

# Reconstituer et comprendre les variations climatiques p...

Cours

## Sommaire

### I La glaciation de la fin du Paléozoïque

- A Les indices de la glaciation Carbonifère-Permien
- B Les causes de la glaciation Carbonifère-Permien

### II Le réchauffement climatique du Crétacé

- A Les indices du réchauffement climatique
- B Les causes du réchauffement climatique

### III Le refroidissement global du Cénozoïque

- A Les indices du refroidissement global
- B Les causes du refroidissement global

### IV L'alternance de périodes glaciaires et interglaciaires du Quaternaire

- A Les indices de l'alternance climatique
- B Les causes de l'alternance climatique

### V Le réchauffement climatique actuel

- A Les indices du réchauffement actuel
- B Les causes du réchauffement actuel

## RÉSUMÉ

Au cours des temps géologiques et notamment depuis l'explosion de la vie il y a -540 millions d'années, de nombreux indices géologiques, paléontologiques et écologiques permettent aux scientifiques de reconstituer les climats du passé, appelés les paléoclimats. Durant le Paléozoïque (-540 à -252 millions d'années), les indices témoignent d'une importante glaciation. Le Mésozoïque (-252 à -66 millions d'années) est marqué par un réchauffement climatique au Crétacé. Le Cénozoïque (-66 millions d'années à aujourd'hui) est caractérisé par un refroidissement global. Cependant, les indices plus nombreux de cette dernière période permettent d'identifier des alternances de périodes glaciaires et interglaciaires au Quaternaire, ainsi qu'un réchauffement climatique très rapide depuis 150 ans.

## I La glaciation de la fin du Paléozoïque

Des indices paléontologiques et géologiques corrélés à la paléogéographie des continents révèlent une importante glaciation au Carbonifère-Permien, dernières périodes du Paléozoïque (-320 à -270 millions d'années). L'érosion de la chaîne hercynienne et la fossilisation d'une importante quantité de matière organique à l'origine des roches carbonées sont tenues pour responsables de cette glaciation.

## **A** Les indices de la glaciation Carbonifère-Permien

La forte densité de fossiles, l'accumulation de roches carbonées, la formation de la chaîne hercynienne et les tillites sont les indices de la période glaciaire de la fin du Paléozoïque.

### DÉFINITION

#### **Tillites**

**Les tillites** sont des roches formées de débris glaciaires entourés d'argile. On les trouve en Afrique du Sud, en Amérique du Sud, en Inde et en Australie. Elles indiquent la présence de glaciers.

### DÉFINITION

#### **Roches carbonées**

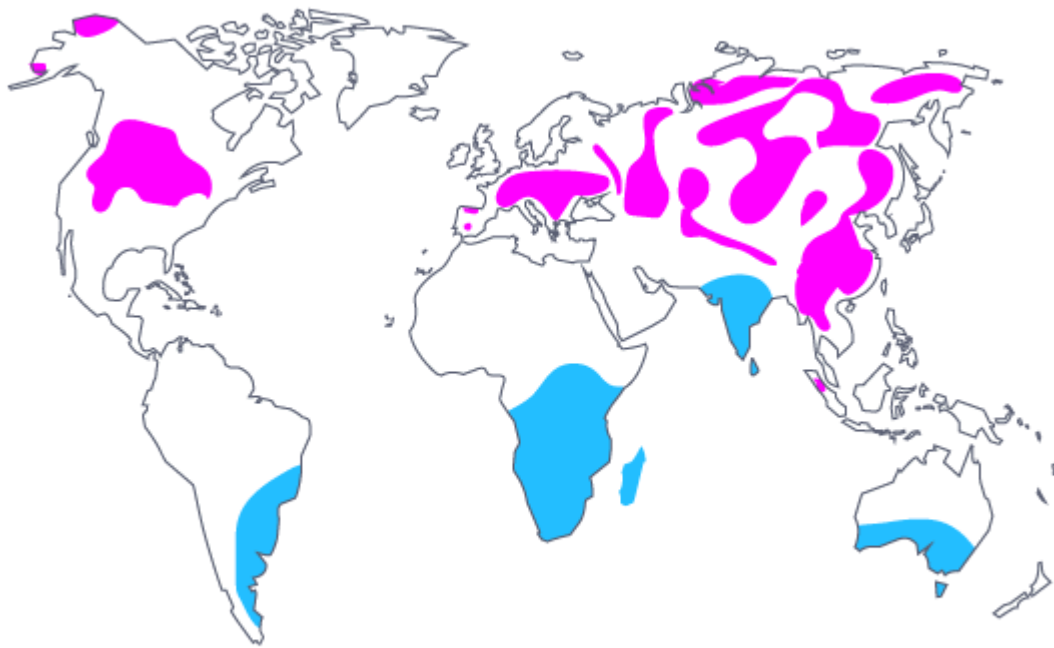
**Les roches carbonées** sont principalement réparties en Amérique du Nord, Europe, Asie. Elles indiquent des climats chauds, humides et des conditions de fossilisation particulières, liées à un enfouissement rapide de la végétation morte. Ces végétaux non décomposés sont des puits de carbone.

### DÉFINITION

#### **Bassin houiller**

**Un bassin houiller** est une formation géologique qui est à l'origine d'un bassin sédimentaire. On y trouve une grande quantité de végétaux ensevelis par des sédiments qui ont empêché leur décomposition. Ces végétaux sont devenus des roches carbonées.

## Répartition actuelle des tillites et des roches carbonées



- Bassins houillers
- Répartition des tillites

© Sujet bac SVT - septembre 2003 métropole



L'abondance de fossiles de végétaux indique que les forêts tropicales étaient denses. Les végétaux sont des puits de carbone.

### EXEMPLE

Fossile de fougère datant du Carbonifère supérieur

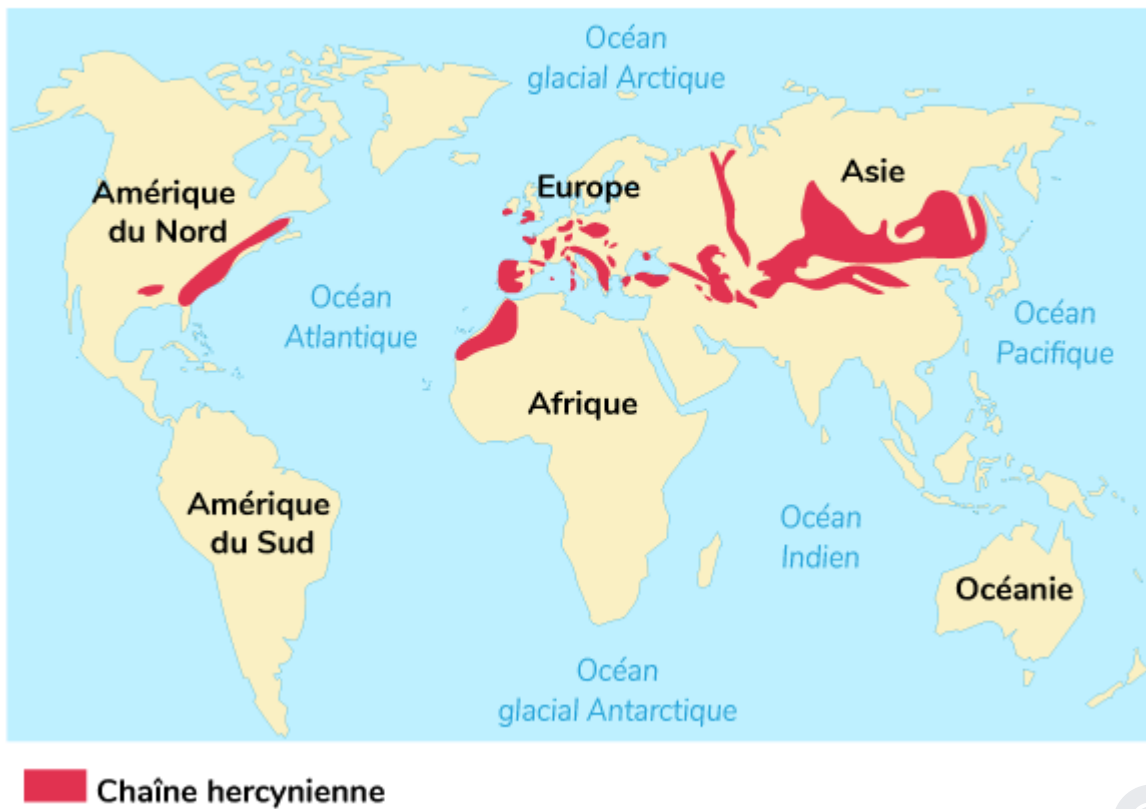


© Par Woudloper — Wikimedia Commons



La chaîne hercynienne datée du Paléozoïque se trouve aujourd'hui en Amérique du Nord, en Europe, en Afrique du Nord et en Asie. Les roches silicatées, telles que les granites, trouvées en Bretagne, dans le Massif central et en Corse appartiennent toutes à cette ancienne chaîne de montagnes.

