

II – Histoire des variations climatiques des 500 derniers millions d'années

A – Au Paléozoïque (541-255 Ma), un climat contrasté mais globalement froid

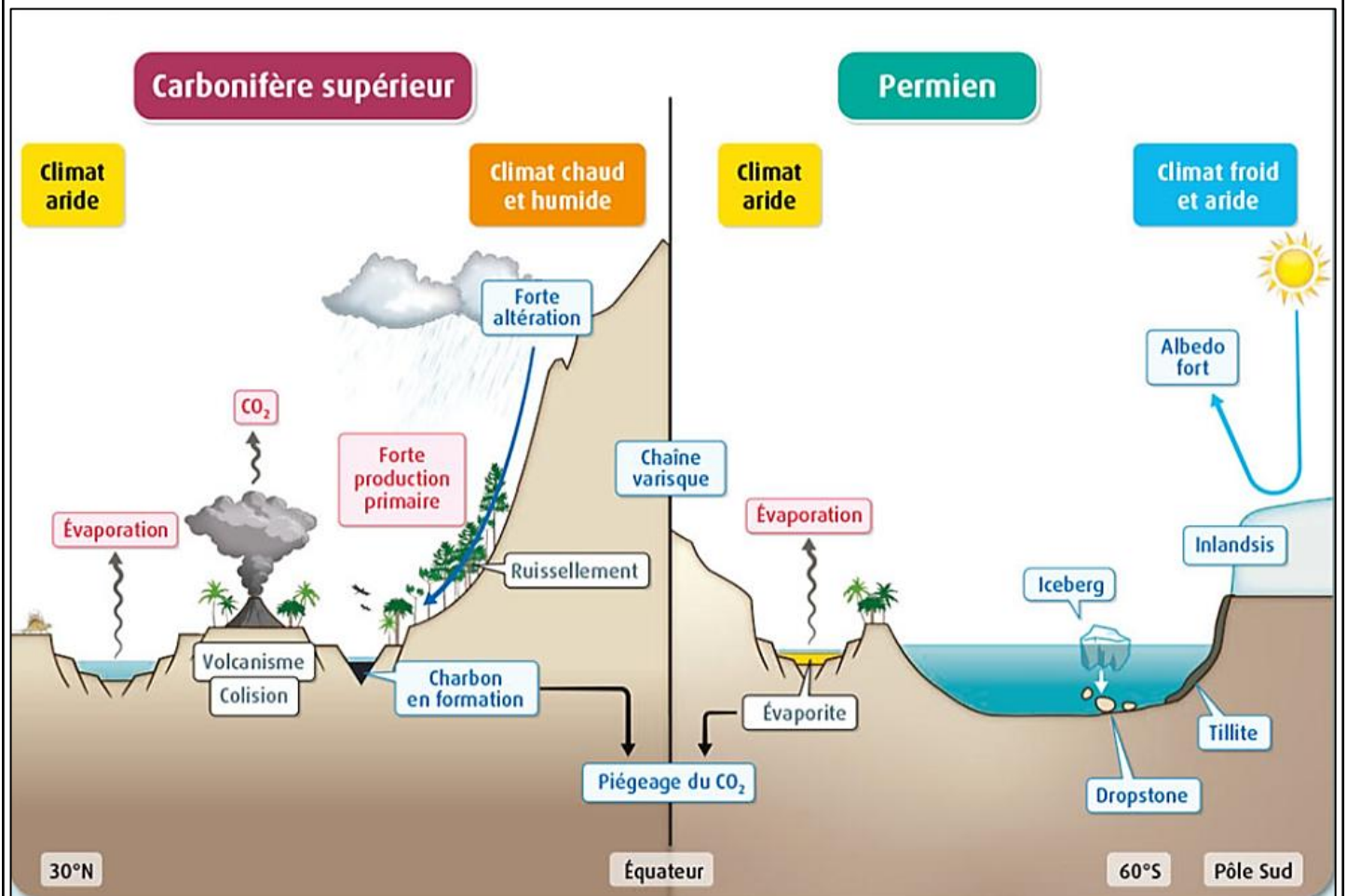
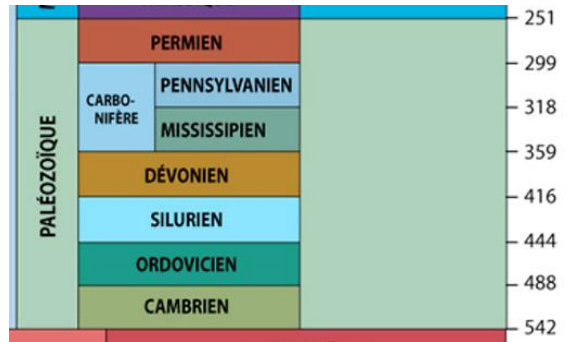
À la fin du Paléozoïque, on observe un refroidissement global du climat.

