

2. Les cycles de Milankovitch

INTRODUCTION :

En vous basant sur le schéma des saisons (disposition de la Terre et du soleil), cherchez les éléments naturels qui pourraient faire en sorte que nos saisons soient modifiées (c'est-à-dire que nos hivers ou étés soient plus chauds ou plus froids par exemple)

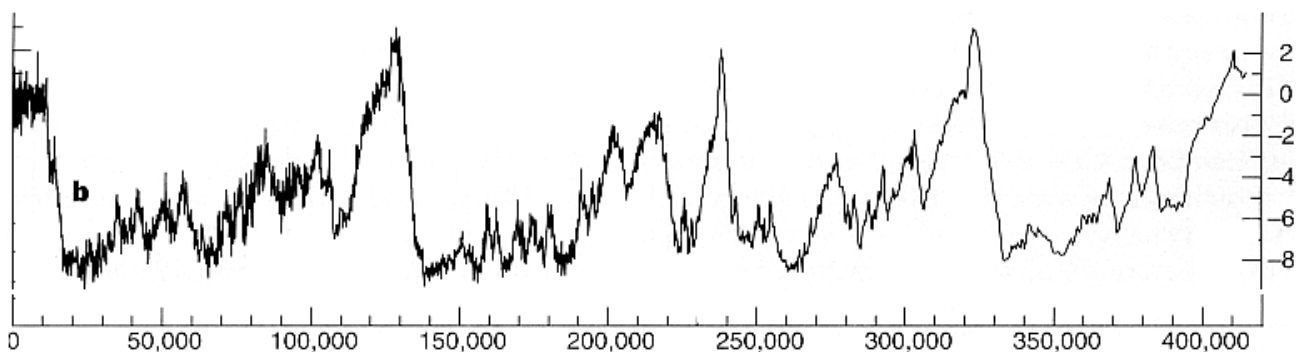
Notez vos observations



2.1. La variation des paramètres orbitaux

Le climat de la Terre varie au cours de l'année et engendre les saisons comme nous l'avons vu précédemment, mais il existe aussi des variations dont les périodes sont bien plus longues comme l'illustre le schéma suivant.

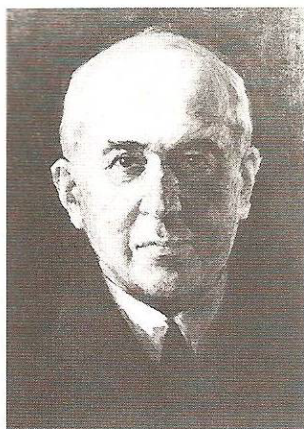
Document 1 - Evolution, sur les 400.000 dernières années, de la température moyenne en Antarctique



a) Décrivez les variations de la température depuis 400 000 ans.

b) Où nous situons-nous aujourd'hui dans l'échelle de température ? Que laisse présager le graphique ?

Document 2 – La théorie de M. Milankovitch



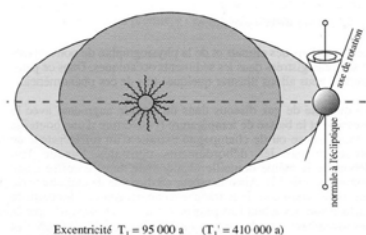
Dès le début du XX^e siècle, un mathématicien serbe, Milutin Milankovitch propose une explication à l'alternance, au cours du Quaternaire, de périodes glaciaires et de périodes plus chaudes. Il base sa théorie sur une observation simple : les saisons, qui sont elles-mêmes des variations périodiques du climat, sont directement liées aux caractéristiques du mouvement de rotation de la Terre autour du Soleil.

Or, les astronomes savent que les paramètres orbitaux de la Terre ne sont pas constants car l'attraction exercée par la Lune et les pla-

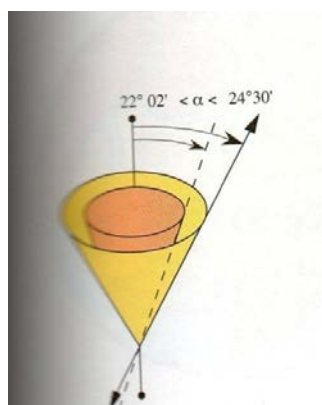
nètes proches modifie peu à peu l'orbite terrestre. Pendant près de trente ans, Milankovitch entreprend de calculer l'effet de ces différentes attractions. Il réussit à mettre en évidence trois types de perturbations périodiques des paramètres orbitaux de la Terre : l'orbite est plus ou moins elliptique, l'axe de rotation de la Terre est plus ou moins incliné, cet axe enfin décrit au cours du temps une surface conique. Ces perturbations cycliques sont toutes susceptibles de faire varier le flux de chaleur reçu à la surface de la planète.

- a) Quelle est d'après Milankovitch l'origine de ces variations périodiques du climat ?
- b) Pourquoi les paramètres orbitaux de la Terre varient-ils ?
- c) Sur le schéma de la page suivante sont représentées les variations des différents paramètres de cette orbite depuis 250 000 ans. Identifiez ces paramètres et décrivez leur variation au cours du temps.

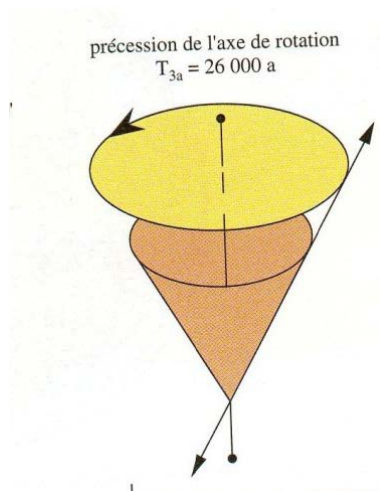
A.