### Répartition actuelle de la chaîne hercynienne



© Jo Webe - Wikimedia Commons

## **B** Les causes de la glaciation Carbonifère-Permien

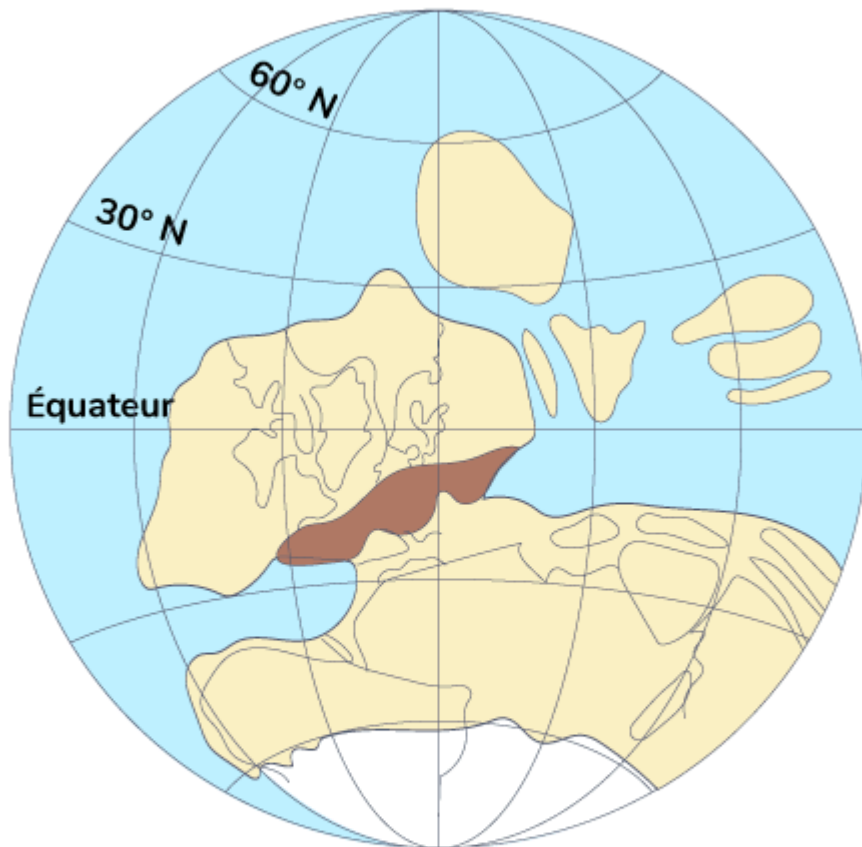
Les indices permettent de reconstituer la position géographique des continents. Ils témoignent aussi de processus (fossilisation, érosion) consommant de grandes quantités de dioxyde de carbone. La

diminution de la concentration atmosphérique de  $\text{CO}_2$  entraîne une diminution de l'effet de serre et

donc un refroidissement climatique. La neige et la glace augmentent l'albédo, phénomène amplificateur du refroidissement.

La position géographique des continents au Carbonifère-Permien peut être reconstituée grâce à la répartition de roches et leurs caractéristiques. Les continents sur lesquels on trouve les roches carbonées sont positionnés à l'équateur et ceux sur lesquels on trouve des tillites sont positionnés au pôle Sud. Ce positionnement au pôle Sud est favorable à la mise en place d'une calotte glaciaire. De plus, la formation de la chaîne de montagnes est favorable à l'installation d'un manteau neigeux.

## Paléogéographie au Carbonifère inférieur



### Carbonifère inférieur (340 Ma)

- Masses continentales
- Chaîne hercynienne
- Domaines océaniques
- Calotte glaciaire

© Sujet bac SVT 2016, Liban



Les causes de la baisse des températures engendrant la glaciation sont déduites du principe de l'actualisme.

#### DÉFINITION

#### Actualisme

**L'actualisme** est un principe selon lequel les phénomènes qui se sont déroulés dans le passé s'exercent encore de nos jours.

La fossilisation est responsable de la baisse de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère. La présence des roches carbonées indique un enfouissement rapide et une fossilisation de la matière carbonée. Les sédiments qui recouvrent les végétaux morts empêchent leur décomposition et donc le retour du  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère. Le carbone est stocké en profondeur, ce qui contribue à abaisser le taux de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère.

L'érosion, sous l'effet de l'eau, altère les minéraux des roches de la croûte continentale, en particulier dans les chaînes de montagnes. Les roches de la chaîne hercynienne sont formées de minéraux tels que des

feldspaths ou des pyroxènes.

FORMULE

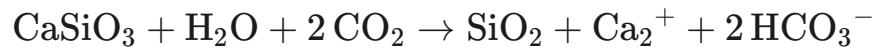
Altération d'un feldspath calcique



Cette altération consomme 2  $\text{CO}_2$ .

FORMULE

Altération d'un pyroxène calcique



Cette altération consomme aussi 2  $\text{CO}_2$ .

FORMULE

Les cours d'eau emportent les ions libérés ( $\text{Ca}_2^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) vers les océans où ils vont précipiter sous forme de carbonate de calcium :

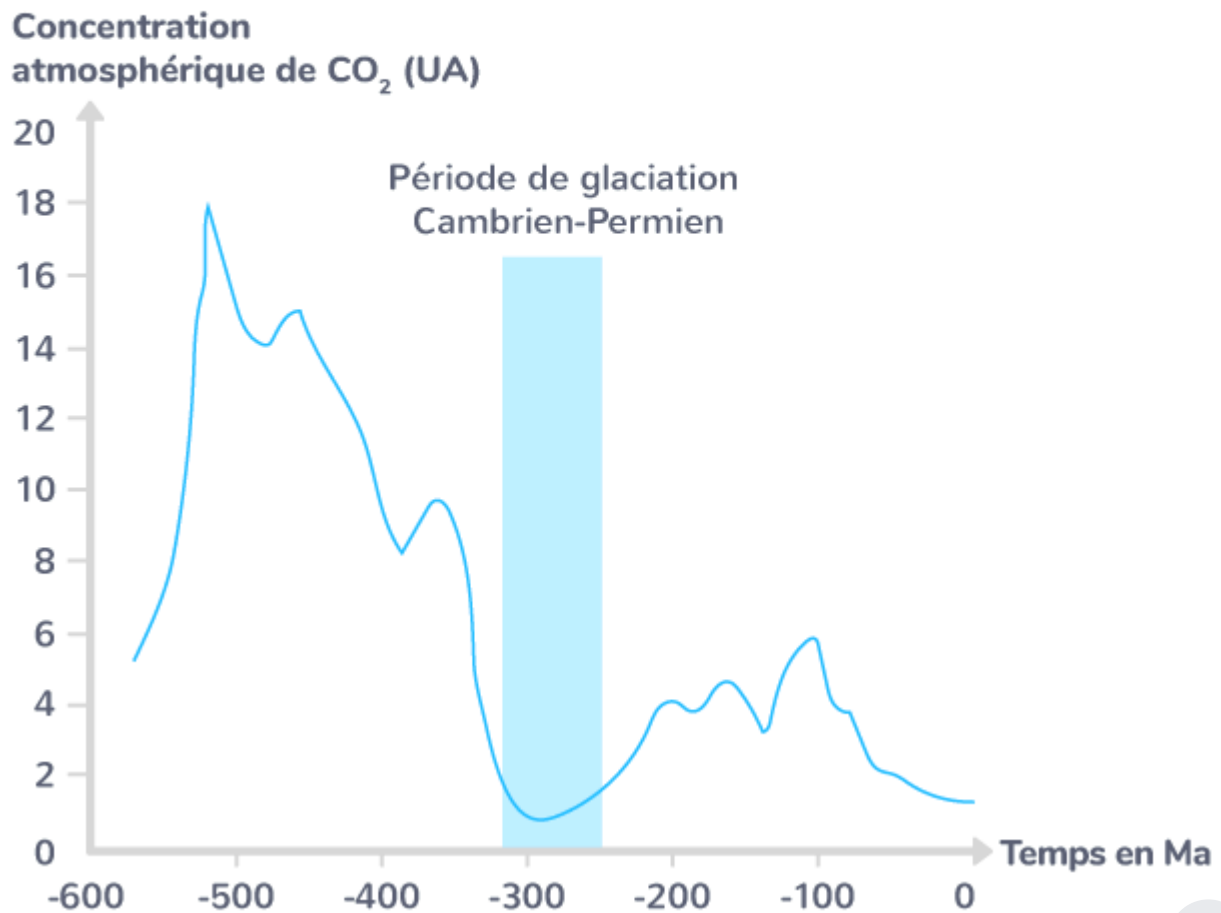


La précipitation des carbonates libère 1  $\text{CO}_2$ .

Au total, l'altération des minéraux consomme donc plus de  $\text{CO}_2$  qu'elle n'en libère, ce qui contribue à abaisser le taux de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère.