Dès le milieu du Carbonifère (323 Ma), toutes les masses continentales fusionnent en un supercontinent, la Pangée et, au Permien (299 - 252 Ma), des glaciers se forment. On retrouve des traces de ces phases glaciaires sur de nombreux continents aujourd'hui dispersés.

Explication :

La naissance de la Pangée est associée à la formation, au niveau de l'équateur, d'une vaste ceinture orogénique : la chaîne varisque (= hercynienne). Sous un climat chaud et humide, cette chaîne de montagnes a subi une altération intense. L'hydrolyse des minéraux silicatés de la croûte a piégé d'importantes quantités de CO₂ atmosphérique. Cette perturbation du cycle biogéochimique du carbone a été à l'origine d'un refroidissement progressif pendant le Carbonifère supérieur (323-299 Ma).

Le climat chaud et humide était par ailleurs favorable au développement de la végétation. Les bordures de la chaîne varisque étaient recouvertes de forêts. Dans cet environnement, la sédimentation détritique et la productivité primaire (= vitesse de production de la matière végétale sèche par les végétaux chlorophylliens) étaient importantes. D'énormes dépôts de matière organique se sont formés. Ils ont permis la formation de gisements de charbon qui ont séquestré jusqu'à nos jours une importante quantité de CO₂... que l'humanité relargue dans l'atmosphère depuis 170 ans.



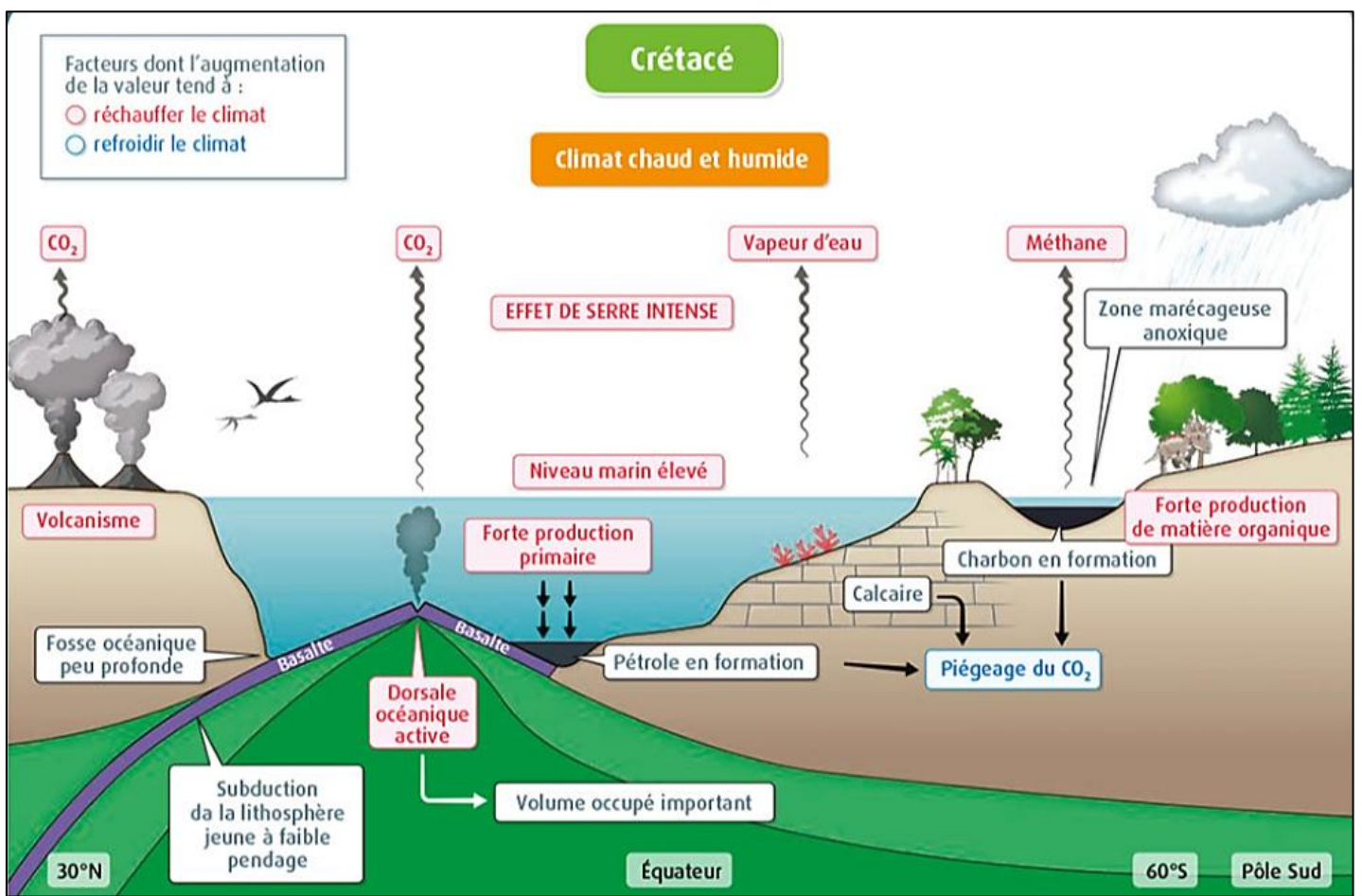
B - Au Mésozoïque (252-66 Ma), un climat globalement chaud mais fluctuant.

