

Cours 2 : Les variations climatiques anciennes (> 1 Ma)

II/ Les variations climatiques anciennes (> 1 Ma).

A) Les indices permettant d'appréhender les climats anciens.

Plus l'époque est ancienne, moins il y a d'indices, et par conséquent plus il est difficile d'étudier son climat.

Par exemple, aucune glace ni aucun pollen n'est vieux de plus d'un million d'années. Ainsi, on doit utiliser d'autres indices, de moins bonne résolution mais capables de perdurer pendant des millions d'années, voire des dizaines ou des centaines de millions d'années.

1) Les indices pétrologiques.

Certaines roches sédimentaires se forment uniquement en présence d'un certain climat. On suppose que les conditions de formation d'une roche sont restées les mêmes au cours des temps géologiques : les constatations actuelles sur les relations entre roches sédimentaires et climat sont donc valables aussi à des époques anciennes. Il s'agit du principe de l'actualisme.

Parmi les roches indicatrices de climats, on trouve par exemple :

-Des latérites ou des bauxites. Ces roches sont issues d'une très forte altération chimique. Une telle altération n'est possible qu'en cas de fortes températures et d'importantes précipitations. Ainsi, ces roches ne peuvent se former qu'en climat tropical.

-Des charbons. Le charbon est un combustible fossile d'origine continentale issu de la transformation de matières organiques. Pour que la matière organique se transforme en charbon, il faut d'abord qu'elle soit conservée, et pour cela la présence d'une forte productivité primaire est nécessaire. Ainsi, le charbon témoigne de conditions équatoriales ou tropicales propices à la formation d'une forêt luxuriante.

-Les évaporites (sel, gypse, potasse...). Il s'agit de roches formées par précipitation d'ions. Leur formation n'est possible qu'en cas d'évaporation de grandes quantités d'eau. Ces roches témoignent donc de climats chauds et secs.





Bauxite



Charbon





Gypse

-Les tillites. Il s'agit de dépôts fluvio-glaciaires caractéristiques d'un climat très froid (présence de glaciers à proximité).

2) Les indices paléontologiques.

a-Milieu de vie des espèces fossiles.

Certains fossiles peuvent également nous renseigner sur les climats passés. On utilise encore une fois le principe d'actualisme en considérant que des animaux fossiles proches d'animaux actuels devaient vivre à peu près dans les mêmes conditions que ceux-ci.

Par exemple, les coraux sont des animaux qui vivent actuellement dans des mers tropicales, on suppose donc qu'un fossile de corail sera le marqueur de ce type de climat.



