

Bilan 10 LES CAUSES POSSIBLES DES VARIATIONS CLIMATIQUES

L'étude des archives géologiques a permis de démontrer le caractère planétaire des variations climatiques, aussi bien lors du quaternaire récent que sur de plus grandes périodes. **Quelles en sont les causes ?**

I- LES VARIATIONS CLIMATIQUES RECENTES

On sait que l'énergie solaire reçue par les planètes varie en fonction de leur **distance au Soleil**. La répartition des climats en latitude et l'alternance des saisons sont déterminées par la sphéricité de la Terre et de sa rotation autour d'un axe incliné par rapport au plan de révolution autour du Soleil (**plan de l'écliptique**).

Cependant les **paramètres astronomiques** et donc **l'énergie reçue par la Terre en un même point**, varient régulièrement sur des **courtes périodes**. La périodicité des variations climatiques observées dans 700 000 dernières années et l'extension des calottes de glace peuvent donc être mises en relation avec les variations régulières des paramètres orbitaux de la Terre.

1- Les paramètres orbitaux induisent un forçage du climat

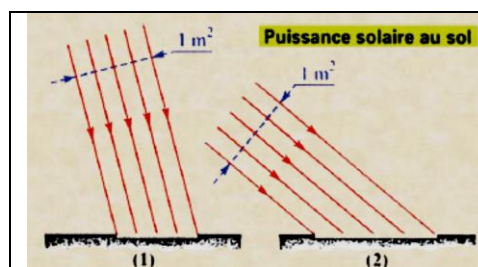
Milutin Milankovitch, un mathématicien Serbe, formula en 1941 une théorie selon laquelle les **cycles climatiques glaciaires et interglaciaires** sont liés à des variations cycliques de trois **paramètres orbitaux de la Terre** : l'excentricité de l'orbite terrestre, l'obliquité de la Terre sur son orbite, la précession des équinoxes. Ceux-ci, avec chacun une périodicité différente, se combinent pour provoquer au cours du temps des **modifications** sensibles de **l'insolation** du globe (doc.1). De ce fait, la quantité globale d'énergie reçue par la Terre aux différentes latitudes, peut induire un forçage du climat et déclencher une glaciation¹.

Les méthodes modernes de datations des cycles glaciaires des derniers millions d'années (delta¹⁸O, delta D, gaz dans les bulles d'air des glaces) confirment la théorie de Milankovitch.

Document 1 : insolation et angle d'incidence des rayons solaires

*Les paramètres astronomiques déterminent l'incidence des rayons solaires, et la quantité de chaleur arrivant au sol, c'est-à-dire **l'insolation**.*

Selon l'obliquité des rayons incidents, la même quantité d'énergie solaire est répartie sur une surface plus ou moins grande



Remarque1 : Milankovitch s'est intéressé à **l'insolation** de l'hémisphère Nord, qui subit des variations du volume des glaces plus importantes que l'hémisphère Sud. Lors de cette étude, il remarque que le passage d'une période interglaciaire à une période de glaciation et inversement, correspond respectivement à chaque fois à un minimum ou à un maximum de l'insolation d'été, à 65 °de latitude Nord. Il construit alors un modèle qui repose sur l'idée que c'est essentiellement la fonte des glaces en été qui détermine le bilan annuel d'accumulation des calottes.

2- D'autres facteurs en cause dans les changements de températures

Les variations de l'ensoleillement n'expliquent pas à **elle seules**, l'amplitude des changements de température observées au cours des cycles climatiques récents. La glaciation une fois démarrée ou le réchauffement amorcé, se développent d'eux mêmes **indépendamment des variations astronomiques**. Deux facteurs essentiels accélèrent ces processus :

a- Les variations de la teneur en CO₂ atmosphérique

Le CO₂ présent dans l'atmosphère participe à **l'effet de serre²** de la planète. L'eau de mer est capable de **dissoudre du gaz carbonique** de l'atmosphère et ce **d'autant plus que sa température est basse**. La concentration de CO₂ dans l'**atmosphère** est en équilibre avec celle de l'**hydrosphère** –énorme réservoir de CO₂-

Lorsque la **température augmente**, la solubilité du CO₂ dans l'océan **diminue**, l'équilibre précédent est déplacé, **du CO₂ dissous** dans l'eau est **relâché dans l'atmosphère**, ce qui entraîne une augmentation de **l'effet de serre** et amplifie le réchauffement éventuellement induit par l'effet astronomique.

