donc sur les continents : exemple au Crétacé.

### Conclusion. Scénario probable pour le futur.

Effectuée en cours.