Dès le milieu du Crétacé inférieur (125 Ma), on observe dans les sédiments des indices d'une température supérieure à la température actuelle. L'Antarctique ne possède pas de calotte glaciaire et se couvre de végétation. De vastes surfaces continentales sont recouvertes par la mer car le niveau marin est très élevé et les continents très aplanis. Des marécages bordent les littoraux océaniques et les bassins intracontinentaux.

Ces environnements produisent d'importantes quantités de gaz à effet de serre naturels (vapeur d'eau et méthane) qui provoquent des rétroactions positives vers un climat chaud. En effet, la productivité primaire est intense et d'importantes quantités de matière organique sont produites sous ces climats chauds et humides. Les conditions anoxiques (pauvreté en dioxygène) liées à un manque de brassage des eaux favorisent le piégeage de cette matière organique sous forme de gisements carbonés de charbon et de pétrole.

Les transgressions marines sont en partie le résultat de la dilatation thermique de l'eau (*confer cours enseignement scientifique*) sous l'effet du réchauffement climatique. Sur les plateformes continentales et les bassins intracontinentaux, elles favorisent la mise en place d'importants dépôts de calcaire qui piègent le CO₂ atmosphérique.

En outre, l'activité mantellique est à l'origine d'une géodynamique interne intense. Par le biais du volcanisme et de la variation globale du niveau de la mer, cela favorise un climat chaud. Ce processus est en partie contrebalancé par le piégeage du CO₂ lors de la formation de roches carbonées et carbonatées ainsi que par l'intense altération des roches magmatiques formées.



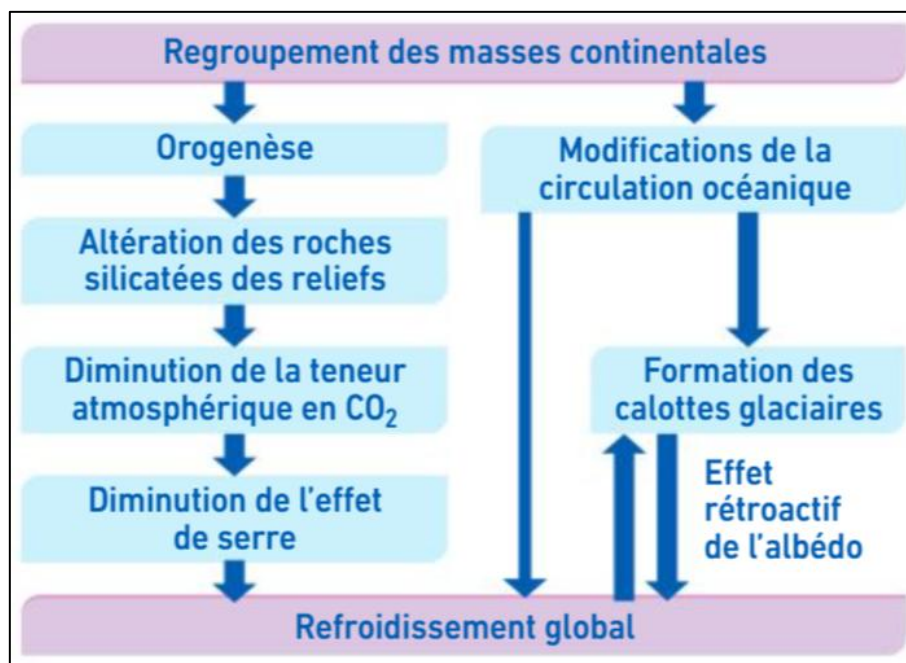
C – La reconstitution du climat au Cénozoïque : un refroidissement

