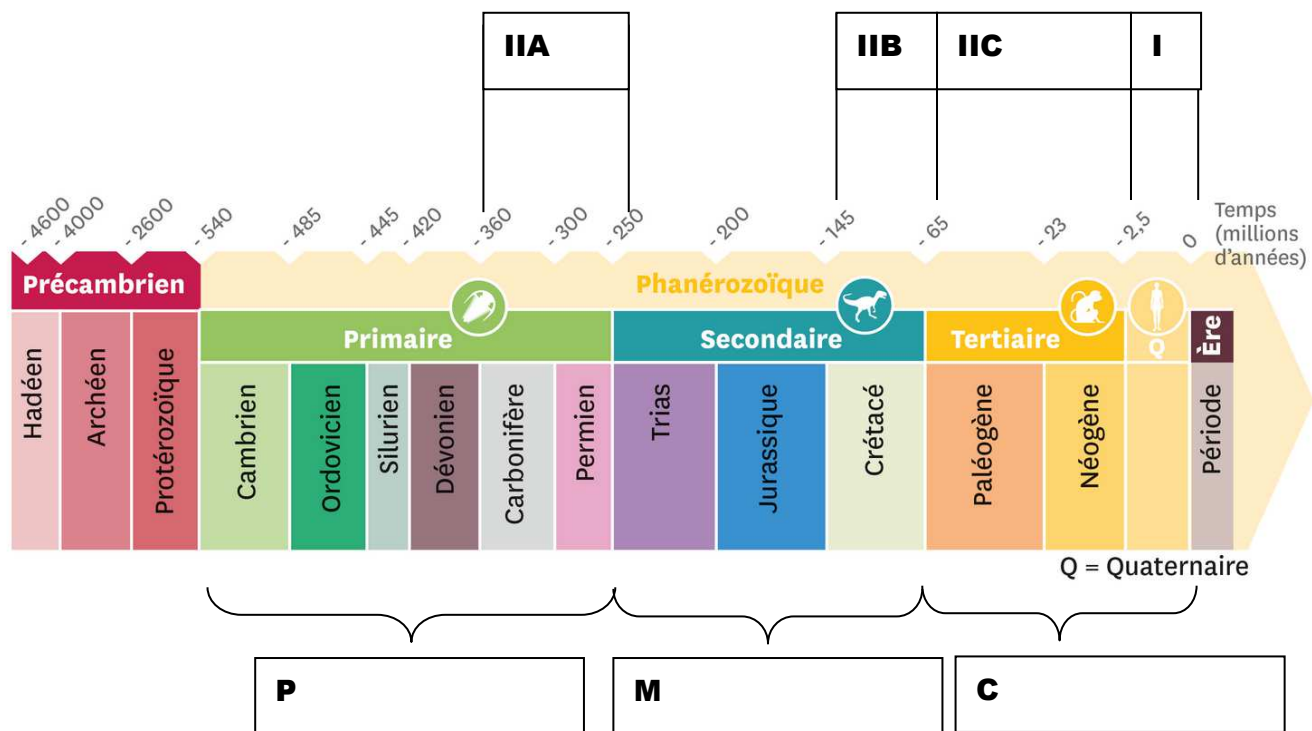


# Chapitre 1 :



Il ne faut pas confondre la ..... qui s'intéresse à des prévisions à court terme (quelques heures/quelques jours) et la ..... qui s'intéresse aux variations du climat à moyen et long terme (en siècles ou périodes géologiques).

.....

## I.

### A. les changements climatiques du quaternaire

#### 1. Le réchauffement climatique actuel (dernier siècle)

Le réchauffement climatique observé ces 150 dernières années est caractérisé par une augmentation de la température globale d'environ .....

Ce réchauffement est imputable aux activités humaines qui ont perturbé le cycle biogéochimique du Carbone par l'émission de ..... (voir chapitre 2).

#### 2. Le climat du quaternaire : une alternance de périodes glaciaires et interglaciaires

Le climat du quaternaire (depuis 2.5 Ma) a été marqué par une **alternance** de périodes de refroidissement (appelées **périodes** ..... : **baisse planétaire des températures et vaste extension des calottes glaciaires**) et de périodes de **réchauffement** : les périodes .....