Le piégeage du  $\text{CO}_2$  dans les végétaux fossilisés et sa consommation lors de l'érosion explique l'appauvrissement de l'atmosphère en  $\text{CO}_2$  constaté par l'étude des paléosols.

## Variations du CO<sub>2</sub> atmosphérique durant les 600 derniers millions d'années



© Sujet bac SVT 2016, Liban

Le taux très bas de dioxyde de carbone, GES, diminue l'effet de serre. La température chute et permet la mise en place de calottes glaciaires au pôle Sud. Une couverture neigeuse et la formation de glaciers dans la chaîne de montagnes se mettent également en place.

### DÉFINITION

#### Effet de serre

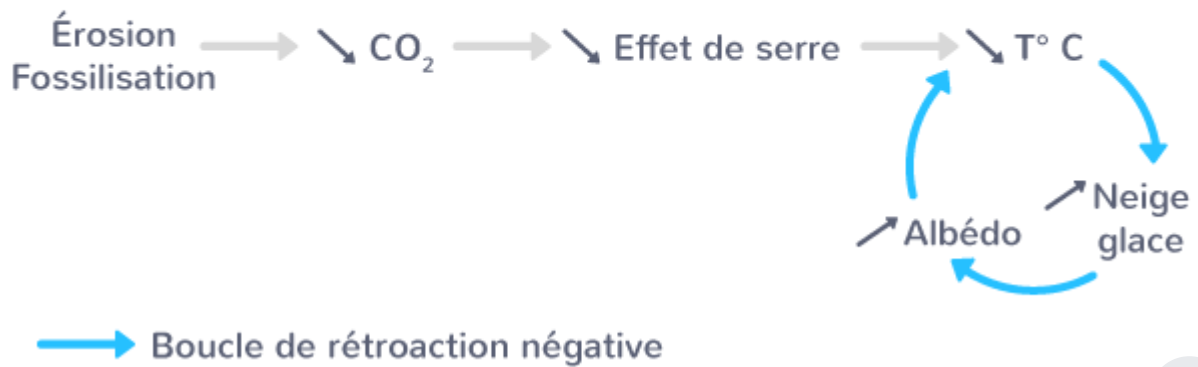
**L'effet de serre** est le processus par lequel l'énergie solaire réfléchi par la surface de la Terre est absorbée par les gaz à effet de serre (GES) de l'atmosphère. Cette énergie augmente la température de l'atmosphère et une partie est renvoyée vers le sol, ce qui réchauffe aussi le sol.

La neige et la glace ont un fort albédo (respectivement 0,8 et 0,6). L'énergie solaire est réfléchi dans l'atmosphère, le sol n'est plus réchauffé, ce qui amplifie le refroidissement. C'est une boucle de rétroaction négative.

### DÉFINITION

#### Albédo

**L'albédo** est le rapport entre l'énergie solaire réfléchi et l'énergie solaire incidente (reçue). Une surface ayant un albédo de 0,8 réfléchit 80 % de l'énergie solaire qu'elle reçoit.



## II Le réchauffement climatique du Crétacé

Le Crétacé, dernière période du Mésozoïque, est marqué par un réchauffement climatique. Les indices paléogéographiques, géologiques et paléontologiques témoignent de cette augmentation de température. La dynamique interne de la Terre semble être la cause principale de ce réchauffement.

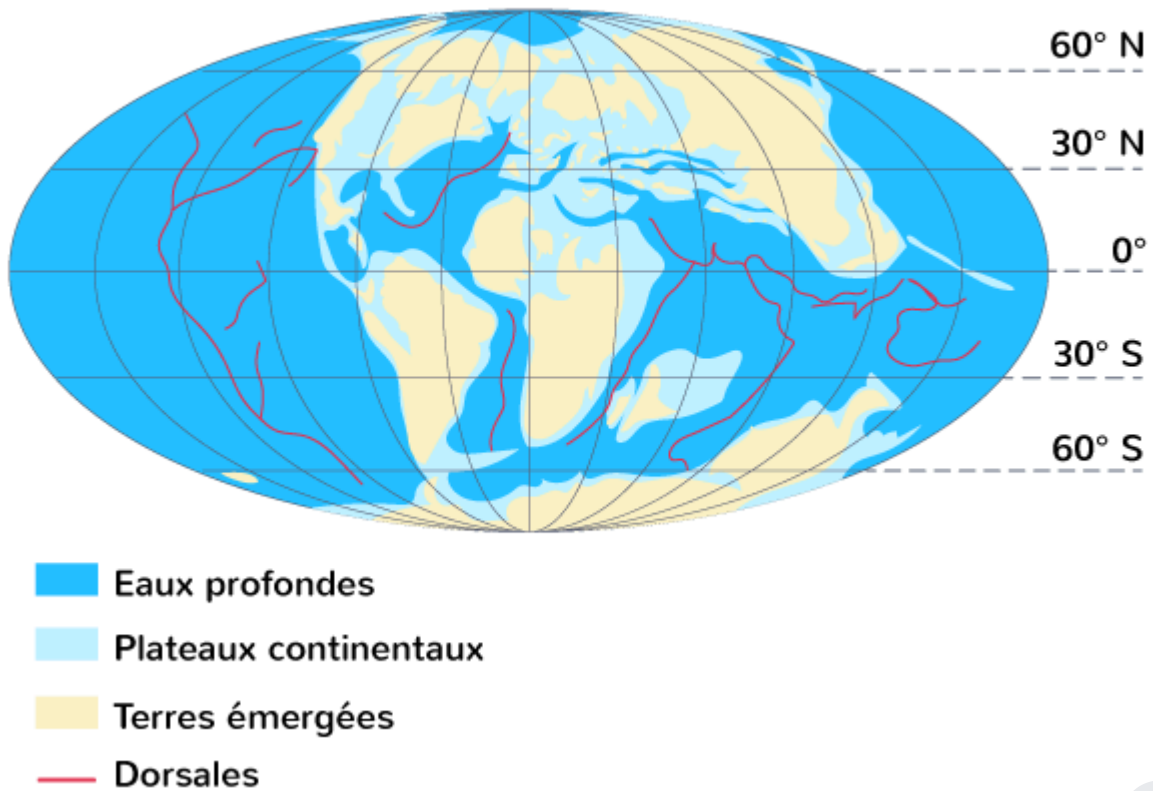
### A Les indices du réchauffement climatique

La position des continents est très différente de celle du Paléozoïque. De plus, des indices géologiques tels que d'immenses empilements de lave ou des dépôts calcaires sont les traces de ce réchauffement climatique. Les fossiles apportent la confirmation de l'augmentation de la température.

La position des continents, au Crétacé, était très différente de celle à la fin de Paléozoïque. Cela témoigne d'une activité tectonique importante.



## Paléogéographie au Crétacé



© Mannion - Wikimedia commons

Des dépôts calcaires très importants sont observés dans certaines régions. Ils se sont produits sur les plateaux continentaux recouverts par la mer. La craie est constituée en majorité par les tests (« coquilles ») calcaires d'algues microscopiques.