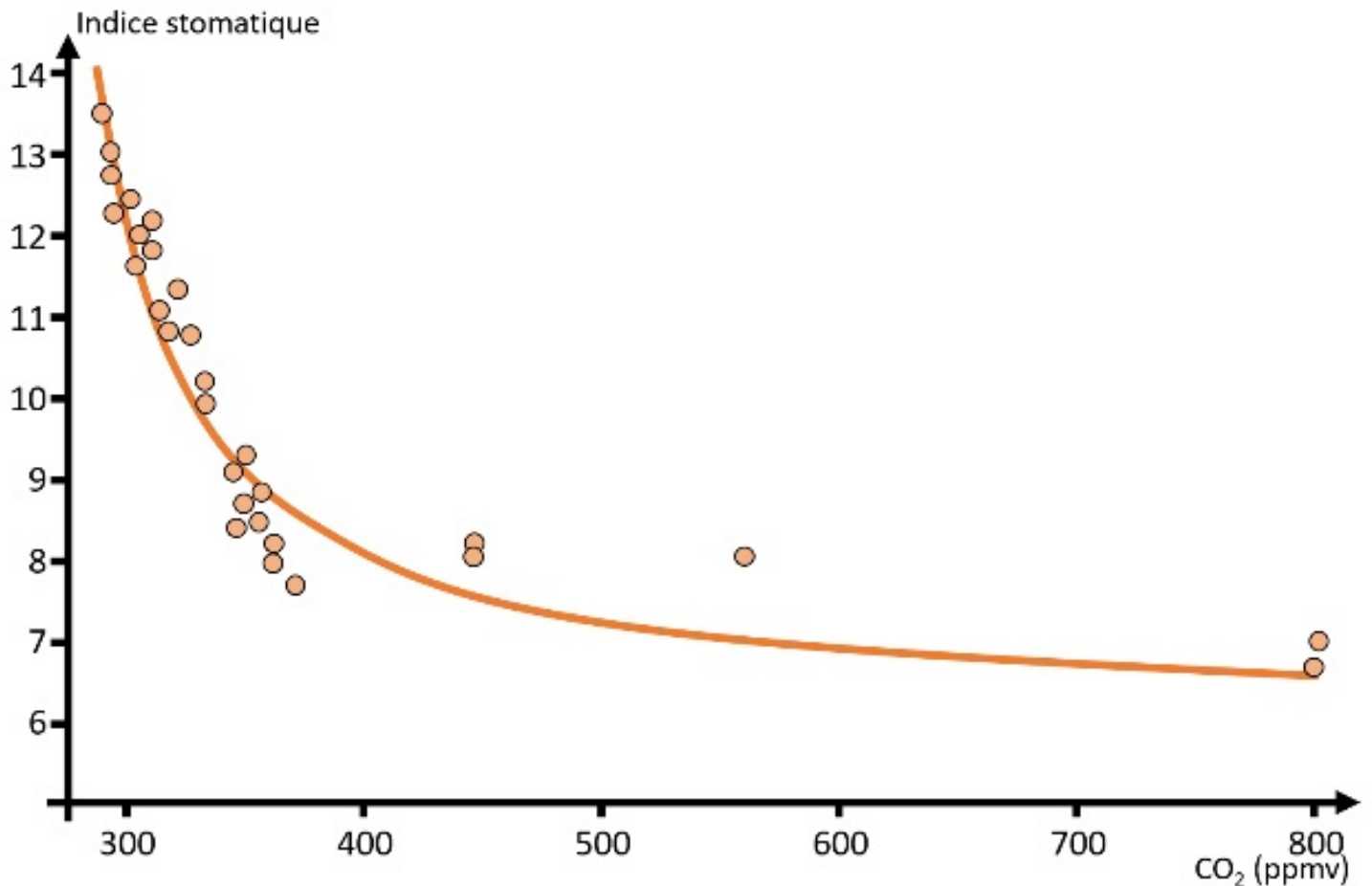
Fossile de coraux

b-Étude des indices stomatiques.