*\*\*La dernière période glaciaire (**Würm**) a débuté il y a environ 120 000 ans et s'est achevée il y a 11 000 ans (le maximum glaciaire a été atteint il y a 20 000 ans). Depuis, le climat s'est réchauffé et s'est traduit par une forte réduction de la surface des glaciers.*

On peut mettre en évidence que les phases de refroidissement se répètent régulièrement avec une période de ..... Entre deux périodes glaciaires, on peut déterminer des cycles climatiques moins marqués (réchauffement – refroidissement).

*\*\* Ces alternances sont démontrées par l'étude des ..... (accumulation de roches transportées par les glaciers) l'analyse des rapports isotopiques de l'oxygène ( $\delta^{18}O$ ) dans la glace et des sédiments.*

### B. Les marqueurs (= ..... ) de ces changements climatiques

La détermination de ces variations climatiques a été effectuée en utilisant différents marqueurs climatiques, comme la teneur isotopique des glaces, les grains de pollen ou le contenu fossilifère de dépôts sédimentaires récents.

On se base sur le **principe d'**..... : on suppose que ce qui est valable aujourd'hui l'était par le passé. Donc si l'on retrouve pour une époque donnée un indice géologique connu pour être aujourd'hui caractéristique d'un climat chaud, on considèrera que le climat était chaud à l'époque.

#### 1. Les données de l'archéologie

*\*\*Cf TD1 : reconstituer les climats du passé en étudiant l'archéologie*

A échelle de temps courte (maxi 40 000 ans), on peut s'aider d'indices laissés par les humains comme des peintures ..... pour reconstituer les climats du passé.

## 2. Les grains de pollens

**Le pollen**, élément servant à la reproduction des plantes à fleurs, est **très résistant à la décomposition** (grâce à son enveloppe extérieure, l'exine) ce qui lui permet d'être ..... dans les sédiments. De plus il est petit et léger, donc transporté sur de grandes distances et il est émis en très grand ....., ce qui maximise les chances d'en retrouver dans des carottes de sédiments. Enfin la forme et la taille des grains de pollen varient selon les espèces et permettent donc de les identifier.

Dans une carotte de sédiments (souvent de la .....), on prélève les pollens fossiles. En comparant ces pollens fossiles et les pollens actuels (.....) on identifie les espèces vivant à l'époque de la fossilisation dans les régions avoisinantes. On peut également faire une évaluation (à partir de comptages) du pourcentage de chaque type de pollen, permettent d'établir un ..... **caractéristique d'une période donnée.**

Celui-ci permet de reconstituer l'association végétale (.....) présente à cette époque et **indicatrice d'un climat particulier.**

Pour une région donnée, on peut, en observant les spectres polliniques d'époques successives, construire un ..... (cf TP6) traduisant l'évolution des biomes au cours du temps.

Associés à des méthodes de datation des sédiments, les pollens permettent de retrouver les grandes variations climatiques récentes (environ ..... ans).

### 3. Les rapports isotopiques dans les cristaux de glace

Dans les cristaux de glace qui se forment actuellement, on peut montrer une corrélation entre les **rapports** ..... de l'oxygène ( $\delta^{18}\text{O}$ ) et de l'hydrogène ( $\delta\text{D}$ ) et la ..... de formation des cristaux : plus la température est ....., plus la valeur du  $\delta^{18}\text{O}$  et du  $\delta\text{D}$  est .....

*\*\* Il est possible de prélever en Antarctique des carottes de glace jusqu'à une profondeur de 3 km. Dans une même carotte, plus la glace est profonde, plus elle est ..... Les glaces les plus anciennes carottées ont environ ..... ans. A partir des rapports isotopiques mesurés dans ces cristaux de glace anciens et en utilisant le principe de l'**actualisme**, on peut donc estimer les variations climatiques passées depuis 800 000 ans. (cf TP 6 : des marqueurs des variations climatiques)*

### 4. Les microfossiles marins

Les microfossiles marins comme les ..... (ce sont des eucaryotes unicellulaires caractérisés par leur coquille calcaire = le test) peuvent être utilisés de deux manières :

- En étudiant leur ..... **mondiale** et leur abondance dans des carottes de sédiments marins : En effet, les observations actuelles montrent que leur répartition dépend des conditions climatiques locales. Selon le principe d'actualisme, la présence et la proportion de certains microfossiles renseignent donc sur les climats du passé
- En **étudiant le  $\delta^{18}\text{O}$**  mesuré dans le test de certains microfossiles marins, on peut remonter au volume des glaces et donc à une estimation du climat de l'époque (sur environ 1 Ma). Attention, dans ce cas-là, une diminution du rapport isotopique  $\delta^{18}\text{O}$  traduira une ..... de la température !