### EXEMPLE

Dépôt de roche calcaire : la craie des falaises d'Étretat



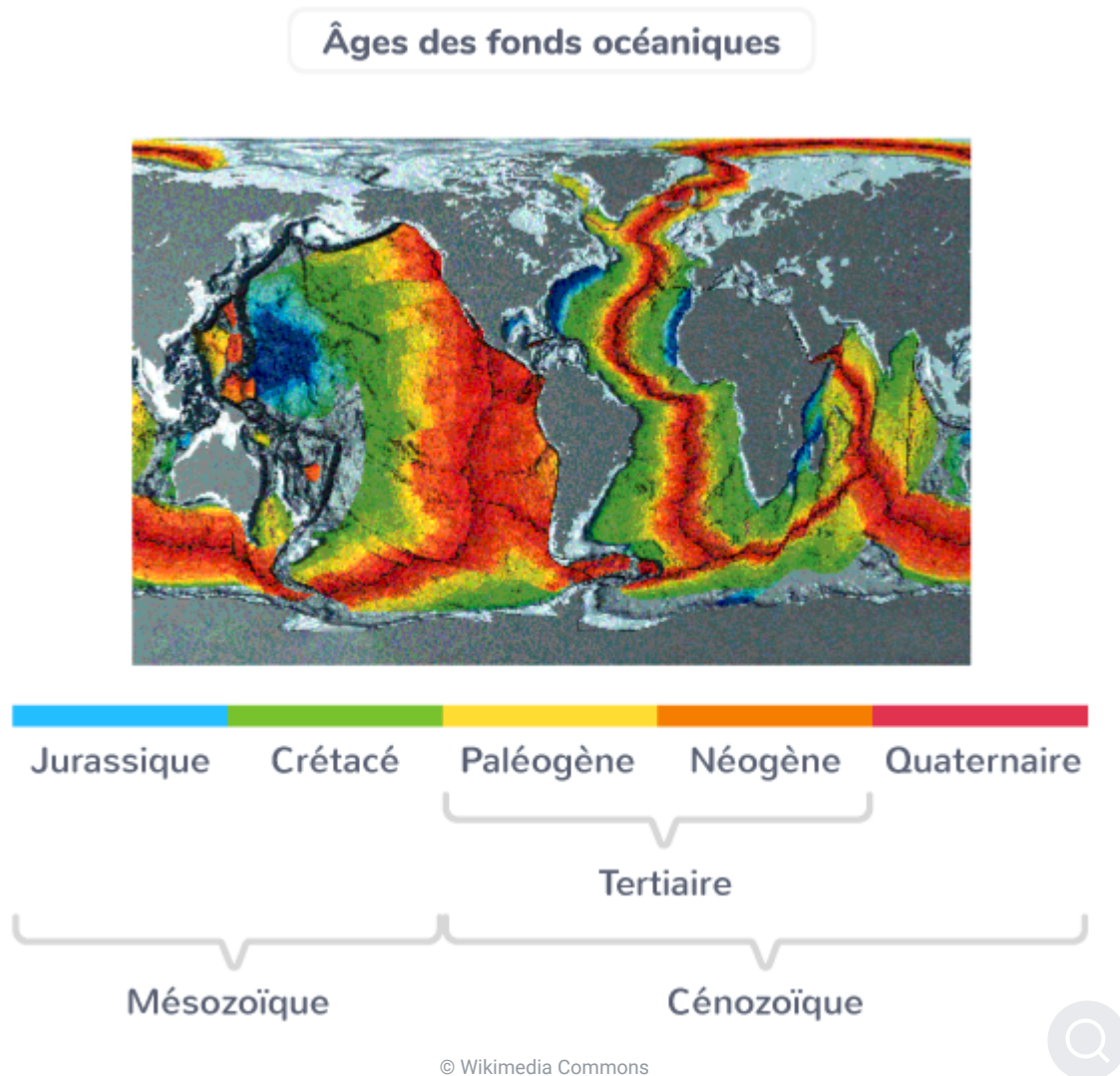
© Jörg Braukmann - Wikimedia Commons



REMARQUE

Le nom « Crétacé » vient du nom latin de craie, *creta*.

Outre les dépôts de craie caractéristiques de cette période, on trouve de grands épanchements volcaniques sous-marins datant du Crétacé.



De plus, en domaine continental, d'immenses empilements de lave sont visibles. Les Trapps du Deccan en Inde sont les plus impressionnantes. Par endroits, leur hauteur atteint 2 400 mètres, soit la moitié de la hauteur du mont Blanc !

EXEMPLE

## Les trapps du Deccan, en Inde



 Trapps du Deccan

© Wikimedia Commons



Ces indices géologiques sont complétés par les indices paléontologiques. Les fossiles de végétaux montrent la présence d'arbres à pain, typiques des climats tropicaux en Alaska. Des fossiles de dinosaures ont été retrouvés en Sibérie.

## **B** Les causes du réchauffement climatique

Les indices témoignent d'une importante activité volcanique. Cette activité est responsable de l'émission de très grandes quantités de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère. L'effet de serre est amplifié et la température globale sur Terre augmente. De plus, la formation des carbonates libère du  $\text{CO}_2$ , ce qui contribue à augmenter la concentration atmosphérique de  $\text{CO}_2$ .

La paléogéographie du Crétacé est très différente de celle de la fin du Paléozoïque. Ce mouvement des continents témoigne de l'intense activité des dorsales océaniques. L'activité interne de la Terre se manifeste également par l'intense volcanisme continental. Les éruptions volcaniques émettent de très grandes quantités de vapeur d'eau et de dioxyde de carbone, gaz à effet de serre. Cela provoque une augmentation de la température sur Terre.

Par ailleurs, les dépôts de craie montrent que les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{HCO}_3^-$  présents dans les eaux océaniques sont utilisés par des micro-organismes pour produire leur test calcaire :

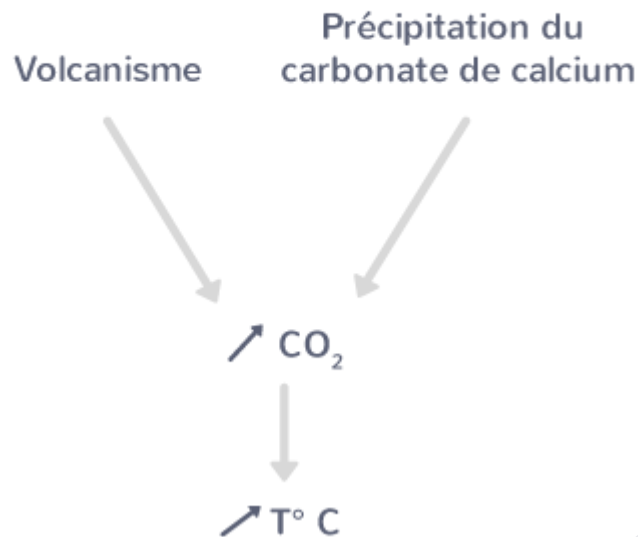
$$2\text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$

La précipitation des carbonates ( $\text{CaCO}_3$ ) s'accompagne d'un rejet de  $\text{CO}_2$ .

La hauteur des dépôts témoigne d'une très grande quantité de production et de libération de  $\text{CO}_2$ . Cela a contribué à augmenter le taux de  $\text{CO}_2$  atmosphérique et donc la température.

Le Crétacé est donc marqué par un réchauffement climatique. Aucune calotte polaire n'existait.

### Les causes du réchauffement au Crétacé



## III Le refroidissement global du Cénozoïque

Au Cénozoïque, on assiste à une diminution globale de température. Différents indices indiquent que l'érosion est en partie responsable de ce refroidissement. De plus, la variation de la position des continents est à l'origine d'une modification de la circulation océanique.

### A Les indices du refroidissement global

Les indices géochimiques des sédiments ( $\delta^{18}\text{O}$ ) indiquent un refroidissement global de la planète au Cénozoïque. De plus, la variation de la position des continents ainsi que les orogénèses du Tertiaire s'ajoutent aux indices précédents.

#### DÉFINITION

$\delta^{18}\text{O}$

Le  $\delta^{18}\text{O}$  est un indicateur géochimique qui quantifie la quantité de l'isotope  $^{18}\text{O}$  par rapport à l'isotope  $^{16}\text{O}$  dans un échantillon.

#### FORMULE

$\delta^{18}\text{O}$

Le  $\delta^{18}\text{O}$  se calcule selon la formule suivante :

$$\delta^{18} = \frac{\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}_{\text{éch.}} - \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}_{\text{eau}}}{\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}_{\text{eau}}} \times 1000$$

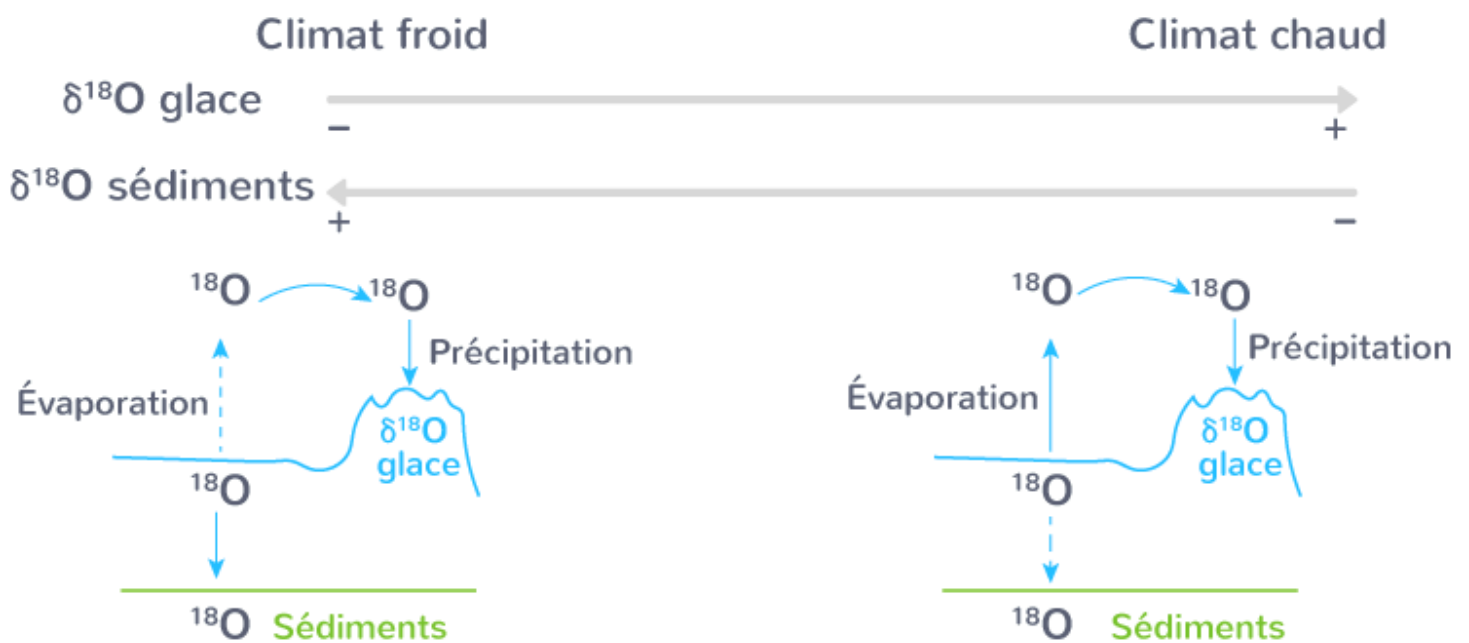
- Si la quantité de  $^{18}\text{O}$  dans l'échantillon est grande, alors le numérateur sera grand et le  $\delta^{18}\text{O}$  aussi.
- Si la quantité de  $^{18}\text{O}$  dans l'échantillon est petit, alors le numérateur sera petit et le  $\delta^{18}\text{O}$  aussi.