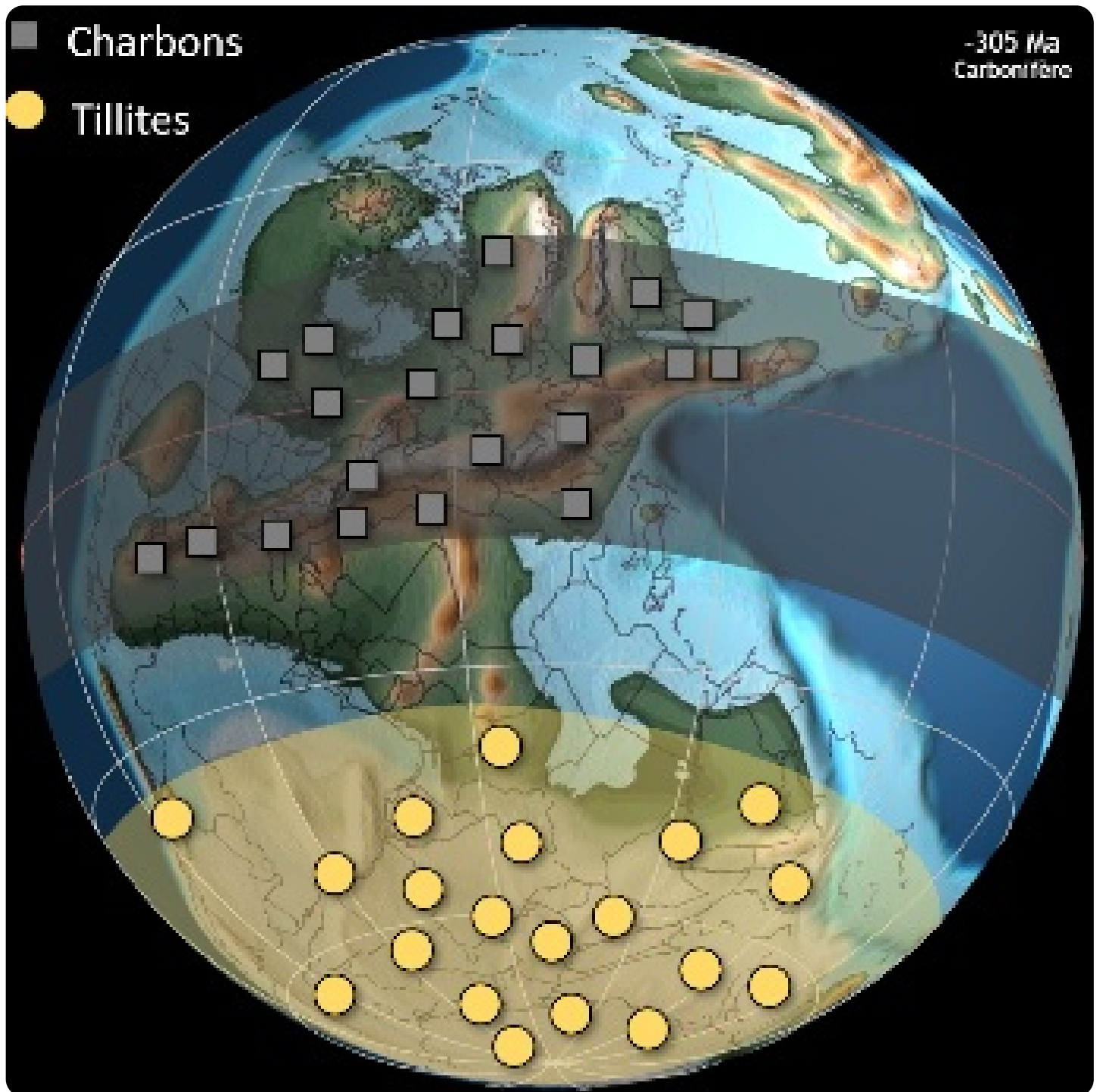
Les Ginkgos sont des arbres qui semblent avoir peu changé depuis le Permien.

Actuellement, on peut vérifier qu'il y a une corrélation inverse entre le nombre

de stomates sur les feuilles de Ginkgo et le taux de CO_2 atmosphérique. D'après le principe d'actualisme, on suppose donc que le nombre de stomates sur les feuilles fossilisées de Ginkgo nous permet d'avoir accès au taux de CO_2 de l'époque. Or, on sait qu'un taux important de CO_2 est en général corrélé avec un climat chaud, et inversement.



La présence de tillites à relativement basses latitudes datant de la fin du Carbonifère montre la présence à cette période d'un climat froid (à peu près similaire à celui du Quaternaire). Le climat s'est refroidi au début du Carbonifère et s'est réchauffé à la fin du Permien.