## 5. Les moraines glaciaires

Les glaciers façonnent les paysages :

- ils creusent des vallées à fond plat : les .....
- ils strient les roches par leurs mouvements d'avancée ou de recul : .....
- ils déplacent des blocs de roches ex : *\*\* bloc ..... de Lyon*
- ils créent des ..... : amas de roches laissés par les glaciers sur leurs bords latéraux, au fond ou à l'avant des glaciers.

On peut retrouver dans le paysage de nombreux indices d'anciens glaciers et reconstituer ainsi l'extension des glaciers continentaux qui ont façonné les paysages. En particulier les moraines ..... marquent l'extension maximale des langues glaciaires.

Dans les Alpes, ces moraines ont été utilisées pour définir les périodes glaciaires et interglaciaires (sur la période du quaternaire, soit 2.6 Ma).

**Bilan : La détermination des conditions climatiques passées sera d'autant plus fiable que le nombre de marqueurs utilisés sera important.**

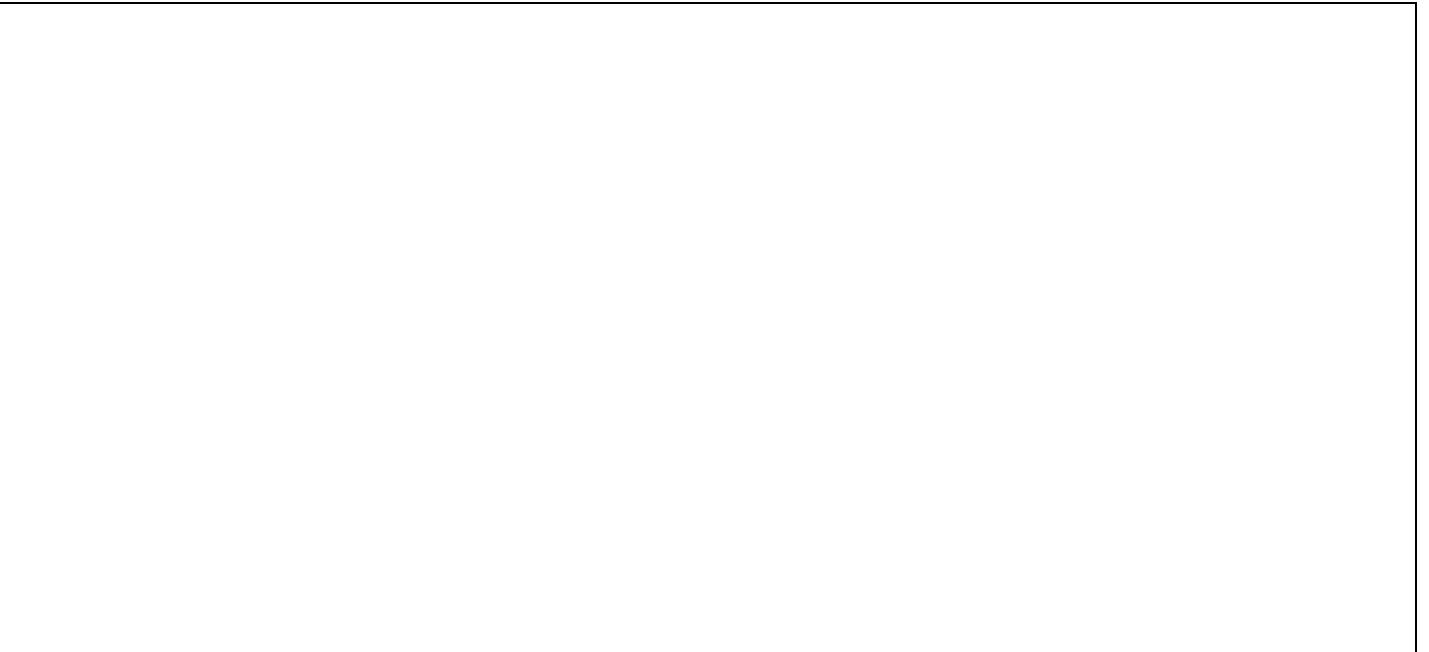
**Les marqueurs présentés ici ne peuvent être exploités que pour des variations récentes car ces marqueurs ne sont présents que dans des terrains récents ; dans des formations géologiques plus âgées, ces marqueurs ont disparu (glaces, pollens ...).**