Si le climat est chaud, l'évaporation est intense, le  $^{18}\text{O}$  s'évapore et retombe dans les précipitations. Ainsi, les échantillons de glace témoignant des climats chauds possèdent un  $\delta^{18}\text{O}$  plus élevé que lorsqu'il fait froid. Comme le  $\delta^{18}\text{O}$  s'évapore, il y en a moins qui va précipiter dans les sédiments au fond des océans. Le  $\delta^{18}\text{O}$  des sédiments est donc moins élevé en climat chaud qu'en climat froid.

Dans la glace, plus  $\delta^{18}\text{O}$  est élevé, plus le climat était chaud et inversement.

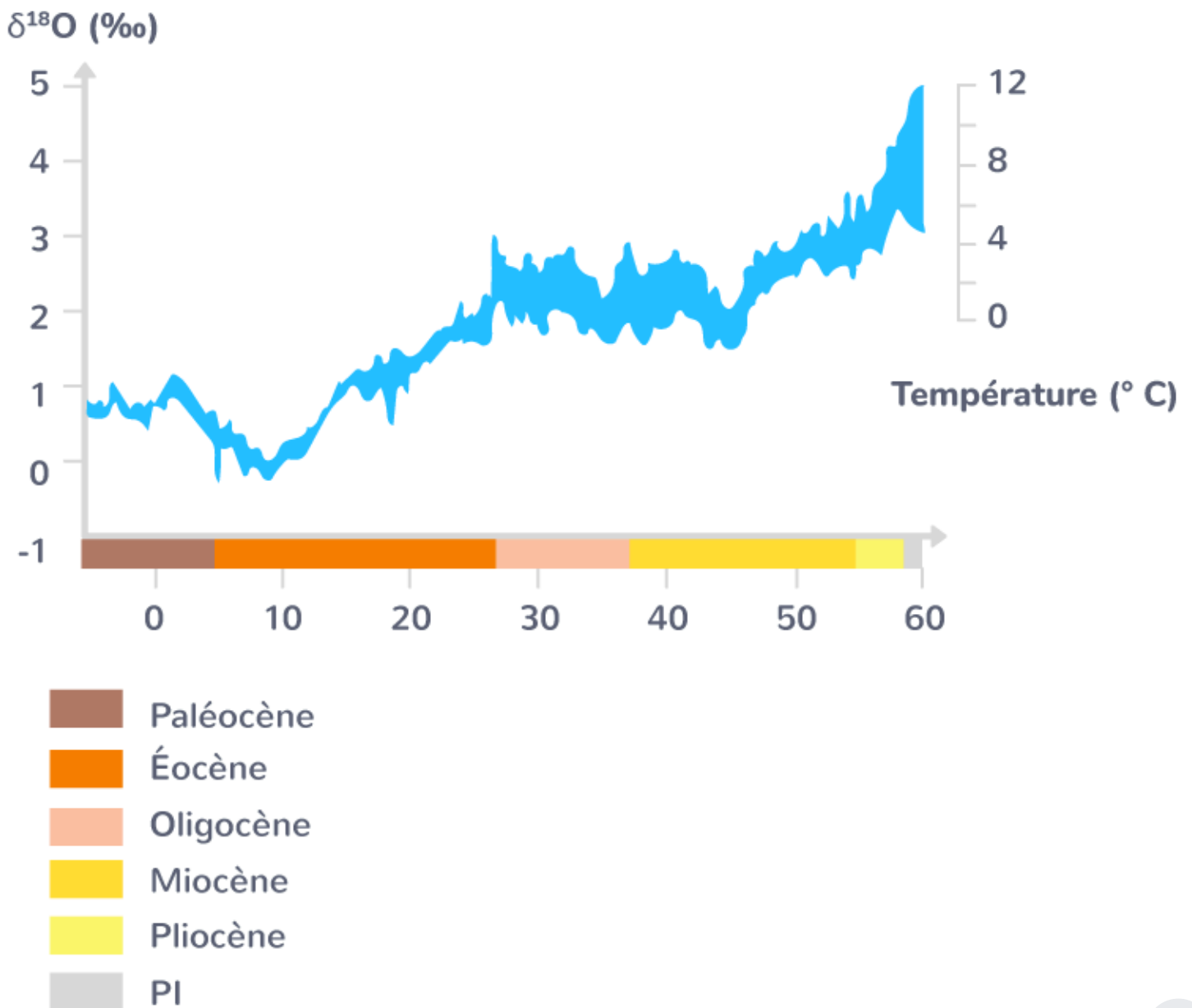
Dans les sédiments, plus le  $\delta^{18}\text{O}$  est élevé, plus le climat était froid et inversement.

### Variations du $\delta^{18}\text{O}$ en fonction du climat



Le  $\delta^{18}\text{O}$  des sédiments montre des variations aux cours des temps géologiques. Au Cénozoïque, on observe une augmentation régulière du  $\delta^{18}\text{O}$  des sédiments, indiquant un refroidissement global des températures durant cette période.

## Variations du $\delta^{18}\text{O}$ dans les foraminifères benthiques au Cénozoïque



Au Cénozoïque, la dérive des continents se poursuit. L'Antarctique et l'Amérique du Sud se séparent. Les chaînes de montagnes du Sud de l'Europe comme les Alpes se forment et les montagnes poursuivent leur formation.

### **B** Les causes du refroidissement global

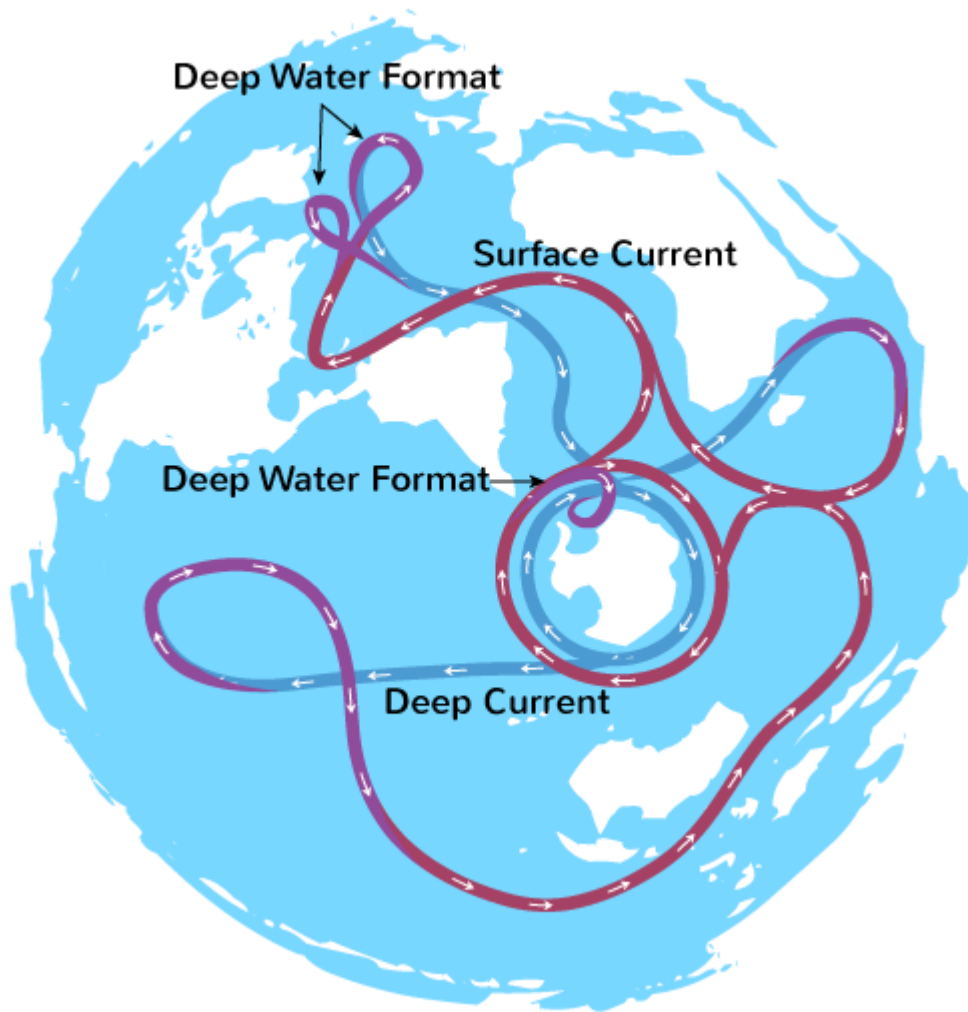
Suite aux orogénèses, l'altération des matériaux continentaux abaisse la concentration atmosphérique de  $\text{CO}_2$ . Ainsi, l'effet de serre diminue et la température globale chute. Le déplacement des continents modifie la circulation des courants océaniques entraînant un refroidissement.