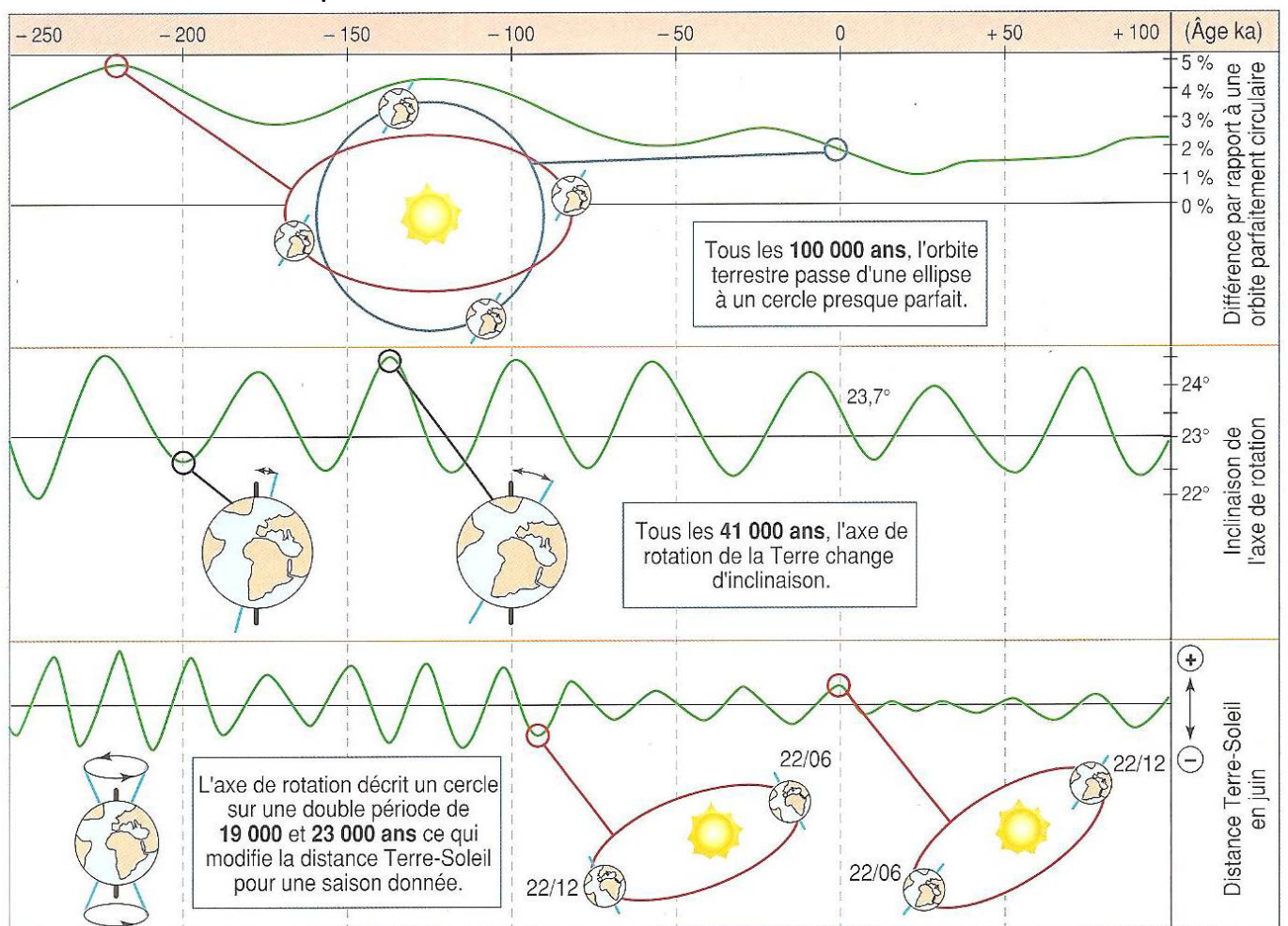
B.



C.



Document 3 – La variation des paramètres orbitaux de la Terre

ka = 10³ années

Document 4 - Une limite à l'effet astronomique

Tous les 100 000 ans, la Terre entre dans une nouvelle phase de glaciation. Sa température moyenne chute de plusieurs degrés Celsius. Avec le même rythme, l'orbite terrestre passe d'une ellipse légèrement aplatie à un cercle presque parfait. Il s'ensuit une diminution du flux solaire reçu par la terre. Cependant un calcul simple montre que cela n'entraîne qu'une baisse peu sensible de la température (quelques dixièmes de °C). S'ajoutent à cela les variations d'ensoleillement qui résultent des oscillations périodiques de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre. Celles-ci modifient la répartition saisonnière de l'ensoleillement mais n'ont globalement sur une année aucun effet. Elles modulent par contre l'intensité lumineuse reçue en été sous les hautes latitudes ce qui influe sur le maintien ou la fonte des neiges.

S. Joussaume, « Climat d'hier à demain », CNRS Editions

1. Sur les trois variations des paramètres orbitaux, laquelle fait varier la quantité d'énergie reçue par la Terre en une année ?

La variation de l'excentricité de l'ellipse

2. Les variations observées dans ce cas sont-elles suffisantes pour expliquer les glaciations ?

Non car cela n'entraîne qu'une baisse de quelques dixièmes de degré

3. Que suggère l'auteur pour expliquer l'origine des cycles glaciaires et interglaciaires ou l'entrée de la Terre dans une période glaciaire ?

Les variations d'ensoleillement qui résultent des oscillations périodiques de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre modifient la répartition saisonnière de l'ensoleillement. Elles modulent par contre l'intensité lumineuse reçue en été sous les hautes latitudes ce qui influe sur le maintien ou la fonte des neiges.

Les variations de l'inclinaison (période de 41 000 ans) et les précessions orbitales (période de 19 000 et 23 000 ans) affectent de manière significative la quantité de rayonnement reçue pour une saison donnée.

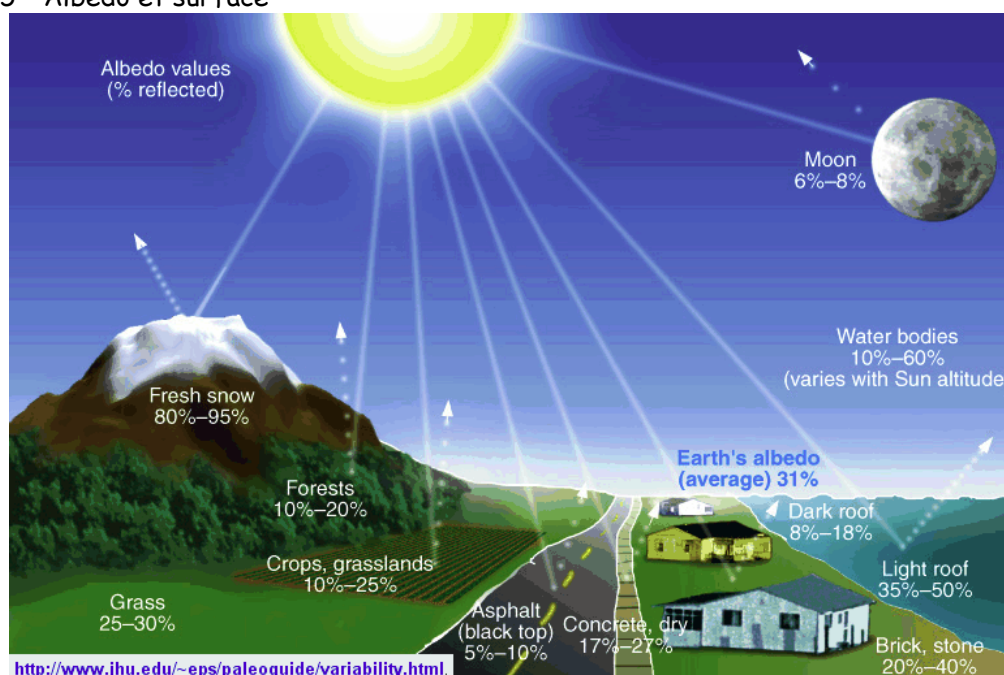
Les seules variations d'ensoleillement ne suffisent pas à expliquer l'amplitude des variations de température observées. Il existe d'autres facteurs qui vont amplifier les modifications d'ensoleillement induites par la variation des paramètres orbitaux