## C. Les causes des variations climatiques du quaternaire

### 1. les variations de la concentration en gaz à effet de serre (GES)

L'effet de serre est un phénomène ..... de réchauffement de la température terrestre ; en effet, en absence d'effet de serre, la température de la surface terrestre serait d'environ  $-18^{\circ}\text{C}$  alors qu'elle atteint ..... en moyenne. L'effet de serre est donc responsable d'un réchauffement moyen de  $+ 33^{\circ}\text{C}$ .

L'effet de serre est la conséquence des propriétés de certains gaz de l'atmosphère ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , oxydes nitreux) – appelés **Gaz à Effet de Serre** (GES). Ces derniers retiennent les rayons ..... émis par la surface terrestre (en effet, celle-ci absorbe les rayonnements solaires reçus et émet alors des rayons IR).



Ainsi, plus la concentration en GES augmente et plus la température à la surface du globe .....

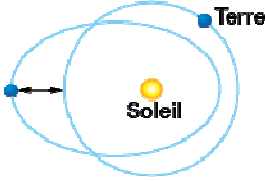
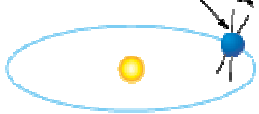

*\*\* On peut remonter à la concentration en GES du passé en étudiant les ..... contenues dans les carottes de glace. Cette concentration en GES a varié de nombreuses fois au cours des temps géologiques pour des raisons diverses (cf TD2).*

Il faut noter que le réchauffement actuel est dû à des GES d'origine ..... (= humaine) comme le  $\text{CO}_2$  et le  $\text{CH}_4$  par exemple.

### 2. Les paramètres orbitaux à l'origine des variations climatiques récentes

Les ..... concernent la forme de l'..... terrestre et la position de son axe de rotation sur elle-même. Ils affectent la quantité d'énergie ..... reçue par la Terre et sa ..... et affectent donc la température moyenne à la surface du globe. Ils varient au cours du temps de façon ..... avec des périodes qui peuvent expliquer en partie les variations climatiques du quaternaire.

On distingue 3 paramètres orbitaux:

Nom du paramètre	Définition	Schéma
..... de l'orbite terrestre	L'excentricité de l'orbite correspond au degré d'aplatissement de l'..... que décrit la Terre dans sa révolution autour du Soleil.	<p>a. Excentricité</p>  <p>Cycles de 100 000 ans entre l'orbite elliptique et l'orbite quasi circulaire</p>
..... de l'axe de rotation de la Terre	L'obliquité correspond à l'..... d'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de son orbite.	<p>b. Obliquité</p> <p>Axe de rotation</p>  <p>Cycles de 41 000 ans : l'inclinaison passe de 24,6° à 22,5°</p>
..... de l'axe de rotation de la Terre	La précession correspond à la position de l'axe de ..... de la Terre, suivant un mouvement d'oscillation ressemblant à celui de l'axe d'une toupie.	<p>c. Précession</p>  <p>Cycles de 19 000 et 23 000 ans</p>

\*\* Pour comprendre les origines de variations glaciaires-interglaciaires, nous pouvons envisager deux cas extrêmes, parmi de nombreuses configurations possibles :

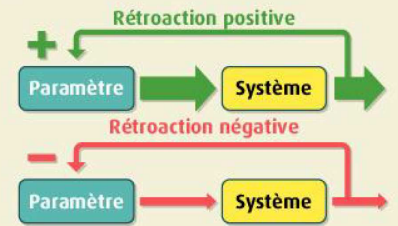
- **Pour la période glaciaire** : excentricité ..... (donc orbite de la Terre presque circulaire), faible inclinaison et grande distance Terre-Soleil en été. Il en résulte un **faible contraste saisonnier** et une configuration favorable à l'apparition d'une période glaciaire.
- **Pour l'apparition d'une période interglaciaire** : forte excentricité (l'orbite de la Terre est une ellipse), inclinaison forte et une faible distance Terre-Soleil en été. Il en résulterait **des saisons très** .....