Les chaînes de montagnes sont le siège d'une érosion intense. L'altération des minéraux consomme du  $\text{CO}_2$  et abaisse le taux de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère. L'effet de serre est moins important et la température globale de la Terre diminue.



La séparation de l'Amérique du Sud et de l'Antarctique il y a environ 33 millions d'années permet la mise en place du courant circumpolaire antarctique. Ce courant isole l'Antarctique et conduit à son refroidissement. La calotte glaciaire s'étend durablement. De plus, la création de ce courant influence l'ensemble des courants océaniques. Il refroidit les eaux, ce qui augmente la dissolution du  $\text{CO}_2$ . La quantité de  $\text{CO}_2$  atmosphérique diminue, ce qui réduit à nouveau l'effet de serre et abaisse la température de l'ensemble de la planète.

### L'influence du circumpolaire sur l'ensemble des courants



© Wikimedia Commons



Le Cénozoïque est donc marqué par un refroidissement du climat induit par une baisse de  $\text{CO}_2$  liée à l'érosion des chaînes de montagnes et à la mise en place du courant circumpolaire antarctique.

## IV L'alternance de périodes glaciaires et interglaciaires du Quaternaire

Durant les derniers 800 000 ans, des indices géochimiques, géologiques, paléo-écologiques ou encore préhistoriques révèlent une alternance de périodes glaciaires et interglaciaires. Ces variations cycliques coïncident avec les variations périodiques des paramètres orbitaux de la Terre.

## A Les indices de l'alternance climatique

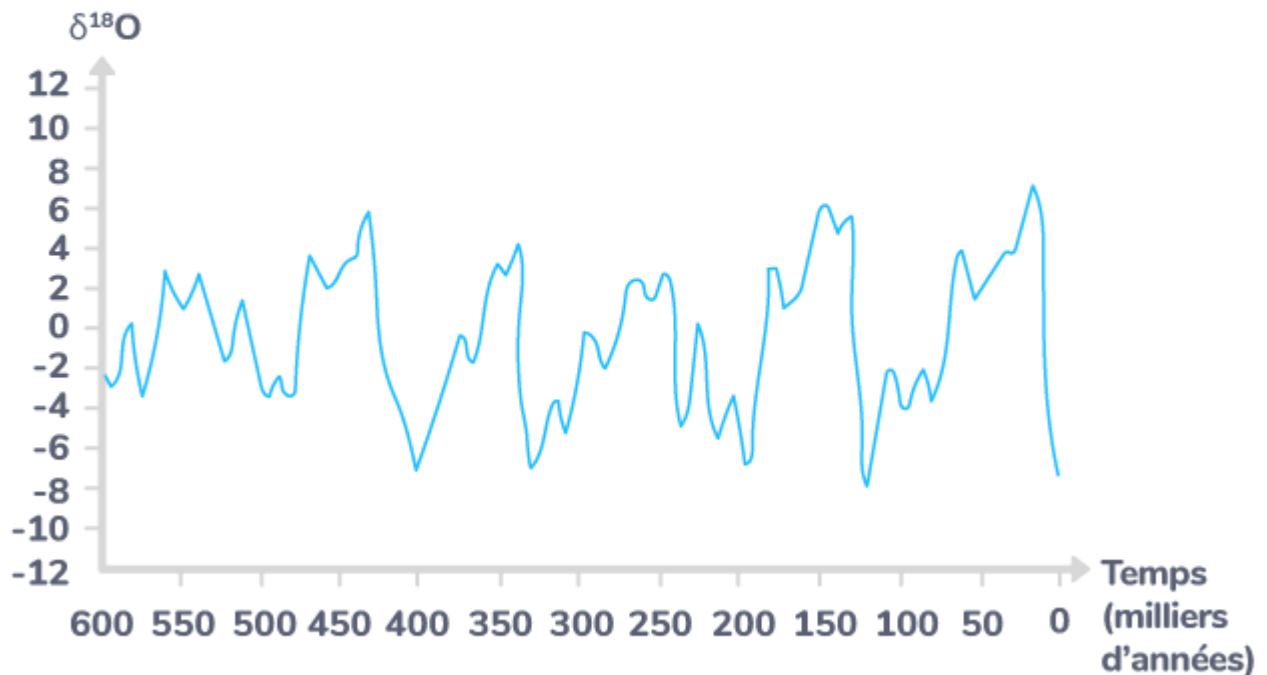
Les rapports isotopiques de l'oxygène mesuré dans les glaces et les sédiments et les pollens conservés dans les sédiments sont les témoins de l'alternance des périodes glaciaires et interglaciaires. Les roches et les fossiles de la préhistoire confirment l'existence de périodes glaciaires.

Les rapports isotopiques de l'oxygène dans les sédiments montrent des variations cycliques au cours du Quaternaire :

- Une augmentation de ces rapports indique un refroidissement.
- Une diminution de ces rapports indique un réchauffement du climat.

Durant les derniers 800 000 ans, il y a donc eu des alternances de périodes glaciaires et interglaciaires. Les périodes de refroidissement durent plus longtemps que les périodes de réchauffement. Lors des périodes interglaciaires, on se rapproche des températures actuelles.

Variations du  $\delta^{18}\text{O}$  dans les carbonates



© Wikimedia Commons

Les rapports isotopiques de l'oxygène dans les glaces indiquent les mêmes variations cycliques.

Les pollens conservés dans les sédiments renseignent sur le climat plus récent des 100 000 dernières années.

La comparaison des pollens fossiles aux pollens actuels permet, selon le principe de l'actualisme, d'identifier les végétaux qui se sont succédés au cours du temps dans une région donnée. Les données issues des diagrammes polliniques concordent avec celles des rapports isotopiques de l'oxygène des sédiments et des glaces.

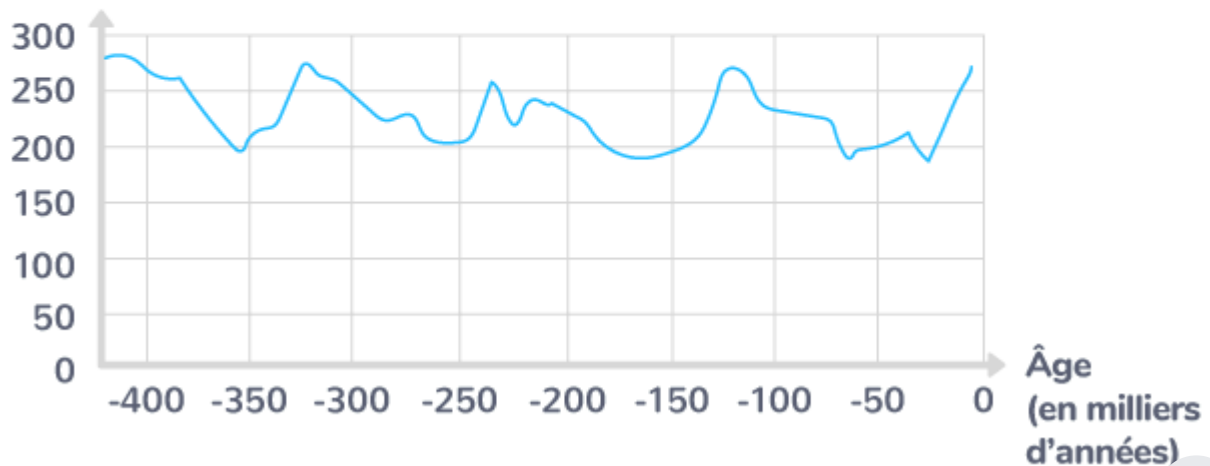
Des pollens de conifères indiquent une zone froide et des pollens de feuillus indiquent une zone tempérée.



L'analyse des bulles d'air des glaces permet d'établir les variations des gaz présents dans l'atmosphère du passé. Les augmentations de  $\text{CO}_2$  concordent avec les périodes interglaciaires déterminées avec les isotopes de l'oxygène, ce qui prouve le lien entre augmentation,  $\text{CO}_2$  et réchauffement climatique.