Le Cénozoïque correspond à la dernière grande ère géologique, **couvrant les 65 derniers millions d'années.**

Après plusieurs pics, la concentration atmosphérique en CO₂ a diminué **depuis 30 millions d'années.** La seconde partie du Cénozoïque est donc marquée par un refroidissement climatique.

Ce dernier s'explique par

- l'altération des roches continentales des chaînes de montagnes alpines (qui a « pompé » du CO₂ atmosphérique) : Les orogénèses provoquées par la réunion de blocs continentaux ont donné naissance à des chaînes de montagnes dont les Alpes et l'Himalaya. L'altération des roches silicatées des reliefs montagneux étant un mécanisme piégeant le CO₂, elle aurait entraîné une diminution de sa teneur atmosphérique et donc de l'effet de serre, provoquant le refroidissement.
- la modification de la circulation océanique causée par la variation de la position des continents : La fermeture d'un vaste domaine océanique centré sur l'équateur aurait provoqué la disparition d'un courant chaud intertropical. Par ailleurs, l'isolement du continent Antarctique aurait permis la formation d'un courant froid circumpolaire, favorisant la formation de la calotte polaire sud **dès -30 Ma.** Cette immense surface glacée aurait participé au refroidissement global par effet albédo



Cycle du carbone : ensemble des échanges de carbone entre hydrosphère, lithosphère, biosphère et atmosphère (on parle de cycle biogéochimique).

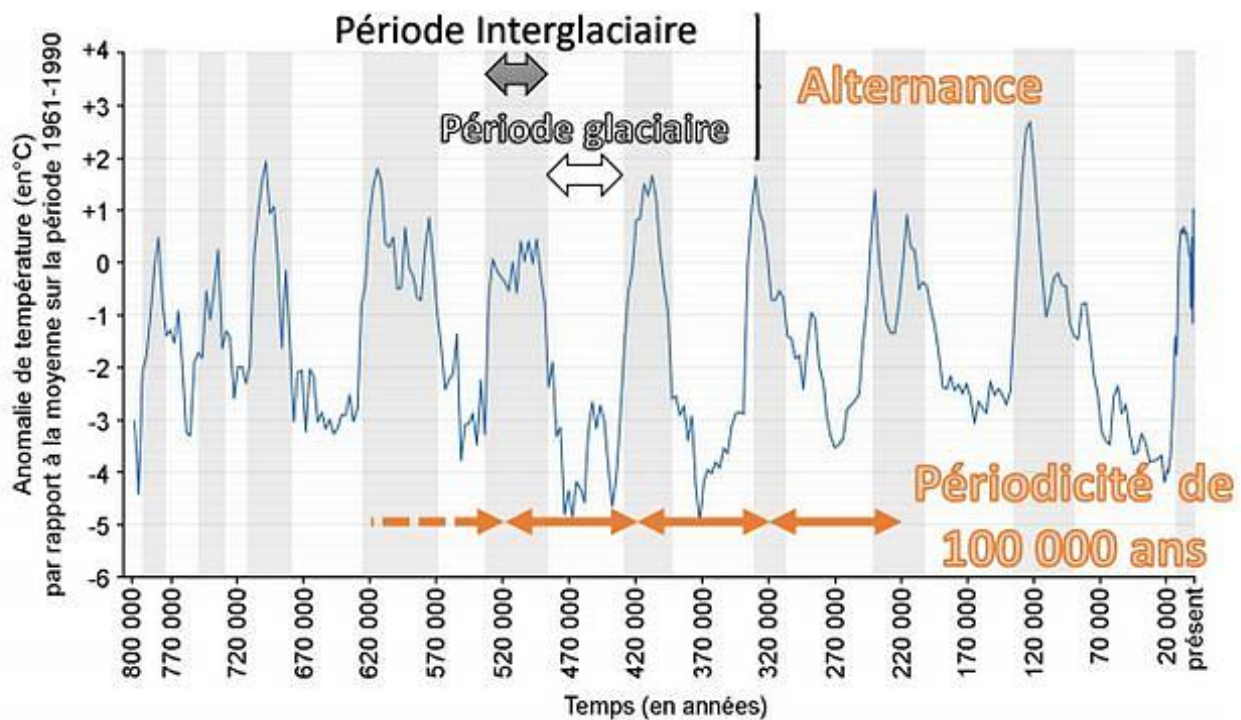
Albédo : rapport entre la quantité d'énergie lumineuse réfléchie par une surface et la quantité d'énergie solaire reçue par cette même surface.