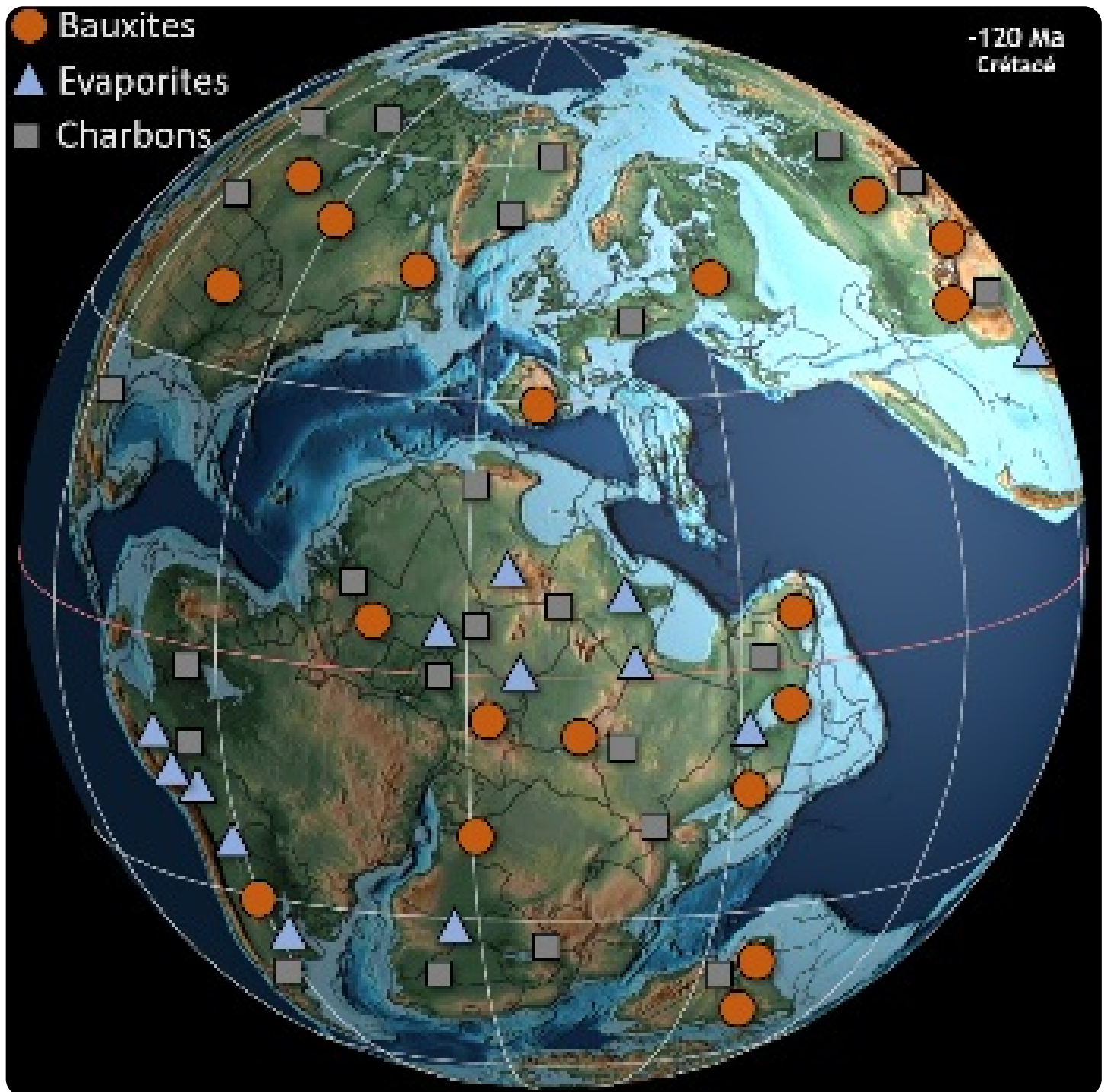
Charbons et tillites au Carbonifère

2) Le climat au Crétacé (136 à 65 Ma).

Au Crétacé, les analyses des indices stomatiques permettent de savoir que le CO₂ atmosphérique était beaucoup plus concentré qu'aujourd'hui. De plus, les géologues ont trouvé beaucoup de roches typiques de climats chauds (bauxites, latérites, charbons, évaporites), même à latitudes élevées. Et enfin, les paléontologues ont montré la présence d'espèces fossiles typiques de climat tropical à latitudes élevées (crocodiliens, coraux...).

Ces indices concordants démontrent la présence d'une période chaude durant

le Crétacé.



Bauxites, évaporites et charbons au Crétacé

3) Le climat au Cénozoïque (65 Ma à actuel).