### Variation de la concentration de $\text{CO}_2$ durant les derniers 400 000 ans

Concentration de dioxyde de carbone  
(en ppm)



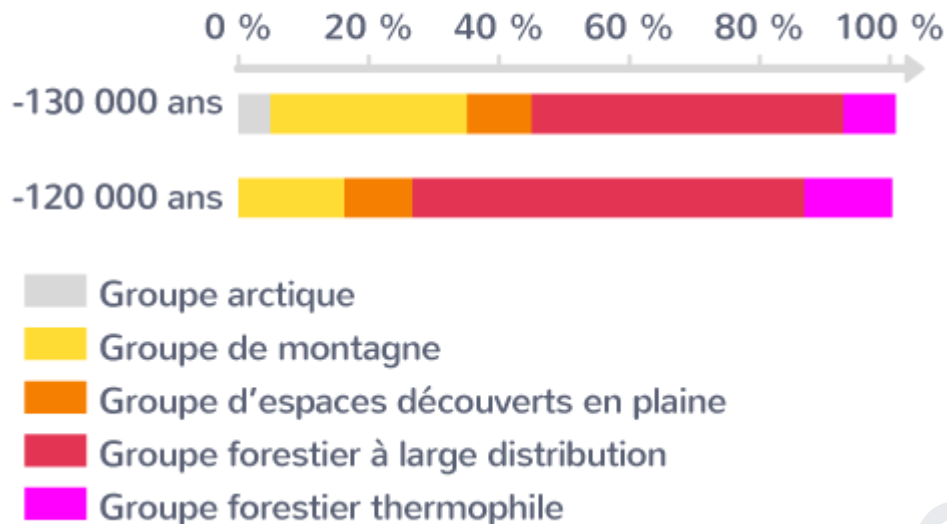
© Bac SVT 2013, Asie

Les indices paléontologiques viennent corroborer les résultats issus des précédents indices. Les fossiles permettent de quantifier la taille des groupes d'animaux caractéristiques de climats froids, tempérés ou chauds.

#### EXEMPLE

Le climatogramme établi à partir de la grotte du Lazaret montre la disparition d'animaux arctiques de 130 000 à 120 000 ans et l'augmentation de nombre d'animaux forestiers. Ceci indique un réchauffement climatique de 130 000 à 120 000 ans, en accord avec les déductions issues des autres indices.

## Climatogramme de fossiles de grands mammifères découverts dans la grotte du Lazaret



© Bac SVT 2013, Asie



REMARQUE

Un climatogramme correspond à une classification des animaux en fonction de leur affinité climatique ou écologique.

## B Les causes de l'alternance climatique

Les variations périodiques des paramètres orbitaux de la Terre modifient la puissance de l'énergie solaire reçue par la Terre. Les boucles de rétroactions positives et négatives (albédo, solubilité du  $\text{CO}_2$  dans les océans) sont à l'origine des entrées et sorties de glaciation.

Il existe trois paramètres orbitaux de la Terre : l'excentricité, l'obliquité et la précession. Ces paramètres ont des variations cycliques, on les appelle les cycles de Milankovitch.

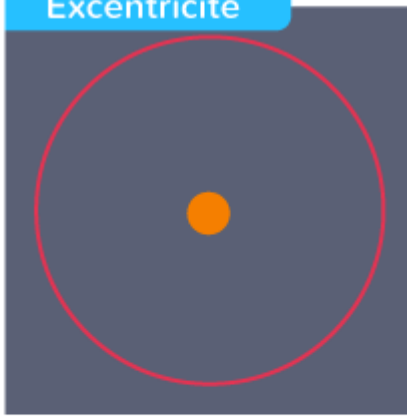
### DÉFINITION

#### Cycles de Milankovitch

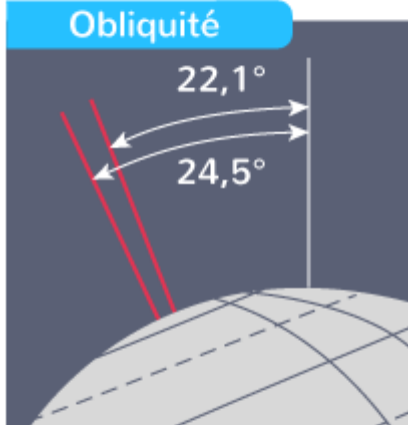
Les cycles de Milankovitch décrivent les variations cycliques de paramètres orbitaux (excentricité, obliquité, précession) ayant une incidence sur l'énergie solaire reçue par la Terre.

- **L'excentricité** est la forme de l'orbite terrestre. La Terre tourne autour du Soleil en décrivant une trajectoire qui varie entre un cercle presque parfait et une ellipse. Plus la Terre est éloignée du Soleil, moins elle reçoit d'énergie. L'excentricité suit une périodicité de 100 000 ans.
- **L'obliquité** est l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre. Elle varie entre  $22,1^\circ$  et  $24,5^\circ$ . Elle varie d'un extrême à l'autre sur une périodicité de 41 000 ans.
- **La précession** : en plus de tourner sur elle-même, la Terre tourne à la façon d'une toupie. Son axe de rotation décrit un cercle en 23 000 ans.

### Excentricité



### Obliquité



### Précession

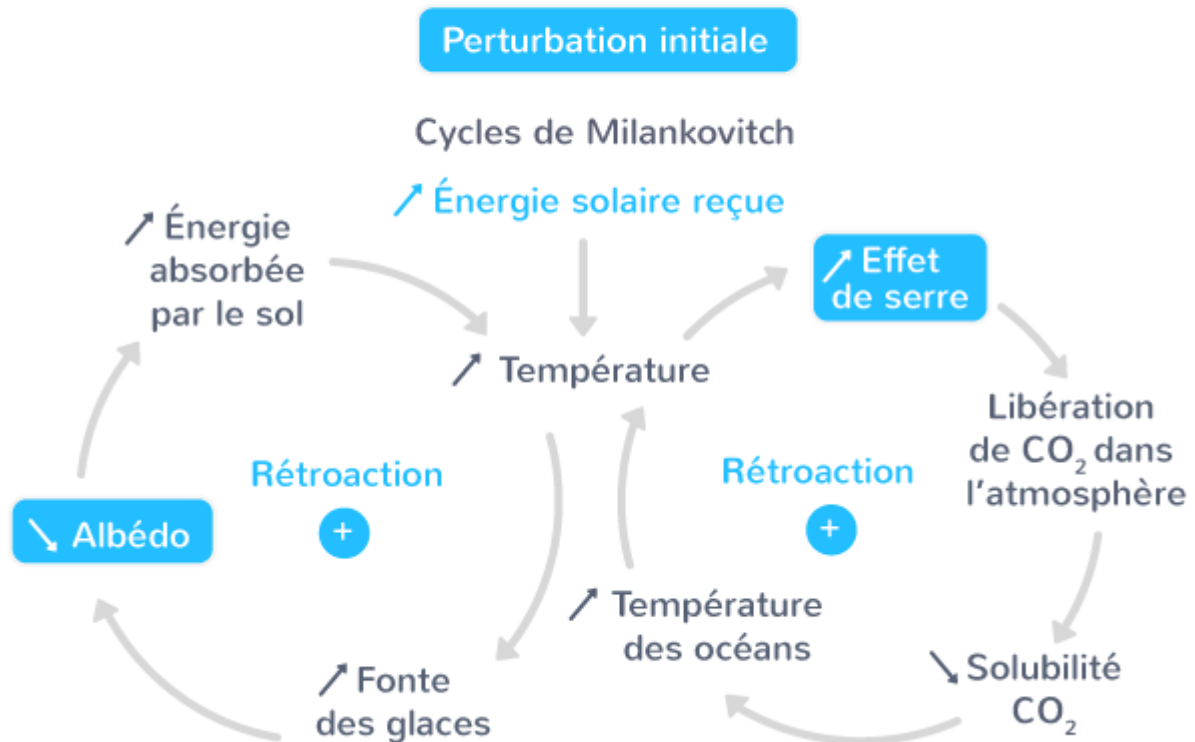


© Wikimedia Commons



Ces paramètres sont responsables de variations d'énergie solaire reçue par la Terre. Cependant, ils ne suffisent pas à provoquer l'entrée ou la sortie de glaciation. Ce sont les phénomènes de rétroaction, albédo et effet de serre qui amplifient les variations et provoquent les alternances de périodes glaciaires et interglaciaires.

## Boucles de rétroaction entraînant une sortie de glaciation



REMARQUE

Il existe d'autres boucles de rétroaction initiées par d'autres surfaces, telles que le permafrost. La fonte des glaces a un effet à court terme, les océans ont un effet à long terme, car ils emmagasinent beaucoup d'énergie.