Aujourd'hui l'activité humaine libère des gaz à effet de serre en excès (CO₂ issu des énergies fossiles, méthane et halocarbures industriels) ce qui entraîne un **forçage du climat d'origine humaine** – anthropique-.

b- Les variations de l'albédo de la planète

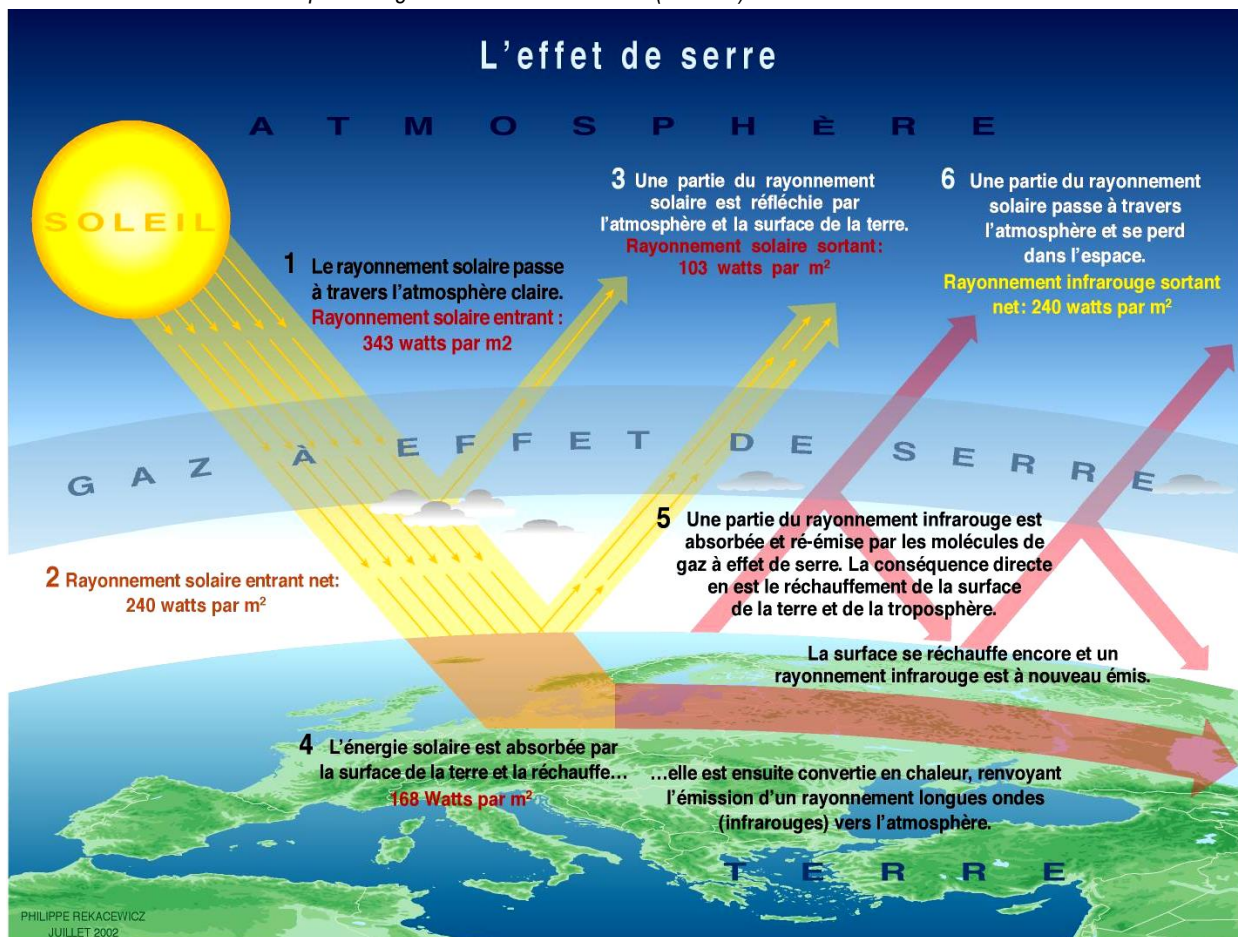
L'albédo est le **rapport** de l'énergie solaire **réfléchi** par une surface de la Terre sur l'énergie solaire **incidente**. Il est fonction entre autres du couvert végétal ou de l'extension des calottes polaires qui eux-mêmes dépendent de la température.