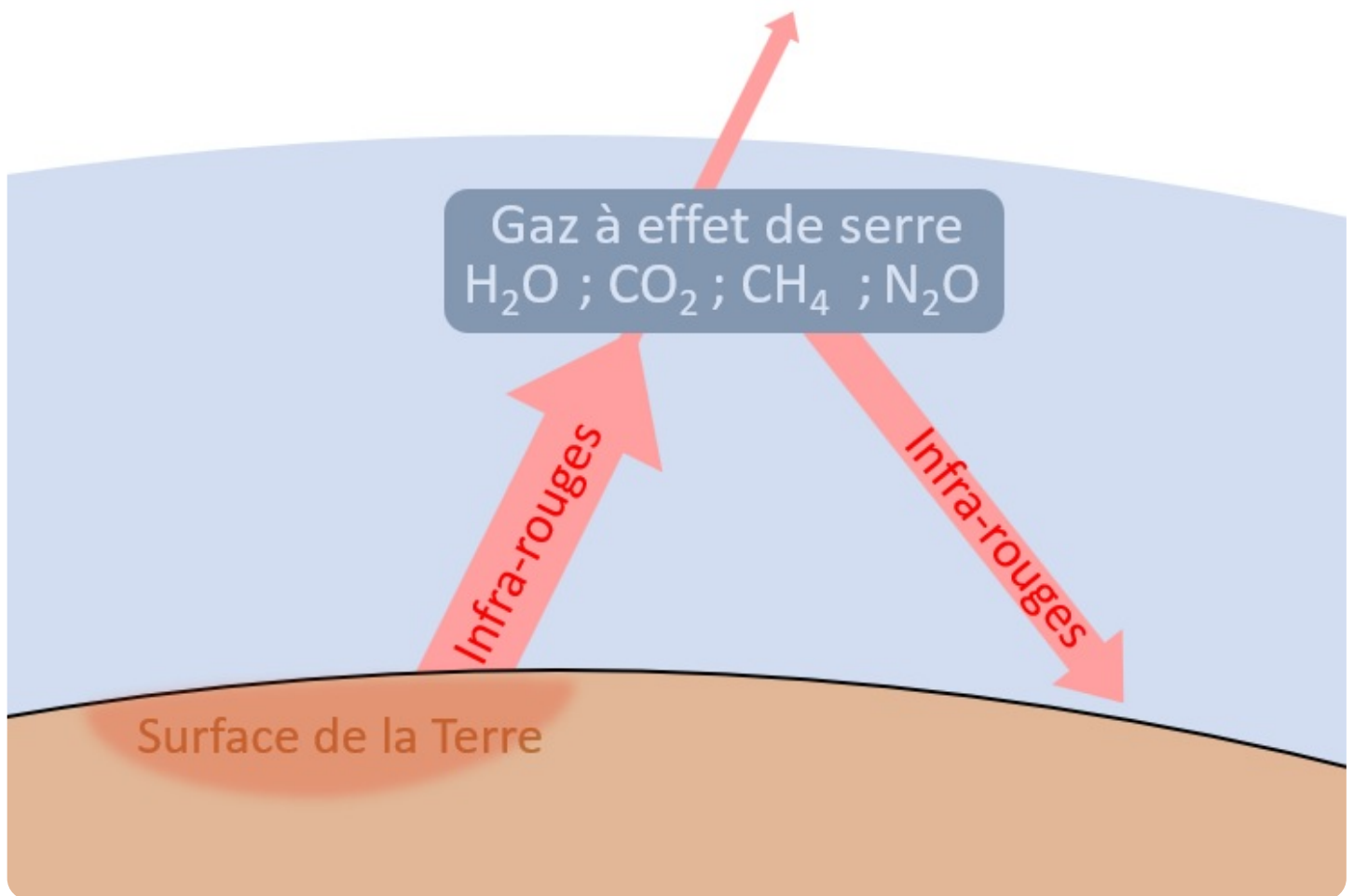
Les analyses isotopiques réalisées dans les sédiments océaniques ont démontré la présence d'un important refroidissement pendant tout le Cénozoïque. On passe donc d'une période chaude (Crétacé) à une période froide (époque actuelle).

C) Causes des variations climatiques anciennes.

1) Modifications du cycle du carbone et de l'effet de serre.

Le climat global de la Terre est contrôlé par son effet de serre : Certains gaz atmosphériques (les gaz à effet de serre) absorbent les rayonnements infrarouges émis par la Terre et les réémettent en direction de la surface. En piégeant une partie de l'énergie émise par la surface terrestre, les gaz à effet de serre contribuent à réchauffer le climat.

Les gaz à effet de serre principaux sont la vapeur d'eau (H_2O), le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et le protoxyde d'azote (N_2O).