## V Le réchauffement climatique actuel

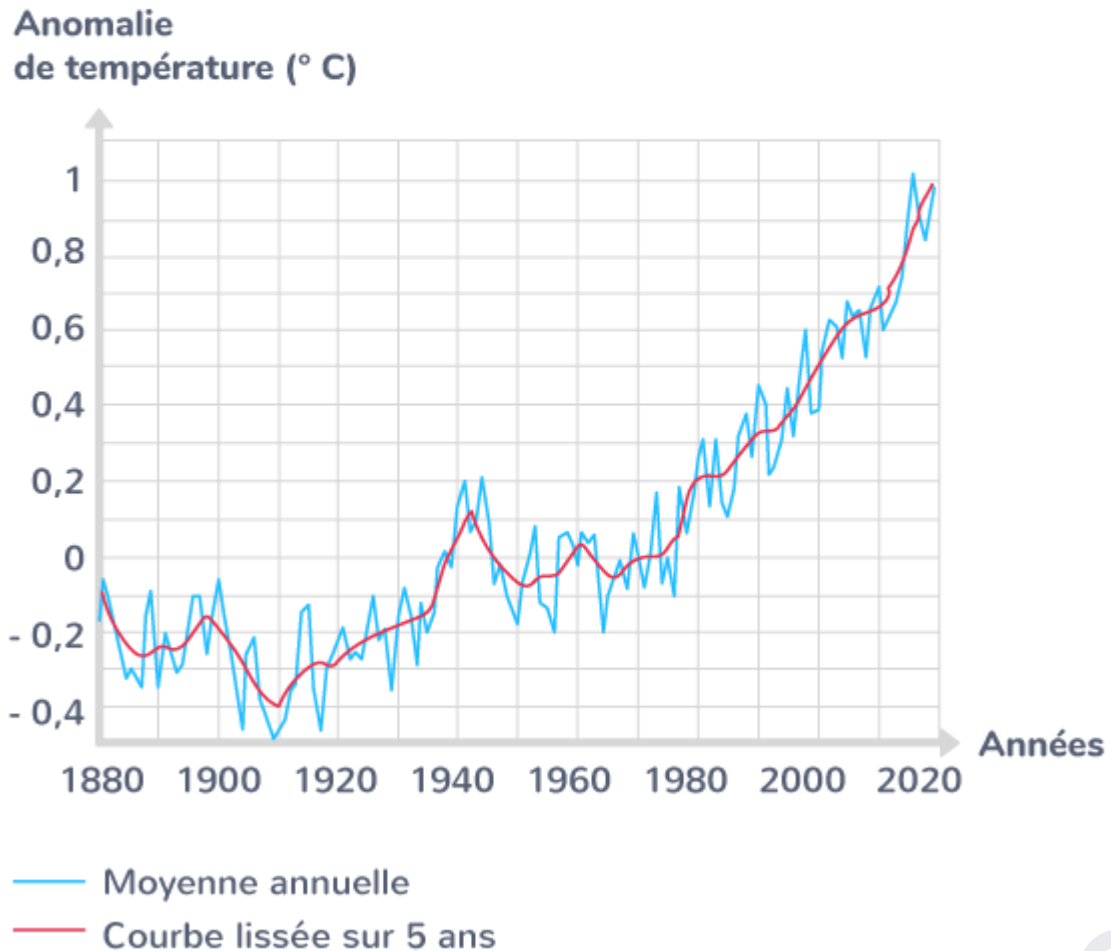
En 150 ans, la température moyenne globale sur Terre a augmenté de 1 °C. Depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle, ce réchauffement climatique est corrélé aux émissions anthropiques de gaz à effet de serre (GES) qui perturbent le cycle biogéochimique du carbone.

### A Les indices du réchauffement actuel

Les mesures *in situ* ou satellites des températures, la fonte des glaces ou encore l'avancée des dates des vendanges sont des indices du réchauffement climatique actuel.

Depuis 150 ans, les relevés de températures indiquent une augmentation globale de 1 °C sur l'ensemble du globe. C'est une augmentation très rapide.

## Évolution de la température depuis 150 ans



© Wikimedia Commons

Les manifestations du réchauffement climatiques sont nombreuses. En voici quelques-unes :

- L'observation et le suivi de la fonte des glaces montrent une réduction très nette de la banquise et des glaciers.
- Le niveau de la mer augmente (10 à 12 cm depuis 1900).
- Sur une échelle de temps encore plus courte, les dates des vendanges de plus en plus précoces indiquent un climat plus chaud.
- À l'échelle de la France, le peuplement des milieux varie.

### EXEMPLE

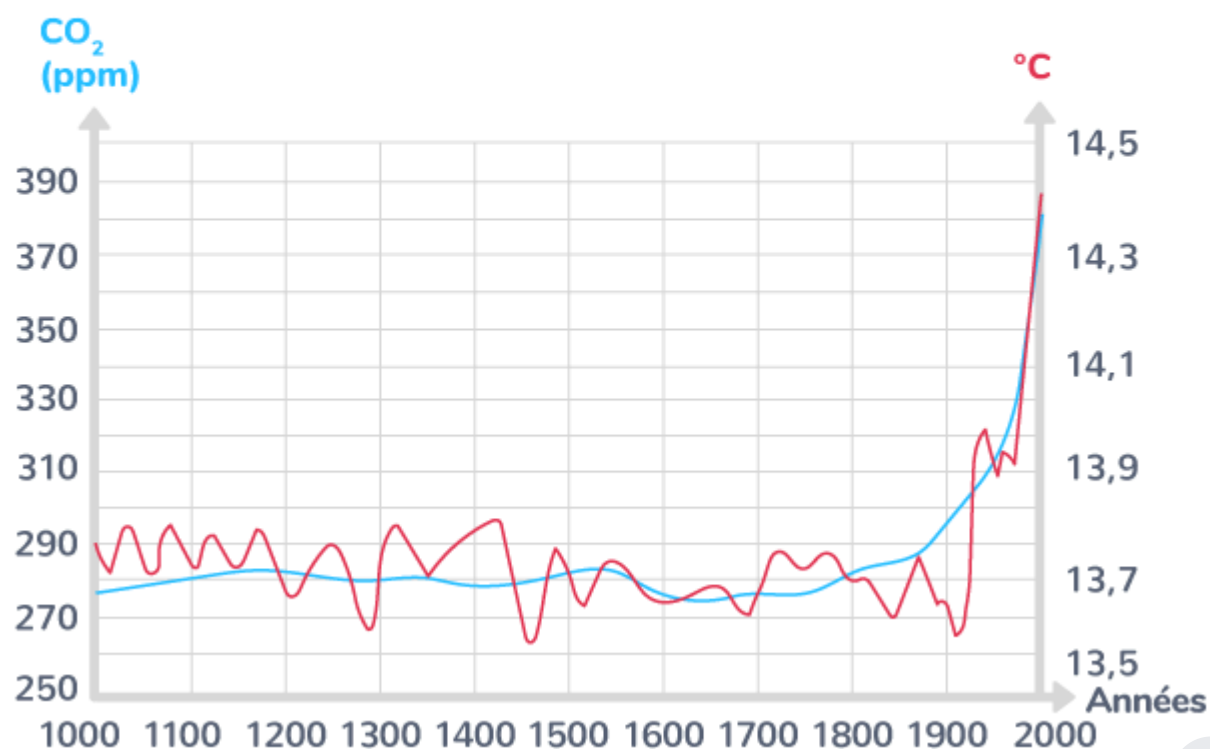
Les territoires colonisés par les moustiques tigres caractéristiques des climats chauds gagnent du terrain vers le nord chaque année.

## B Les causes du réchauffement actuel

Les activités humaines nécessitant des combustions d'énergie fossile, la déforestation ou encore l'agriculture sont responsables d'une augmentation de la concentration de GES dans l'atmosphère. L'effet de serre est amplifié et la température moyenne du globe augmente. Les boucles de rétroaction positives amplifient ce phénomène.

Les causes du réchauffement climatique depuis 150 ans sont corrélées à une augmentation des GES émis dans l'atmosphère et en particulier le  $\text{CO}_2$ . En effet, avant 1900, on observe un taux stable de  $\text{CO}_2$  atmosphérique et, depuis 100 ans, l'augmentation du  $\text{CO}_2$  atmosphérique est très importante et rapide.

Variations de la température et du taux de  $\text{CO}_2$  atmosphérique depuis 100 ans



© Wikimedia Commons

Cette augmentation du  $\text{CO}_2$  débute en même temps que la révolution industrielle. La combustion d'énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz) libère sous forme de  $\text{CO}_2$  le carbone stocké dans ces énergies fossiles. Lors de la décennie 2000, les émissions de  $\text{CO}_2$  liées aux combustions sont estimées à 7,8 Gt. Le cycle du carbone est ainsi perturbé par les activités anthropiques.

#### DÉFINITION

#### Cycle du carbone

**Le cycle du carbone** est l'ensemble des échanges de carbone réalisés entre les différentes enveloppes terrestres (atmosphère, hydrosphère, biosphère, géosphère).

Le  $\text{CO}_2$  augmente l'effet de serre et amplifie l'augmentation de la température.

D'autres GES sont libérés par les activités humaines. Parmi eux, on trouve le méthane ( $\text{CH}_4$ ), libéré notamment par les élevages de ruminants. Ce gaz, composé de carbone, vient également perturber le cycle du carbone. La déforestation diminue aussi les possibilités de stockage du carbone.