D – Variations climatiques à l'échelle du Quaternaire (2,6 Ma – 11 700 ans) : des alternances de périodes glaciaires et interglaciaires.

Les cycles glaciaires

Au Quaternaire, la Terre a enregistré des cycles glaciaires qui ont duré en moyenne 100 000 ans. On a effectivement observé des alternances de périodes froides, glaciaires et plus chaudes, interglaciaires

Variation de la température moyenne de la Terre déduite du thermomètre isotopique depuis 800 000 ans



Les témoignages glaciaires (moraines), la mesure de rapports isotopiques de l'oxygène dans les carottes polaires antarctiques et les sédiments carbonatés, les mesures des gaz à effet de serre dans les bulles d'air piégées dans les glaces font apparaître une **alternance de périodes glaciaires et interglaciaires durant les derniers 800 000 ans** sans que l'activité humaine puisse influencer ces variations.

En outre, les données préhistoriques, géologiques et paléoécologiques (pollens fossiles) attestent de l'existence, sur la période s'étendant entre **-120 000 et -11 700 ans environ, d'une glaciation**, c'est à dire d'une période où la baisse planétaire des températures conduit à une vaste extension des calottes glaciaires.

E – Variations climatiques à l'échelle de l'Holocène (11 700 ans à aujourd'hui) : un climat chaud.

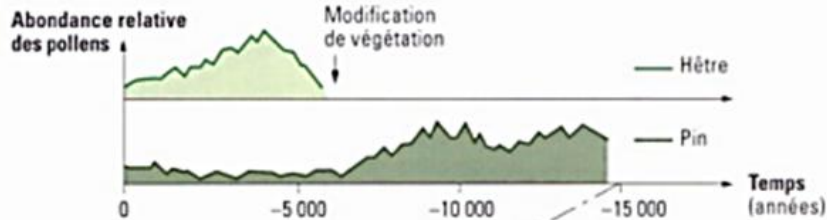
La dernière glaciation a pris fin il y a **11 700 ans environ**.

Nous sommes depuis en période interglaciaire (réchauffement). La Terre devrait donc connaître, d'ici quelques millénaires, une nouvelle glaciation, mais la prise en compte d'autres paramètres, dont l'augmentation anthropique de l'effet de serre, pourrait bouleverser ces prévisions.

F - À l'échelle des 170 dernières années : un réchauffement accéléré.

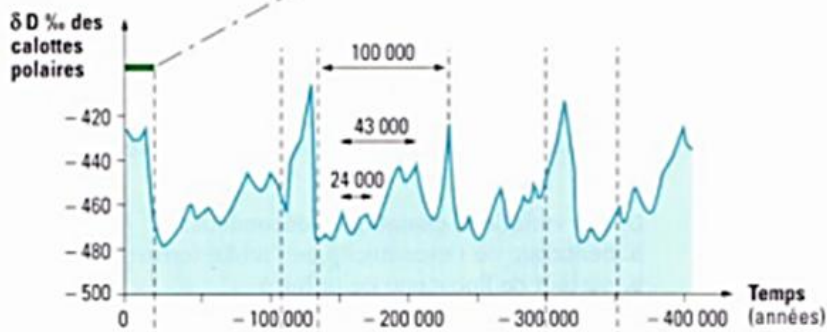
Depuis 170 ans, la température moyenne de la Terre a augmenté d'environ 1,3 – 1,4 °C. Les scientifiques ont montré que ce réchauffement est dû à la perturbation du cycle du carbone par les rejets de gaz à effet de serre liés aux activités humaines. Ce réchauffement climatique perturbe les écosystèmes.