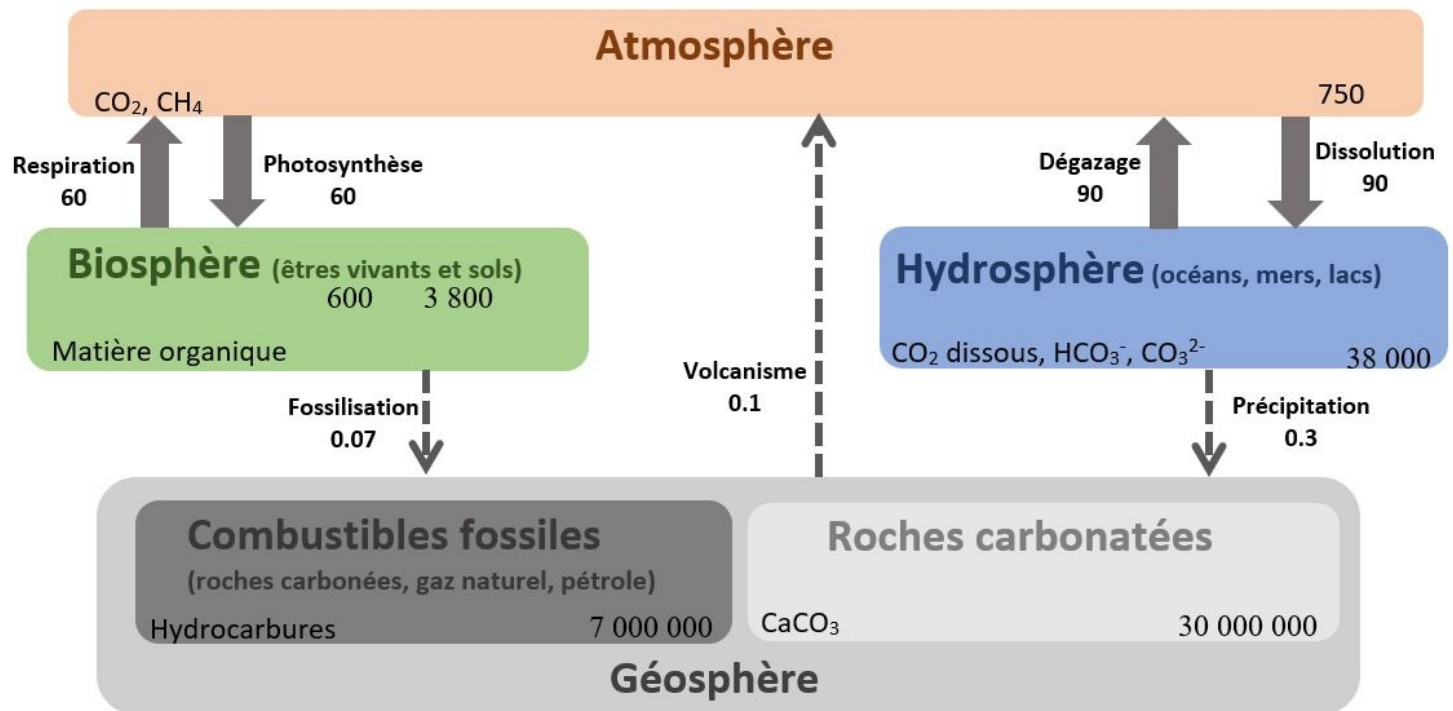
Le mécanisme de l'effet de serre

Le CO_2 contient un atome de carbone : afin de comprendre ses variations dans l'atmosphère, on doit donc connaître le cycle du carbone, c'est-à-dire les différents flux de carbone qui ont lieu entre les grands réservoirs terrestres.

Sur Terre, le carbone est réparti dans la géosphère, la biosphère, l'hydrosphère et l'atmosphère.

Avant l'ère industrielle, les principaux flux entre ces réservoirs étaient liés à des processus biologiques (la respiration et la photosynthèse) et à des processus de dissolution / dégazage entre l'atmosphère et l'hydrosphère.

Il existe aussi des flux plus lents, qui sont insignifiants à l'échelle humaine, mais qui ont un rôle important à jouer sur le long terme : la précipitation des carbonates et la fossilisation de la matière organique permet de piéger du carbone atmosphérique dans la géosphère, tandis que le volcanisme libère du CO_2 atmosphérique.