2.2. L'amplification des facteurs astronomiques

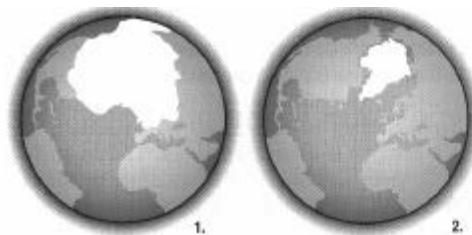
De nombreuses rétroactions vont amplifier l'effet astronomique au début et à la fin d'une période glaciaire.

2.2.1. L'influence de l'albedo

Doc 5 - Albedo et surface



Surfaces	Albédo (%)	Surfaces	Albédo (%)
Surface d'un lac	2,4	Surface de la mer	5 à 15
Neige fraîche	75 à 95	Sol sombre	5 à 15
Neige tassée	40 à 70	Sable léger et sec	25 à 45
Glace	30 à 40	Forêt de conifères	5 à 15
		Cultures	15 à 25



Doc 3b.

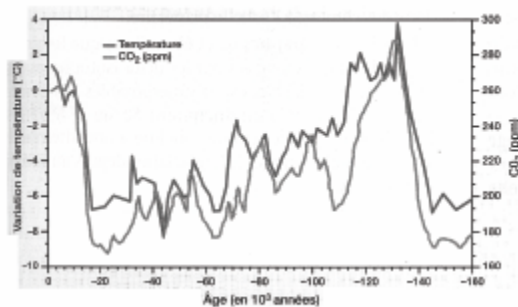
1 : la Terre, 20 000 ans auparavant.
2 : la Terre actuellement.

Lorsqu'un objet est éclairé par le rayonnement solaire (rayonnement incident), une partie de ce rayonnement est absorbée et une partie est réfléchi. Le rapport entre la quantité d'énergie réfléchi et la quantité d'énergie incidente correspond à l'albédo, qui varie de 0 à 100% selon la surface considérée (mesure par des radiomètres embarqués à bord des satellites).

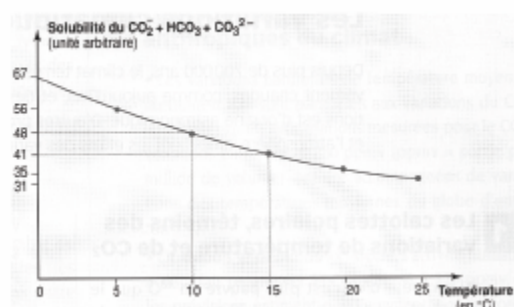
2.2.2. Le rôle de l'effet de serre

On observe une corrélation entre les variations de température et celles de la quantité de CO₂ : dans certains cas l'augmentation de CO₂ précède celle de température, dans d'autres cas c'est l'inverse.

Doc 6 - La relation entre CO₂ et température



Doc4a. Évolution au cours du dernier cycle glaciaire de la température de l'air et de la teneur en CO₂ mesurées à Vostok (Antarctique). Les températures de l'air ont été déduites des données isotopiques de la glace ($\delta^{18}\text{O}$) et les concentrations en CO₂ ont été mesurées dans les bulles d'air piégées dans la glace.



Doc4b. La solubilité du CO₂ « total » (CO₂ + HCO₃⁻ + CO₃²⁻). La courbe donne la variation du CO₂ total dissout (en équilibre avec une atmosphère contenant environ 0,03% de CO₂). On suppose que cette solubilité est la même sur toute la profondeur de l'océan. On rappelle que l'océan contient $140 \cdot 10^{15}$ kg de CO₂.

Documents. 1 © Bordas TS 2002 (modifié) ; 3a © Belin TS 2002 ; 2, 3b, 4a © Hatier TS 2002 ; 4b © Nathan TS 2002.

Animation : <http://www.biologieenflash.net/animation.php?ref=geo-0068-2>

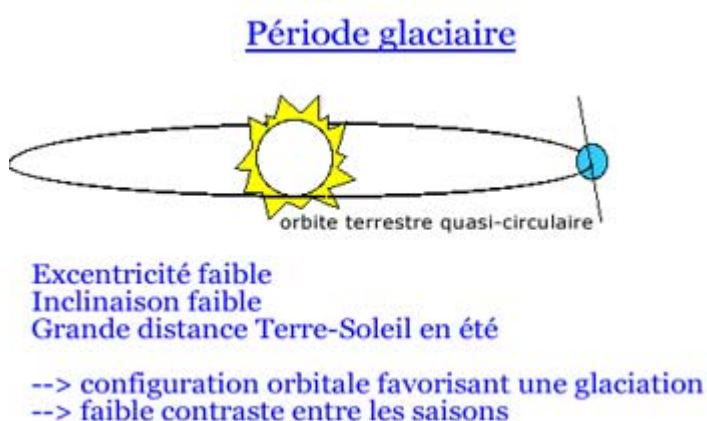
Des mécanismes amplificateurs

- a. Expliquer la relation entre ensoleillement et formation de calottes glaciaires
- b. Comment l'effet astronomique est-il amplifié par l'albédo lors des périodes de faible insolation ?
- c. Expliquez la relation entre CO₂ et température.
 - a. Quand la T° augmente, la solubilité du CO₂ dans l'eau diminue et il y a davantage de CO₂ dans l'air
 - b. Le CO₂ est un gaz à effet de serre, il piège le rayonnement infrarouge émis par la Terre
- d. Comment l'effet astronomique est-il amplifié par le CO₂ lors des périodes de forte insolation ? (+ schéma)