Lors d'un refroidissement du climat induit par une diminution de l'ensoleillement, la neige et la glace couvrent une plus grande partie de la surface de la Terre. La **glace** ayant un **albédo bien supérieur** à celui de la **végétation** ou de l'**eau**, l'albédo moyen de la Terre augmente, renforçant ainsi le refroidissement initial.

Albédo et gaz à effet de serre, exercent une **rétroaction positive** sur les températures, et **amplifient** l'effet qui résulte du forçage du climat, induit par la variation des paramètres orbitaux (Δ insolation). D'autres mécanismes de régulation ou d'amplification de l'effet astronomique existent et compliquent la compréhension des enchaînements qui pilotent les changements climatiques.

Document 2 : l'effet de serre

le sol reçoit de l'énergie sous forme de lumière solaire; il réémet toute cette énergie sous forme d'infrarouges(IR) dont la moitié sort de l'atmosphère. L'autre moitié est absorbée et réémise vers le sol par les gaz à effet de serre. Le sol la restitue à nouveau, la moitié sortant l'atmosphère, l'autre moitié étant réabsorbée et réémise vers le sol ainsi de suite. Au total il repart autant d'énergie de la Terre qu'il en arrive mais la température du sol et de la basse atmosphère augmente sous l'effet des IR (schéma).

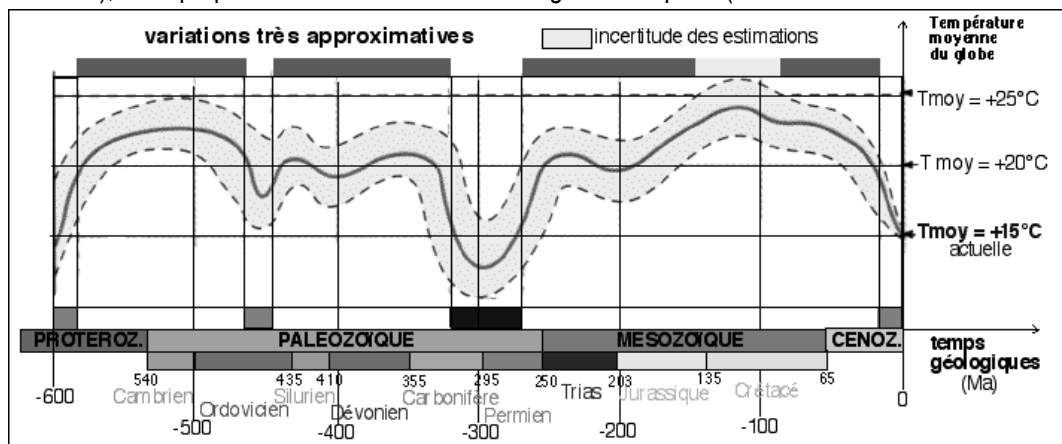


Sources : Okanagan university college Canada, section géographie ; université d'Oxford, section géographie ; Agence américaine pour la protection de l'environnement (EPA), Washington ; Changements climatiques 1995 ; Données scientifiques sur les changements climatiques, Contribution du groupes de travail au deuxième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, PNUE et OMM, Cambridge University Press, 1996.

Troposphère : partie de l'atmosphère terrestre située entre la surface du globe et une altitude d'environ 8 à 15 kilomètres.

II- LES FACTEURS EN CAUSE DANS LES VARIATIONS CLIMATIQUES DE GRANDE AMPLIEUR

L'alternance de périodes glaciaires et interglaciaires du quaternaire, (sur de courtes périodes de l'ordre de la dizaine de milliers d'années), se superposent à des variations de très grande ampleur (ordre de la centaine de millions d'années) et apparaissent comme



des changements climatiques très rapides au sein d'une période froide ou chaude de grande ampleur (la période actuelle est donc une période chaude –interglaciaire- dans une période froide comme le montre le document 3). Les ne peuvent donc pas être mises en cause dans les variations climatiques de grande ampleur.

Document 3-Les variations climatiques à l'échelle des temps géologiques.

1- Des indices sédimentologiques, témoins des variations climatiques anciennes

Les calottes glaciaires n'ayant pas toujours existé sur Terre, les données glaciaires ne peuvent être utilisées pour des périodes supérieures à 1Ma. La reconstitution des **paléoclimats très anciens**, nécessite en particulier l'étude des **roches sédimentaires** et des données **paléontologiques** (fossiles d'animaux et de végétaux).

Certaines roches peuvent donc être utilisées comme des marqueurs de température, on y retrouve des traces de période froides et de périodes chaudes, des traces de changements brusques du climat et leurs conditions de formation sont des indicateurs climatiques (voir p 138 à 141).