### 3. Des mécanismes amplificateurs : l'albédo et la solubilité du CO<sub>2</sub>

– l'..... est défini comme le rapport entre énergie réfléchie et énergie reçue par la Terre. Lorsque l'albédo augmente, cela signifie que davantage d'énergie est réfléchie vers l'espace sans avoir réchauffé la Terre, donc sans émission d'IR, donc sans accentuer .....

#### Définition-clé

**Rétroaction :** Action en retour d'un système à la modification d'un paramètre. Si la réponse du système amplifie le phénomène, on parlera de rétroaction positive. Si elle l'atténue, on parlera de rétroaction négative.



En période froide, le développement des banquises et des glaciers provoque une ..... de l'albédo, amplifiant de nouveau le refroidissement.

En période chaude, la fonte de la glace provoque une ..... de l'albédo. La Terre est davantage réchauffée et réémet davantage d'IR qui augmentent l'effet de serre et amplifient le .....

– la solubilité du CO<sub>2</sub> diminue lorsque la température .....

En période **froide**, la solubilité du CO<sub>2</sub> ..... Davantage de CO<sub>2</sub> est solubilisé dans les océans ce qui réduit l'effet de serre et amplifie le refroidissement.

En période **chaude**, le CO<sub>2</sub> se dissout moins dans l'eau, il est rejeté dans l'....., provoquant une **augmentation** de la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub>, ce qui amplifie le **réchauffement**.

Ces deux phénomènes (albédo et solubilité du CO<sub>2</sub>) sont donc des mécanismes ..... des variations climatiques.



**II.**

Des variations du climat ont été également identifiées sur des périodes beaucoup plus longues (des dizaines de millions d'années) et beaucoup plus anciennes. L'ampleur de ces variations ne pouvant s'expliquer par des modifications des paramètres orbitaux (trop rapides), il faut donc rechercher des changements ayant affectés l'effet de serre et/ou l'albédo.

\*\* cf TD2 : des variations climatiques anciennes

### A. La glaciation Carbonifère-Permien (période comprise entre -..... et -..... Ma)

#### La formation du charbon :

La biomasse végétale, mélangée à des sédiments minéraux, est à l'origine du charbon lorsqu'elle échappe à la ..... Le charbon est une roche sédimentaire très riche en ..... (ce qui lui donne son pouvoir combustible), qui provient de la dégradation partielle de matière organique (les atomes d'O, d'N etc... sont éliminés).

Deux conditions sont nécessaires à la formation de gisements de charbon :

- la matière organique doit être .....
- elle doit être rapidement enfouie et ainsi échapper à l'action du dioxygène (milieu .....

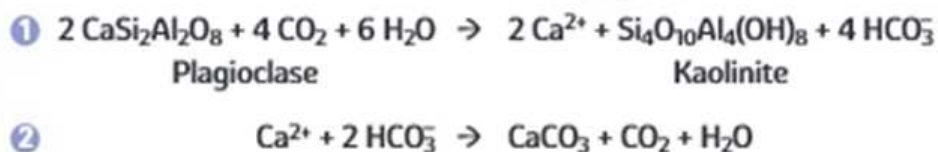
Ceci se fait fréquemment dans des bassins situés en périphérie des chaînes de montagnes, dans lesquelles l'enfoncement de la lithosphère est rapide et conséquent.

L'enfouissement s'accompagne d'une dégradation biochimique (actions de bactéries) et thermique qui permet la formation du charbon.

En **Europe uniquement**, la formation de grands gisements de **charbon** durant le Carbonifère témoigne d'un climat ..... et ..... En effet de telles quantités de charbon ne peuvent se former qu'avec une végétation luxuriante, donc sous un climat propice.

Globalement ailleurs, le climat était particulièrement ..... Un ensemble d'indices nous montre que le taux de CO<sub>2</sub> était particulièrement ..... Ceci peut s'expliquer par :

- l'..... de la chaîne de montagnes **hercynienne** située au niveau de l'équateur qui consomme d'énormes quantités de CO<sub>2</sub>.