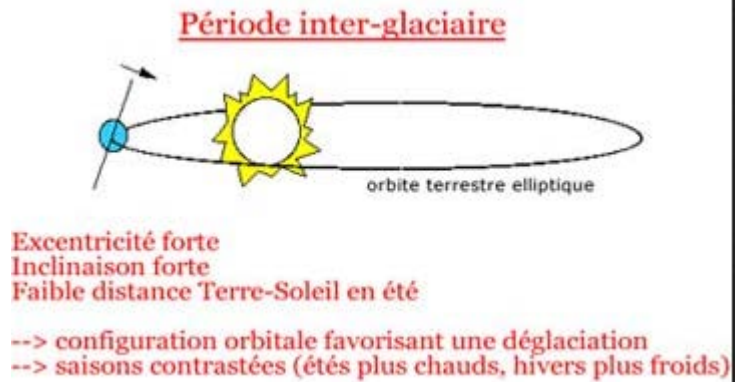
Lors des périodes de forte insolation, la température des océans augmente ce qui entraîne une diminution de la solubilité dans l'eau du CO₂ et donc une augmentation du CO₂ dans l'atmosphère. (= dégazage des océans) . Comme le CO₂ est un gaz à effet de serre, la Température de l'air va augmenter ce qui amplifie l'effet astronomique

Les conditions favorables à l'apparition d'une période froide ou d'une période chaude

Deux cas extrêmes, parmi de nombreuses configurations possibles, sont représentés :

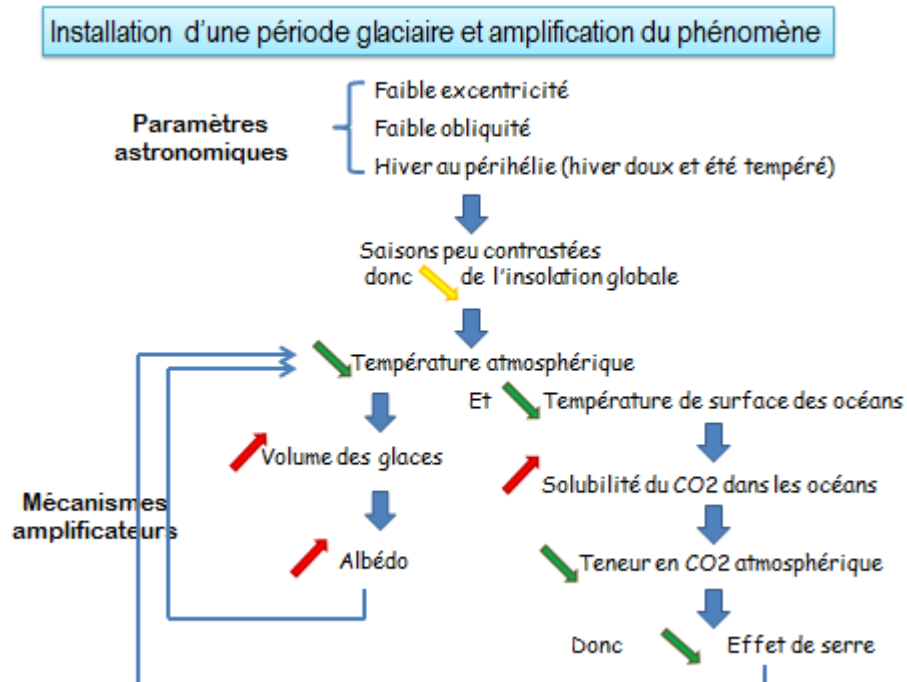


Pour la période glaciaire, l'orbite de la Terre est quasi circulaire (excentricité faible) et on a choisi d'y ajouter une faible inclinaison et une grande distance Terre-Soleil en été. Il en résulte un faible contraste saisonnier et une configuration favorable à l'apparition d'une période glaciaire.



Pour l'apparition d'une période interglaciaire, une configuration orbitale extrême est de considérer une forte excentricité (l'orbite de la Terre est une ellipse), une inclinaison forte et une faible distance Terre-Soleil en été. Il en résulterait des saisons très contrastées.

2.3. Réaliser un schéma de synthèse illustrant l'apparition d'une glaciation et l'amplification du phénomène



C. ETUDE DE DOCUMENTS N°4 – Le rôle du Soleil

- Quelle est la théorie critiquée dans cet article ?
- Quels arguments invoque l'auteur dans sa critique ?
- A quelle autre théorie s'oppose-t-elle ?
- Quelles sont les arguments en faveur de cette autre théorie ?

Doc.1

Le cri dans le désert



D'après le Danois Henrik Svensmark, les rayons cosmiques causent le changement climatique

La théorie des gaz à effet de serre ne satisfait pas tous les scientifiques. Selon certains, le lien causal entre les concentrations de CO_2 atmosphériques et le réchauffement de la terre n'est pas vraiment prouvé. Quel effet était présent en premier lieu ? Est-ce l'augmentation des gaz à effet de serre qui fait augmenter la température ou est-ce la température plus élevée qui fait augmen-

ter les gaz atmosphériques ? La solubilité du CO_2 dans l'eau diminue quand la température monte dès lors la concentration du CO_2 atmosphérique augmente. Selon ce scénario, la concentration du CO_2 plus élevée en est plutôt le résultat et non la cause. Quelle est l'origine de ce réchauffement ?

Henrik Svensmark de l'institut Danois de la Recherche Spatiale, est un critique éminent des gaz à effet de serre et il explique : « le soleil capricieux est l'acteur principal du changement climatique. Il y a une relation évidente entre l'activité solaire – mesurée aux taches solaires présentes – et la hausse de la température terrestre ».

Expliquer cette relation lui prit un certain temps, mais il défend maintenant une théorie – réprouvée au départ – qualifiée petit à petit par les climatologues comme « intéressante » et « elle mérite qu'on s'y attarde ».

Toujours selon Svensmark, les rayons magnétiques solaires forment un bouclier autour de notre système solaire. Nombreux

rayons cosmiques sont dès lors déviés. Ces rayons cosmiques – des protons et noyaux atomiques hautement énergétiques – filent à une vitesse approchant celle de la lumière à travers notre galaxie. La partie des rayons cosmiques qui pénètre cependant notre atmosphère percute dans les couches atmosphériques plus basses les atomes d'air neutre et les transforment en ions chargés. Ces ions ont tendance à conglomerer et forment ainsi des aérosols, principaux éléments des nuages épais et de basse altitude. Ces nuages réfléchissent la lumière du soleil, ainsi moins de rayons solaires atteignent la surface terrestre.