Les changements du climat des 700 000 dernières années



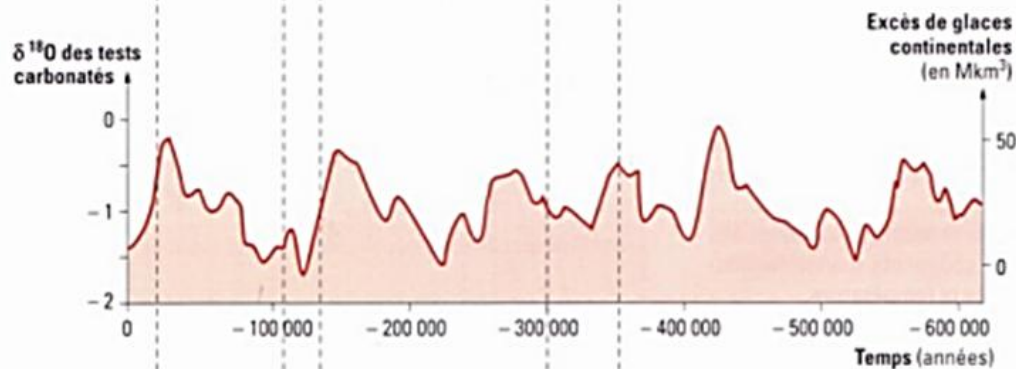
Pollens
Abondance relative entre espèces

Modifications climatiques locales
sur quelques milliers d'années



$\delta^{18}O \text{‰}$ ou $\delta D \text{‰}$ variations
dans les glaces des calottes polaires

Alternances climatiques périodiques

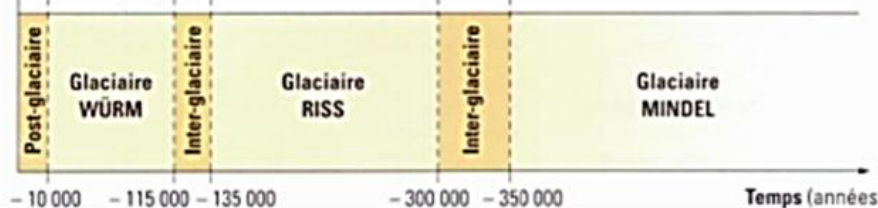


$\delta^{18}O$ variations dans
les tests carbonatés
de foraminifères
benthiques

Variations globales
de volume des
calottes glacières

Variations
du niveau marin

Variations climatiques
globales :
alternance de périodes
glaciaires et
inter-glaciaires



2. Causes supposées des alternances de périodes glaciaires et interglaciaires au Quaternaire (2,6 Ma – 11 700 ans).

Les variations des paramètres orbitaux de la Terre

L'énergie solaire incidente reçue au sommet de l'atmosphère dépend des **paramètres orbitaux de la terre** (obliquité, excentricité, précession) et de **l'activité solaire qui varie cycliquement**.

Les cycles de Milankovitch et les changements climatiques : [lien vidéo](#)

LES PARAMÈTRES DE MILANKOVIC - Comment Ça Marche ? - L'Esprit Sorcier : [lien vidéo](#)

Excentricité

L'orbite terrestre passe cycliquement d'une forme circulaire à une forme elliptique. C'est le résultat des forces d'attraction gravitationnelles exercées par les autres astres du système solaire.

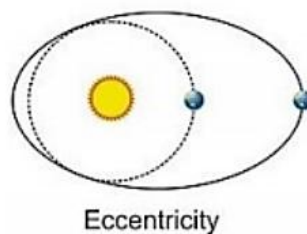
Obliquité

L'axe de rotation de la Terre est oblique par rapport au plan de l'écliptique (plan dans lequel se déplace la Terre autour du Soleil). L'obliquité correspond à l'angle entre la perpendiculaire à l'écliptique et l'axe de rotation de la Terre. Cet angle oscille cycliquement de 21,5 à 24,5°.

Précession

À cause de sa forme aplatie au niveau des pôles, les forces gravitationnelles exercées par la Lune et le Soleil tendent à faire tourner la Terre comme une toupie. Son axe de rotation décrit un cône autour de la perpendiculaire au plan de l'écliptique.

Milankovitch Cycles

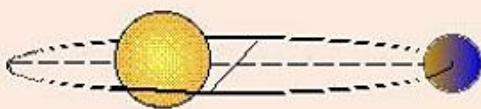


Les paramètres orbitaux de la Terre varient périodiquement selon des cycles de 413 000, 100 000, 41 000, 23 000 et 19 000 ans calculés par le physicien Milutin Milankovic.