- **tillites, loess, dépôts glaciaires, stries glaciaires** témoignent des **climats froids**

- **coraux, argiles rouges, évaporites**, témoignent des **climats chauds**

2- Reconstitution du taux de CO₂ atmosphérique

► **Les variations climatiques aux grandes échelles de temps**, sont en relation avec des mécanismes qui **prélèvent** ou **libèrent** des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, principalement du CO₂. De ce fait, il existe aussi un **parallélisme** entre les variations des températures aux grandes échelles des temps et les variations du CO₂ atmosphérique. Ces processus exercent donc un **forçage sur le climat** (positif si la température augmente, négatif si elle diminue).

-**Parmi les processus qui augmentent le CO₂ atmosphérique**, on peut citer le **volcanisme**, en particulier lié à l'**activité des dorsales** (accrétion) ou de **points chauds**.

-**Parmi les processus qui diminuent le CO₂ atmosphérique** l'érosion et l'**altération des roches silicatées** (roches magmatiques) qui augmente avec les reliefs en période d'**orogénèse** (= de formation des chaînes de montagnes), a joué un rôle important à certaines périodes (voir plus loin) De même la **fossilisation de matière organique** (qui échappe ainsi à la dégradation) à l'origine des **roches carbonées** (pétrole, gaz naturel, charbons, tourbe...), est à l'origine d'un important piégeage de CO₂ atmosphérique.

► **L'évaluation de ces phénomènes permet donc de reconstituer l'évolution du taux de CO₂ atmosphérique.**

-On étudie le **delta¹⁸O** ou le **delta D des carbonates marins** qui varient comme l'eau des océans, à l'**inverse des températures** (bilan 7).

-On peut aussi déterminer l'**indice stomatique** des plantes terrestres grâce à l'étude des empreintes de feuilles fossilisées. Les stomates permettent l'absorption du CO₂ et le nombre de stomates qui varie en fonction des espèces, est inversement proportionnel au taux atmosphérique de CO₂.

-On peut également reconstituer les **variations du niveau marin** grâce à différents critères (sédimentation, fossiles marins, volume des glaces). Les variations du niveau marin sont globalement **corrélées aux variations de température**, en effet un réchauffement entraîne la **dilatation** de la couche de surface des océans et la **fonte des calottes glaciaires** (et inversement).

3-Deux exemples de variations climatiques de grande ampleur

► **La glaciation Permo-Carbonifère (vers – 300 Ma, fin Paléozoïque)** voir doc.3)

C'est la période la plus froide de l'histoire de la Terre (assez comparable à la période actuelle). Deux grands facteurs sont en cause :

-**La formation d'énormes gisements de charbon :**

Au cours de la **photosynthèse**, les forêts en croissance fixent de grandes quantités de CO₂ atmosphérique en fabricant leur matière organique (feuilles tronc etc.). A leur mort, les tissus végétaux sont dégradés par la faune et la flore du sol, qui restituent le CO₂ à l'atmosphère au cours de la **respiration** et de la **fermentation**.

Or au Carbonifère, d'énormes **forêts houillères** sont installées dans les ceintures climatiques tropicale et tempérée nord et expliquent le refroidissement climatique. L'enfouissement important des débris végétaux en milieu **anaérobie** (marécages, bords de mer ...) **s'opposant à leur dégradation** a conduit à l'élaboration de réserves de charbon (d'où le nom du Carbonifère).

-**La collision des masses continentales :**

A cette époque, la mise en place de la Pangée s'accompagne de la formation de grandes **chaînes de collision dont la chaîne Hercynienne**, et donc d'une intense érosion des roches silicatées, consommatrice de CO₂.

► **La période chaude du Crétacé (entre 135 et 65Ma au mésozoïque)**

L'**éclatement de la Pangée**, commence par l'ouverture de l'océan Atlantique, de **nouvelles dorsales** fonctionnent, le dégagement intense de CO₂ qu'elles génèrent et leur volume croissant, entraînent une élévation du niveau marin supérieur de 200m à l'actuel (fonte des calottes glaciaires, dilatation de l'eau et diminution des bassins océaniques).

La paléogéographie actuelle se dessine et malgré la position de continents aux pôles, le Crétacé supérieur est une époque **très chaude**, la **Terre est entièrement dépourvue de glace**. Les **coraux** se développent jusqu'à des latitudes de 40° nord et sud.