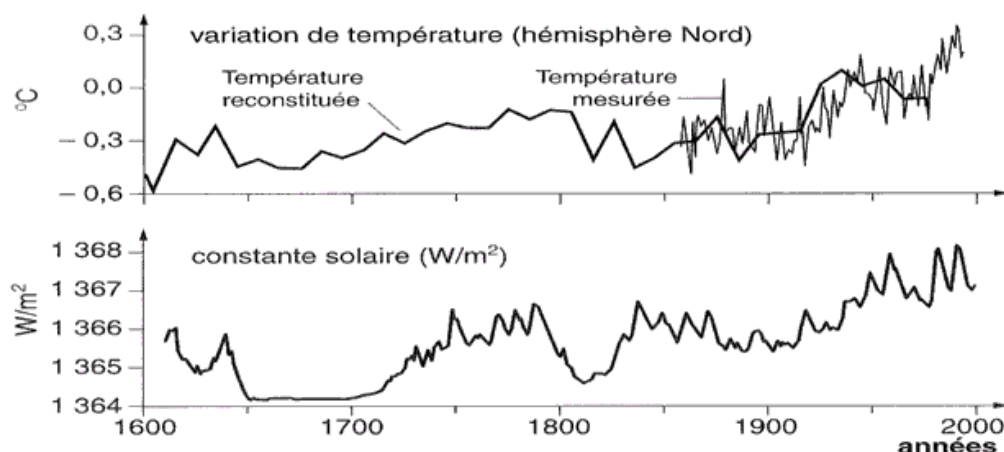
Le raisonnement de Svensmark dit : une activité solaire accrue mène à un champ magnétique plus fort, à moins de pénétration des rayons cosmiques, à moins de formation d'aérosols, à moins de nuages en basse altitude et à plus de rayons solaires atteignant la terre. En conclusion, la terre réchauffe.

En attendant, la théorie danoise est soutenue par Michael Lockwood du Laboratoire Rutherford Appleton en Angleterre, des chiffres indéniables à l'appui. Le champ magnétique solaire, d'après lui, augmenta avec un facteur 2,5 depuis 1901. Rien qu'au cours des 40 années écoulées, l'intensité du champ augmenta de 40 %.

« Si ma théorie s'avère exacte » dit Svensmark « nous devons revoir notre point de vue au sujet du climat. Il se pourrait que les gaz à effet de serre influencent les changements climatiques actuels, mais nous ne connaissons pas l'ampleur de cette influence. Il se pourrait que l'effet de l'activité solaire soit plus grand. En attendant la théorie des gaz à effet de serre a absorbé beaucoup d'énergie et d'argent. Beaucoup de scientifiques et responsables politiques craignent que l'opinion publique pense que tous ces efforts étaient pour rien, puis qu'un autre facteur provoque un changement climatique. »

Source: Henrik Svensmark

Doc.2

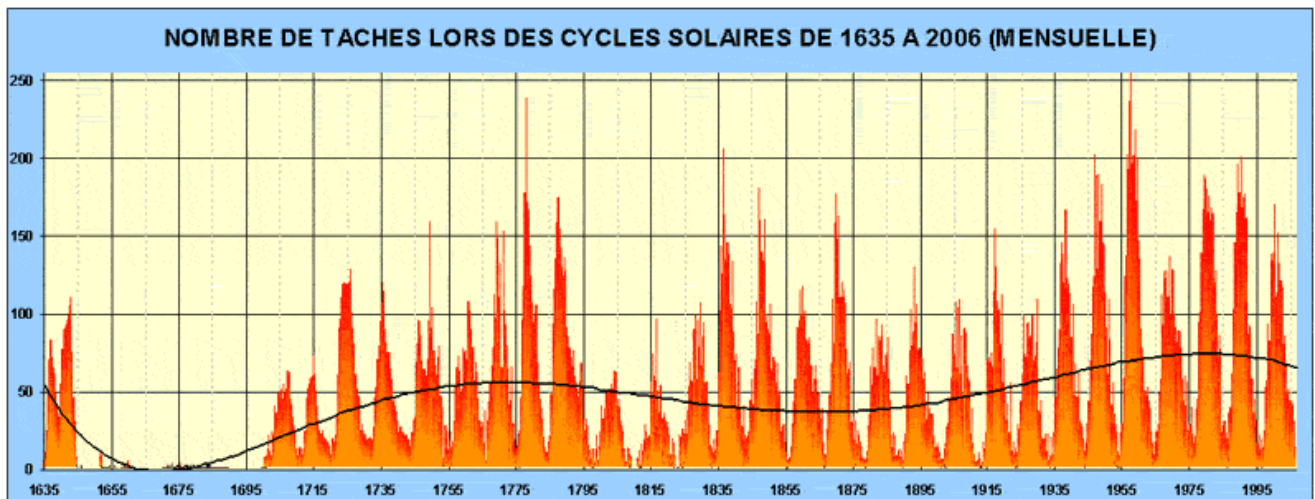


D. COURS – Autres facteurs à l'origine de variations climatiques

L'activité du Soleil

L'énergie que nous envoie le Soleil peut varier. A la naissance de la Terre, cette énergie était 30% inférieure à sa valeur actuelle. Actuellement on mesure l'activité du Soleil par le nombre de taches à sa surface.

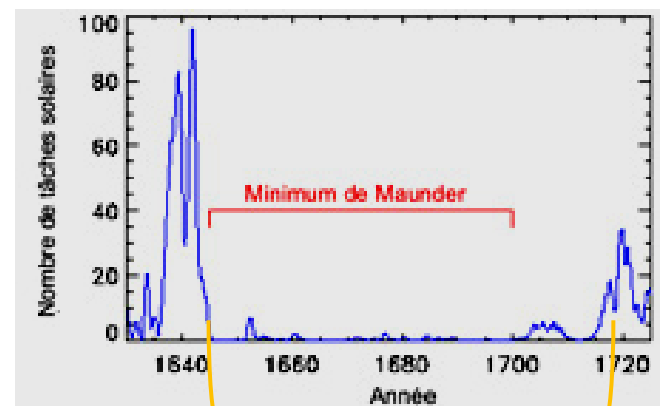
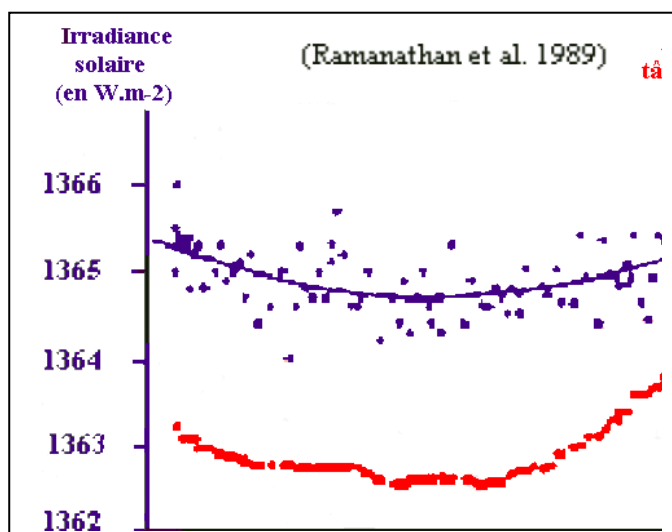
Présence de cycles : le nombre de taches varie et atteint un maximum tous les 11 ans. Au cours d'un cycle, le bilan radiatif de la Terre peut augmenter jusqu'à $0,2\text{W/m}^2$ (en comparaison, les facteurs anthropiques font augmenter le bilan radiatif de $0,35\text{W/m}^2$ par décennies).