L'existence des cycles de Milankovic favorise l'alternance glaciaire – interglaciaire. On observe en effet que la durée d'un cycle glaciaire est d'environ 100 000 ans et qu'au cours de ce cycle, il existe de petites oscillations de températures.

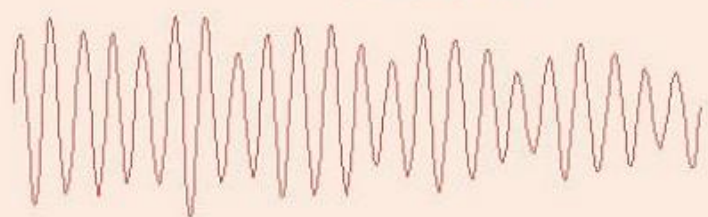
Variations de l'EXCENTRICITE de l'orbite terrestre

périodicités de 100 et 413 ka



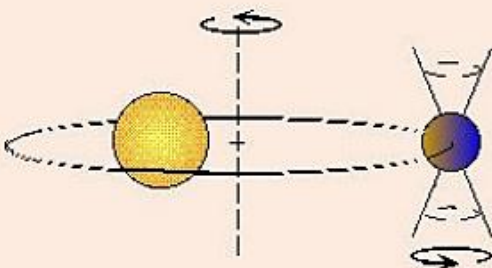
Variations de l'OBLIQUITE de l'axe de rotation

périodicité de 41 ka

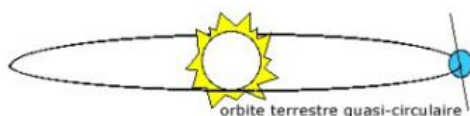


PRECESSION de l'axe de rotation et ROTATION de l'orbite terrestre

périodicités de 23 et 19 ka



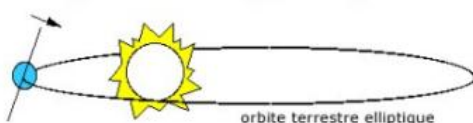
Période glaciaire



Excentricité faible
Inclinaison faible
Grande distance Terre-Soleil en été

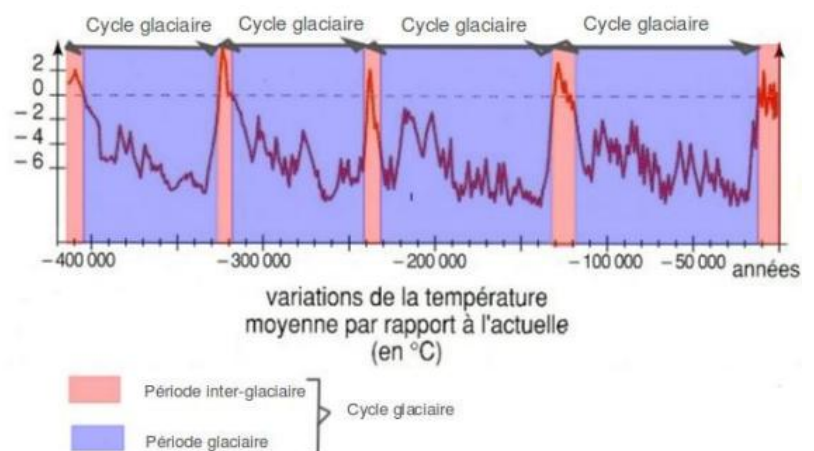
--> configuration orbitale favorisant une glaciation
--> faible contraste entre les saisons

Période inter-glaciaire



Excentricité forte
Inclinaison forte
Faible distance Terre-Soleil en été

--> configuration orbitale favorisant une déglaciation
--> saisons contrastées (étés plus chauds, hivers plus froids)



Ainsi, lorsque le contraste des saisons est peu marqué, la glace des pôles fond moins en été et elle s'accumule au cours du temps, augmentant la taille des calottes glaciaires.