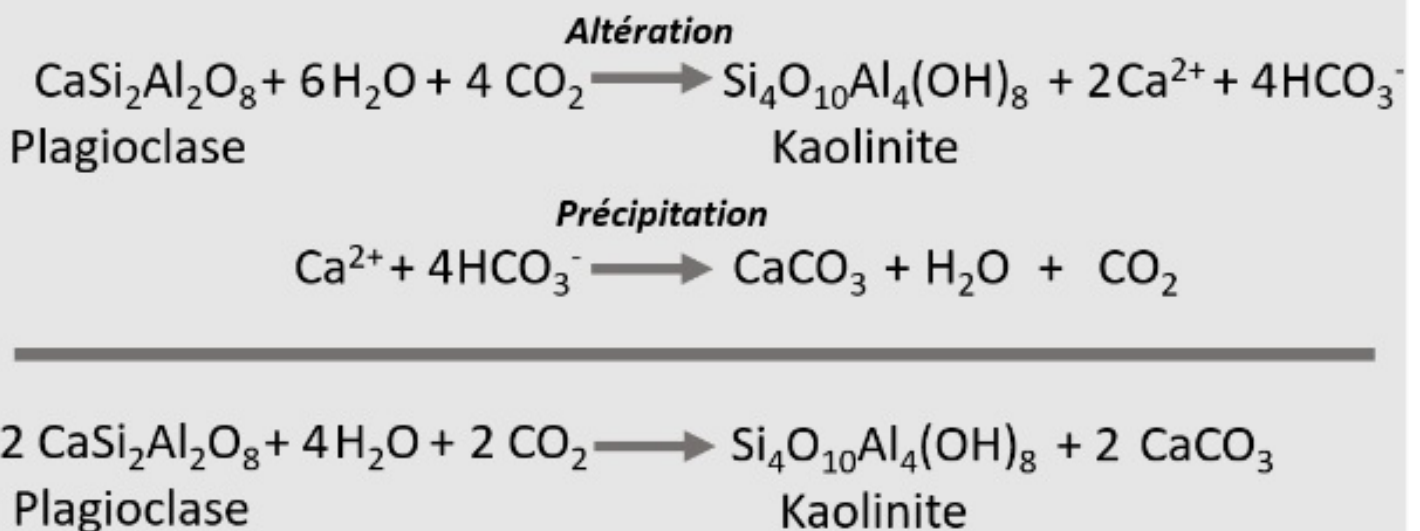


*Le cycle du carbone simplifié. Les stocks sont en GtC, et les flux en GtC/an.
Flèches en pointillés : flux lent du cycle du carbone.*

Certains événements naturels peuvent modifier le cycle du carbone, ce qui peut influencer sur la quantité de CO₂ présent dans l'atmosphère :

-Augmentation de l'altération des roches continentales.

En cas de surrection de chaînes de montagnes majeures, l'altération des silicates au niveau mondial augmente. Cette altération, couplée à la précipitation de carbonates, sera responsable du piégeage du CO₂ atmosphérique dans la géosphère.



Équations liées à l'altération des silicates

Au Carbonifère, la mise en place de la chaîne Hercynienne et l'altération continentale qui a suivi a contribué à diminuer le CO₂ atmosphérique donc à refroidir le climat.

Au Cénozoïque, l'altération intense causée par la mise en place de l'Himalaya est la principale responsable du refroidissement constaté.

-Volcanisme.

Le volcanisme émet du CO₂, donc contribue à transférer du carbone de la géosphère vers l'atmosphère (cf. schéma du cycle du carbone). Plus le volcanisme mondial est intense, plus le CO₂ émis sera important.

Au Crétacé, la fracturation de la Pangée est associée à un épisode de forte activité des dorsales océaniques. De plus, il y a à cette époque formation de nombreuses Provinces Volcaniques Géantes (points chauds émettant de grandes quantités de magma). Ce volcanisme intense est ainsi responsable d'une augmentation du CO₂ atmosphérique, donc d'un réchauffement climatique global.

-Piégeage du carbone atmosphérique sous forme de matière organique.

Le CO₂ peut être piégé dans la biosphère sous forme de matière organique. En général, la matière créée sera à terme décomposée, ce qui restituera le CO₂ à l'atmosphère. Mais parfois, une faible proportion de matière organique échappe à la décomposition et se fossilise de manière pérenne dans les roches, sous forme d'hydrocarbures (charbons, pétrole, gaz naturel). Parfois, pour des raisons diverses, la fossilisation du carbone est favorisée, ce qui peut entraîner une baisse du CO₂ atmosphérique.