Lien activité solaire et rayons cosmiques : les périodes de forte activité du Soleil, s'accompagnent d'éjection importante de matière coronale (plasma) = le vent solaire. Ce vent solaire va faire dévier les rayons cosmiques qui viennent de l'espace et qui lorsqu'ils pénètrent le champ magnétique terrestre (magnétosphère) sont responsables de la formation de nuages dans la troposphère. Ces nuages réfléchissent les rayons du Soleil, ce qui va provoquer une diminution de la température.

Le graphique ci-dessous illustre la relation entre l'activité du soleil, mesurée par le nombre de taches solaires, et la valeur en W/m^2 d'énergie reçue par la Terre

Relation entre la constante solaire de 1984 à 1988 et le nombre de taches solaires



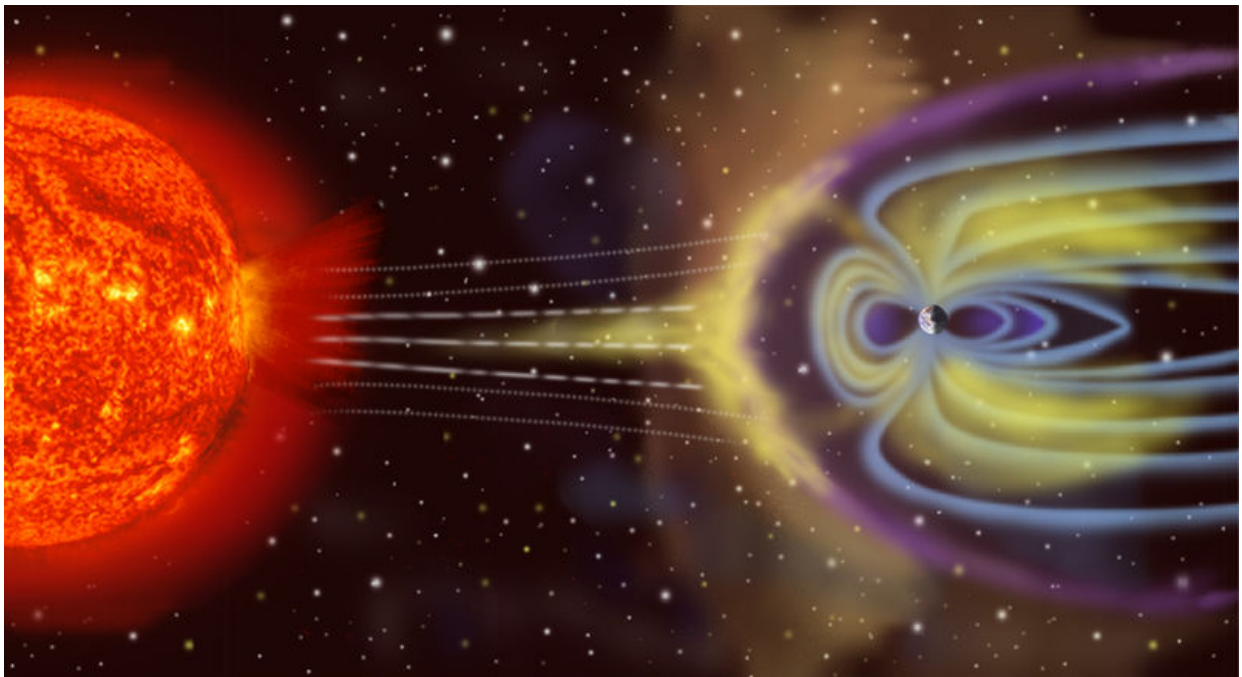
Le petit âge glaciaire

Un exemple : le Petit Age Glaciaire

Pendant la période préindustrielle, le Petit Age glaciaire correspond à un refroidissement de l'Europe au XVII et XVIII^{ème} siècle. On a observé une corrélation entre un minimum de l'activité solaire (*minimum de Maunder (1645-1715)*) et ce refroidissement durant cette même période. Les températures en Europe et en Amérique du Nord étaient plus basses de 0.5 à 1°C.

<http://www.ens-lyon.fr/Planet-Terre/Infosciences/Histoire/Paleoclimats/Articles/soleil-climat.html>

La magnétosphère agit comme un écran protecteur en s'opposant au vent solaire. En contrepartie, le vent solaire déforme le spectre magnétique de la Terre en lui donnant une forme de comète.



Vue artistique de la magnétosphère déviant le vent solaire (l'échelle n'est pas respectée). Wikipédia

La magnétosphère terrestre est située au-delà de l'ionosphère, c'est-à-dire au-dessus de 800 à 1 000 km d'altitude. La magnétosphère agit comme un écran et protège la surface terrestre des excès du vent solaire, nocif pour les poumons. Elle s'oppose au vent solaire comme une culée de pont dévie le courant d'une rivière. En contrepartie le vent solaire déforme le spectre magnétique de la Terre en lui donnant une forme de comète, comme le montre schématiquement la figure ci-dessus.

Les impacts météoritiques

Un astéroïde pulvérisé et vaporisé entraîne dans l'atmosphère une masse de matière terrestre équivalente à plusieurs dizaines de fois sa propre masse. Cette poussière, s'ajoutant à celle des incendies consécutifs au dégagement de chaleur à l'endroit de l'impact, reste en suspension pendant des mois dans l'atmosphère bloquant ainsi la lumière solaire et donc la photosynthèse. Il s'installe alors un long hiver appelé hiver météoritique qui serait semblable à celui qui apparaîtrait après une catastrophe nucléaire.