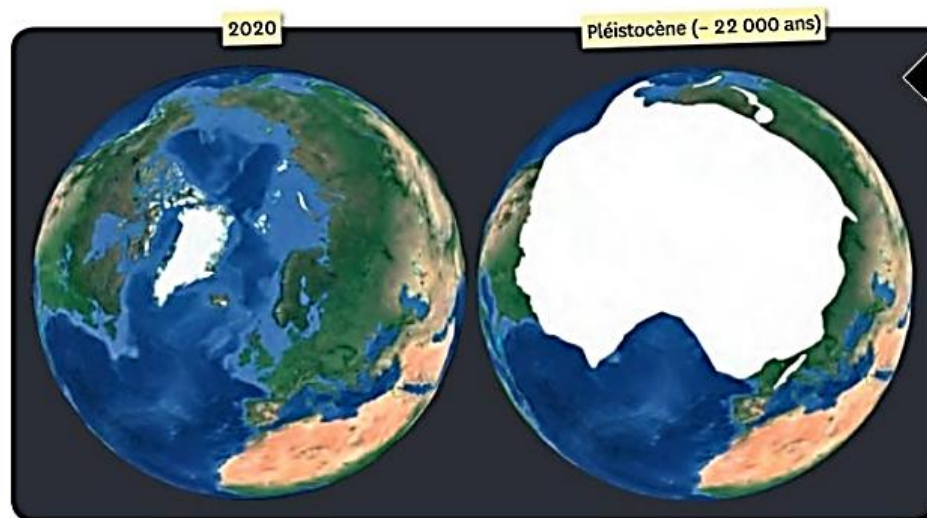
Toutefois, les paramètres de Milankovic à eux seuls ne suffisent pas à expliquer l'ampleur des variations de la température globale de la Terre.

Les rétroactions positives et négatives.

L'albédo

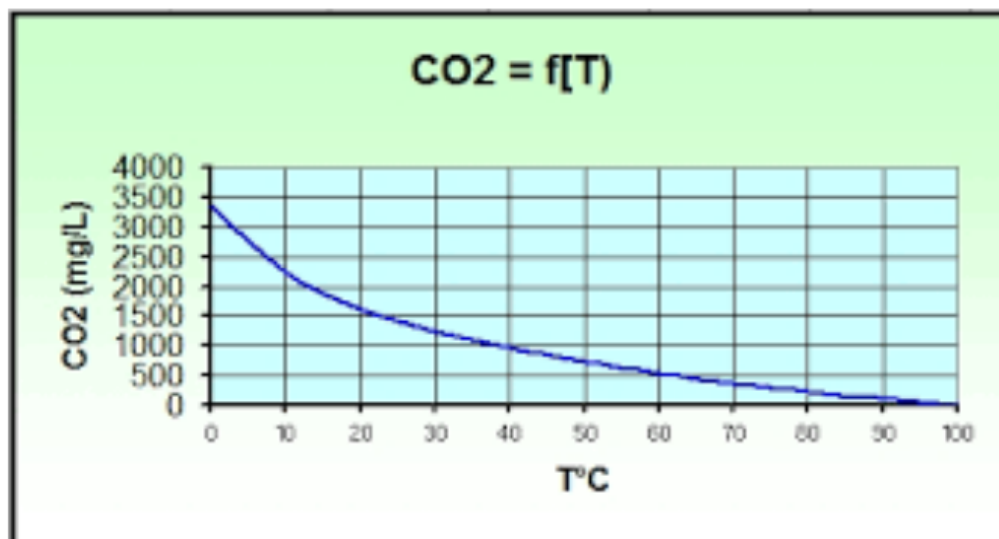
Surface	Neige fraîche	Forêt de conifères	Forêt de feuillus	Surface de la mer	Surface des lacs	Glace	Sable sec	Cultures
Albédo	0,75 à 0,9	0,05 à 0,15	0,15 à 0,2	0,05 à 0,15	0,02 à 0,04	0,6	0,25 à 0,45	0,15 à 0,25

Albédo de différentes surfaces. Il quantifie le rapport entre l'énergie réfléchie et l'énergie reçue au niveau d'une surface. Sa valeur est comprise entre 0 (0 % de l'énergie reçue est réfléchie) et 1 (100 % de l'énergie reçue est réfléchie).



Lorsque la calotte glaciaire est développée, l'albédo est élevé. La Terre réfléchit fortement l'énergie solaire et le refroidissement s'amplifie.

La solubilité du CO₂ dans les océans



Lorsque la température diminue, la solubilité du CO₂ dans l'océan augmente. Il y a donc moins de CO₂ dans l'atmosphère et moins d'effet de serre, ce qui amplifie le refroidissement.

Des boucles de rétroactions positives ou négatives permettent donc d'amplifier ou d'atténuer l'ampleur des changements climatiques.

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.