Au Carbonifère, c'est le piégeage accru du carbone atmosphérique dans les charbons qui est la principale cause du refroidissement constaté. La formation de ces grandes quantités de charbons est due à l'apparition pour la première fois de végétaux ligneux (= des arbres) dont la décomposition était plus difficile. On suppose que les décomposeurs de l'époque avaient des difficultés pour décomposer la lignine, qui est une molécule particulièrement résistante. De plus, la présence de nombreuses terres émergées présentes sur les zones intertropicales et le faible niveau marin ont dû favoriser cette fossilisation de la matière organique.



La forêt houillère au Carbonifère

2) Modification des courants océaniques.

La disposition des masses continentales, elle-même dépendante des mouvements tectoniques, peut influencer sur la nature des courants océaniques, qui elle-même peut avoir une incidence sur le climat.

-En réchauffant les eaux océaniques, un courant faisant le tour du globe dans la région intertropicale favorise un climat global chaud (figure 1).

-Au contraire, la présence d'un courant froid autour d'un continent situé sur un pôle (courant circumpolaire), en isolant ce dernier des apports d'eaux chaudes, y favorise l'installation d'une calotte glaciaire propice au refroidissement global, notamment par augmentation de l'albédo (figure 2).

-L'existence de courants indépendants de direction globalement nord-sud (courants méridiens) favorise la mise en place des calottes glaciaires (en augmentant l'humidité au niveau des pôles), ce qui est favorable à l'installation d'un refroidissement global par augmentation de l'albédo (figure 3).

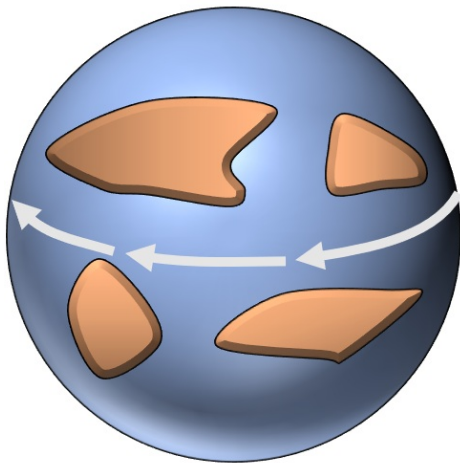


Figure 1 : Courant faisant le tour du globe dans la région intertropicale

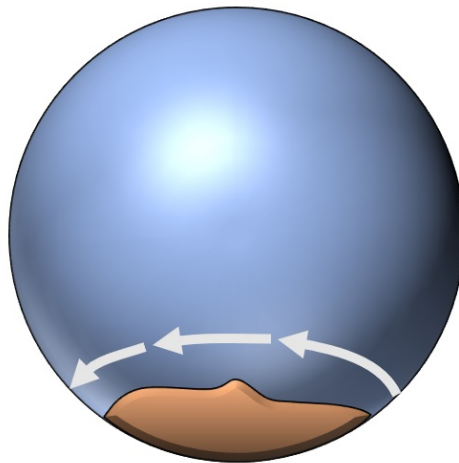


Figure 2 : Courant faisant le tour d'un continent en position polaire (= courant circumpolaire)

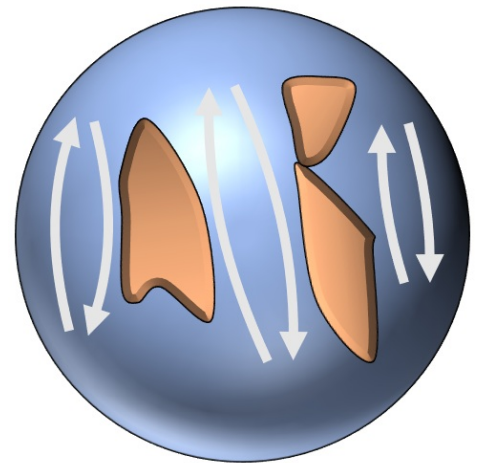


Figure 3 : Courants orientés nord / sud (= courants méridiens)

Au Crétacé, la fracturation de la Pangée a entraîné la mise en place de passages entre les continents, ce qui a permis la formation de courants faisant le tour du globe dans la zone intertropicale. Ceci a dû contribuer à la mise en place d'un climat chaud.

Au Cénozoïque, la convergence entre les masses continentales provoque un changement dans ces courants océaniques, qui deviennent principalement orientés N/S. De plus, le continent Antarctique s'isole sur le pôle sud, autour duquel se met en place un courant circumpolaire. Ces événements ont dû contribuer au refroidissement constaté.