Voir aussi l'hypothèse de Vladimir Shaidurov, expert russe et selon lequel le réchauffement climatique récent serait dû à l'impact de la météorite Tungus, qui a frappé la Terre le 30 juin 1908. Explication sur <http://climat-sceptique.over-blog.com/article-2330208.html>

4. Les changements climatiques au cours des temps géologiques

A. Étude de cas – Les changements climatique au Sahara

La théorie de la tectonique des plaques permet de comprendre certains changements climatiques au cours des temps géologiques et est illustrée ci-dessous par l'exemple du Sahara

A. Lisez attentivement le document 1

a) Quels sont les formes de relief originales datant de l'Ordovicien et les éléments qui ont façonné ces reliefs ?

- Roches striées par les glaces
- Vallées profondes encadrées de versants très raides façonnées par les glaciers
- Roches moutonnées raclées par les inlandsis

b) A quelle époque et sous quel climat des paysages semblables ont-ils été façonnés en Ecosse, en Scandinavie et au Canada ?

Durant l'ère Quaternaire : climat très froid, favorable à la formation de glaciers

c) D'après ces similitudes, quel type de climat régnait au Sahara il y a 435 millions d'années

Le Sahara était soumis à un climat de type polaire ;

d) Quels sont les deux paléoclimats que le Sahara a connus au Crétacé supérieur et à l'Oligocène ?

il y a 40 millions d'années, pendant l'Oligocène, régnait un climat tropical à saisons contrastées

e) D'après les observations du document 1, que peut-on conclure sur l'évolution du climat du Sahara ?

Le Sahara a connu plusieurs climats de type polaire au type tropical

B. Le document 2 propose une explication à ces phénomènes. Qu'observez-vous à propos de la position du Sahara ?

- Il y a 435 millions d'années : latitudes moyennes dans l'hémisphère
- Il y a 100 millions d'années : position équatoriale
- Il y a 30 millions d'années : au niveau du Tropique du Cancer (hémisphère nord)

C. Expliquez brièvement l'apport de la théorie de la tectonique des plaques pour comprendre ces changements

Au cours de l'échelle de temps géologique, les mouvements des plaques sont responsables du changement dans la configuration de la surface terrestre. Les plaques entraînent avec elles les continents, modifiant à très long terme leur latitude.

Document 1 - Trois grandes phases climatiques au Sahara

- **Ere primaire** (fin de l'Ordovicien : 435 millions d'années)

Au cours des diverses missions à travers le Sahara (en Mauritanie ou au Tassili), nous avons trouvé de nombreuses roches striées dans les bancs de grès datant de l'Ordovicien, preuve évidente que les glaces avaient recouvert la totalité de la région à cette époque. Parallèlement, nous avons reconstitué des formes de vallées profondes, à fond plat, encadrées par des versants très raides, semblables aux vallées façonnées par les grands glaciers du Quaternaire en Ecosse ou en Scandinavie. Au Sud du Hoggar, les formes étaient typiquement celles des roches moutonnées du Canada, là où les inlandsis (énormes accumulations de glace de plusieurs milliers de mètres d'épaisseur), qui ont recouvert le Canada au cours des périodes de climats glaciaires du Quaternaire, ont raclé les roches qu'ils recouvraient.

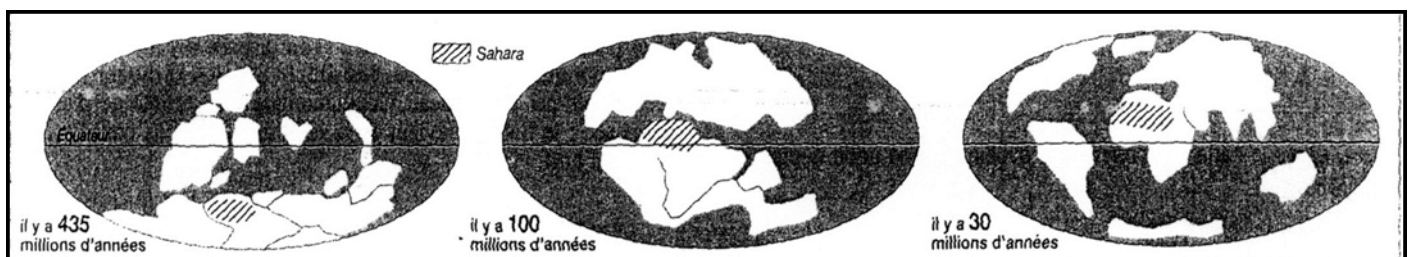
- **Fin de l'ère secondaire** (Crétacé supérieur : 100 millions d'années)

L'altération des roches et la formation de bauxite sont la preuve de climats chauds et humides résultant de la position du Sahara. (0 à 15° de latitude Nord). Ces climats pouvaient permettre l'existence d'une forêt de type équatorial.

- **Ere Tertiaire** (Oligocène : 40 à 25 millions d'années)

Des dépôts de bois fossiles attestent d'un climat tropical à saisons alternativement sèches et humides, comparable à celui de la savane boisée actuelle.

D'après P. Rognon, *Biographie d'un désert*, Plon – 1989

Document 2 – La dérive des continents

D. À l'aide des documents, réalise et complète un tableau de synthèse montrant toutes les grandes phases climatiques que le Sahara a connues en précisant les ères, époques et périodes concernées. Situe ces événements dans le temps et note les climats ou caractéristiques climatiques associés.

Ères géologiques	Périodes étudiées	Dates (millions d'années)	Climats
Primaire	Ordovicien	435	Froids
Secondaire	Crétacé	100	Chauds et humides
Tertiaire	Oligocène	40 à 25	Tropical à saisons contrastées (sèche et humide)

B. Les causes des variations climatiques à l'échelle géologique

La tectonique des plaques : au cours de l'échelle de temps géologique, les mouvements des plaques sont responsables du changement dans la configuration de la surface terrestre. Les plaques entraînent avec elles les continents, modifiant à très long terme leur latitude.

Le climat en un endroit dépend en partie de sa latitude, de sa distance à la mer, des courants marins et de son altitude. Ces 4 facteurs peuvent être modifiés par la tectonique des plaques qui est responsable de la dérive des continents, de la formation des chaînes de montagne et du volcanisme.