#### Equation chimique de l'altération d'un plagioclase (minéral constitutif du granite) et de la formation de calcaire

- la ..... de grandes quantités de matière organique. En effet la ..... permet la réduction du CO<sub>2</sub> atmosphérique sous forme de matière organique stockée dans les différentes parties du végétal (*lien avec le chapitre 2 de biologie végétale sur la photosynthèse*). Au cours de la formation de charbon, la matière organique est piégée dans des sédiments sans décomposition et donc le carbone n'est pas restitué à l'atmosphère. On peut donc dire que le carbone est piégé sous-forme de .....

- formation du super-continent de la ..... ce qui entraîne une modification des ..... océaniques et atmosphériques. Cette modification a provoqué la formation d'une vaste calotte glaciaire dans l'hémisphère sud.

## B. des indices d'un climat chaud au Crétacé (période comprise entre ..... et - ..... Ma).

Des indices montrent que le Crétacé était une période .....

\*\* on retrouve des **fossiles** de cette époque caractéristiques de climats chauds : ....., microfossiles (*Coccolithophoridés*), dents de requins.

\*\* l'étude de l'..... sur les feuilles de *Ginkgo* révèle également un taux ..... de CO<sub>2</sub> pendant le Crétacé. En effet on peut montrer aujourd'hui que la densité stomatique est d'autant plus importante que le taux de CO<sub>2</sub> atmosphérique est .....

\*\* on retrouve à cette époque des minéraux et des **roches** se formant en zones tropicales :

- les ..... sont des sols rouges qui se forment par altération de roches sous climat tropical. En effet sous climat chaud, le lessivage préférentiel des minéraux silicatés laisse sur place des oxydes de fer.
- les ..... sont des roches résiduelles formées par altération en climat chaud et humide. Elles constituent un minerai d'aluminium.
- les ..... sont des roches salines formées par précipitation dans des milieux aquatiques de faible profondeur, lorsque l'eau est très salée et l'évaporation intense.
- on trouve également du charbon

Remarque : on ne trouve aucun indice de l'existence de glaciers continentaux pendant cette période.

Cette phase de réchauffement s'expliquerait par un taux de CO<sub>2</sub> **atmosphérique** très élevé (presque 3 fois le taux actuel) et donc à une ..... de l'effet de serre.

La production importante de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère serait liée au ..... associé à une augmentation de l'..... au niveau des dorsales et des points chauds.

## C. Le refroidissement Cénozoïque (période comprise entre - ..... Ma et aujourd'hui).

Deux modèles permettent d'expliquer ce refroidissement :

**1** – la création de chaînes de **montagnes** (.....) telles que l'Himalaya ou les Alpes aurait piégé du CO<sub>2</sub> par ..... des roches silicatées (phénomène identique à ce qui se serait produit au Carbonifère).

Exemples : Dissolution d'un plagioclase : voir équation précédente (II1)

Ce piégeage fait donc ..... la quantité de CO<sub>2</sub> présent dans l'atmosphère et par conséquent fait **diminuer** l'effet de serre ce qui provoque un .....

**2** – la tectonique des plaques aurait fait disparaître un courant océanique chaud situé au niveau de l'équateur et aurait favorisé la formation d'un **courant océanique** froid circumpolaire au niveau de l'antarctique.

Cela aurait provoqué la formation de la calotte polaire **sud** et un refroidissement global par effet .....

Ces deux modèles ne sont pas exclusifs et ont pu concourir au même effet climatique.

En conclusion, la tectonique des plaques peut influencer le climat :

- Une importante activité volcanique au niveau des ..... et des ..... libère des GES dans l'atmosphère et amplifie ainsi l'ES, ce qui augmente la température.
- En période d'..... (formation d'une chaîne de montagne), les masses continentales subissent une altération qui consomme du CO<sub>2</sub>.
- En période d'orogénèse, des ..... se forment en périphérie des chaînes de montagnes et offrent l'opportunité d'un enfouissement rapide de matière organique, donc d'un piégeage de .....
- Le déplacement des continents peut modifier des ..... ce qui a un impact sur le climat.

-> Schéma bilan.