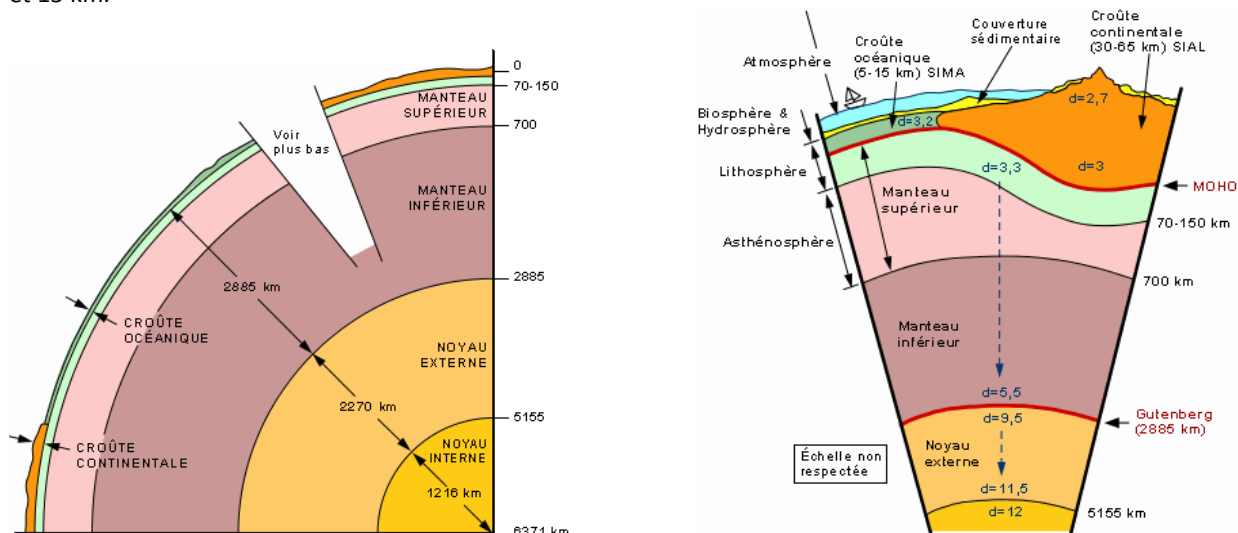
Quel est le moteur de la tectonique des plaques ?

L'écorce terrestre n'est pas "homogène" elle est constituée de plaques qui "flottent" à la surface et qui "dérivent" en se "frottant" les unes contre les autres. Le "moteur" qui est à l'origine de ces mouvements est le phénomène de convection qui se produit à l'intérieur du manteau terrestre. L'intérieur de la Terre est composé de roches faiblement radioactives dont la désintégration produit de la chaleur. Certaines zones du manteau deviennent donc chaudes, et se mettent à monter vers la surface sous l'effet de la force d'Archimède (+ chaud = - dense => montée). Une fois refroidie en surface (ce qui évacue la chaleur produite par l'intérieur de la Terre), la matière replonge vers les profondeurs (+ froid = + dense => descente). Le système s'organise de telle façon que des zones "stables" apparaissent : à certains endroits la matière monte (ce sont les dorsales), à d'autres endroits elle redescend (ce sont les zones de subduction). En surface, la matière est simplement translatée des dorsales vers les subductions. Sous l'effet du refroidissement, cette matière devient cassante, c'est à dire qu'elle constitue des grandes plaques d'une certaine épaisseur (entre 10 et 100 km). C'est ce mouvement, appelé tectonique des plaques qui donne lieu à la dérive des continents.

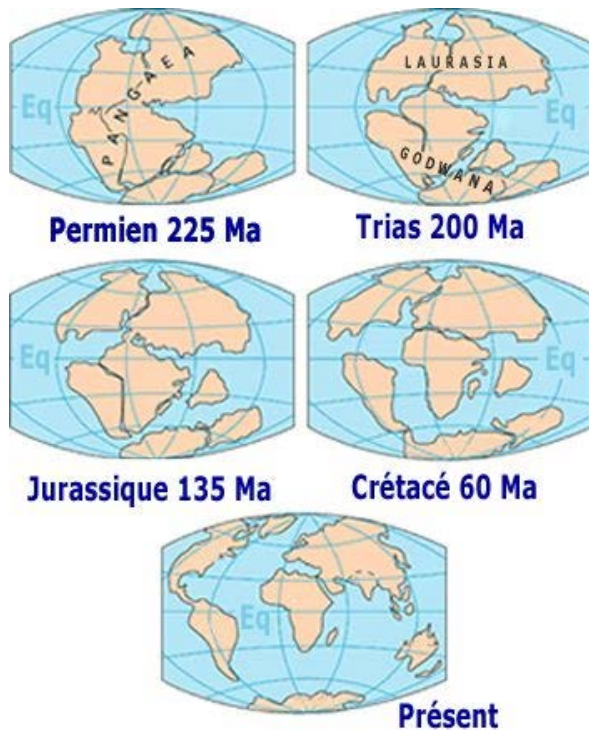
Notre planète est constituée d'enveloppes concentriques séparées les unes des autres par des surfaces de discontinuité.

Du centre de la Terre à sa surface, on distingue successivement

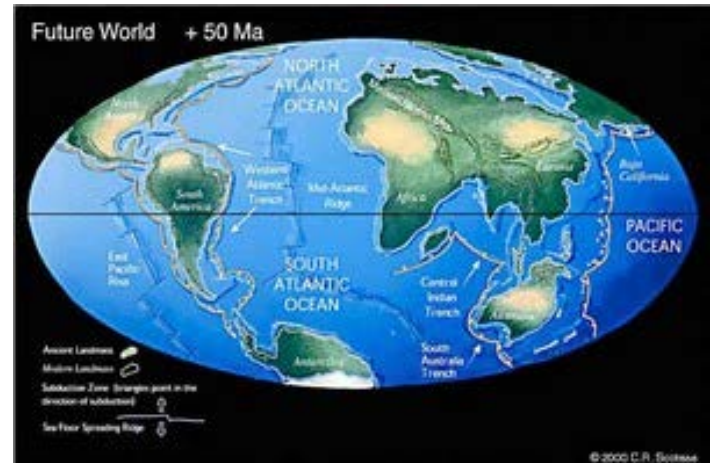
- le noyau interne (solide)
- le noyau externe fluide composé essentiellement de nickel et de fer et de sulfures
- le manteau inférieur
- le manteau supérieur peu rigide composé essentiellement de silicium et de magnésium
- la croûte terrestre (en granite) et la croûte océanique (en basalte), l'écorce terrestre est d'épaisseur et de nature variables : la croûte terrestre est épaisse de 30 à 65 km tandis que la croûte océanique a une épaisseur qui varie entre 5 et 15 km.



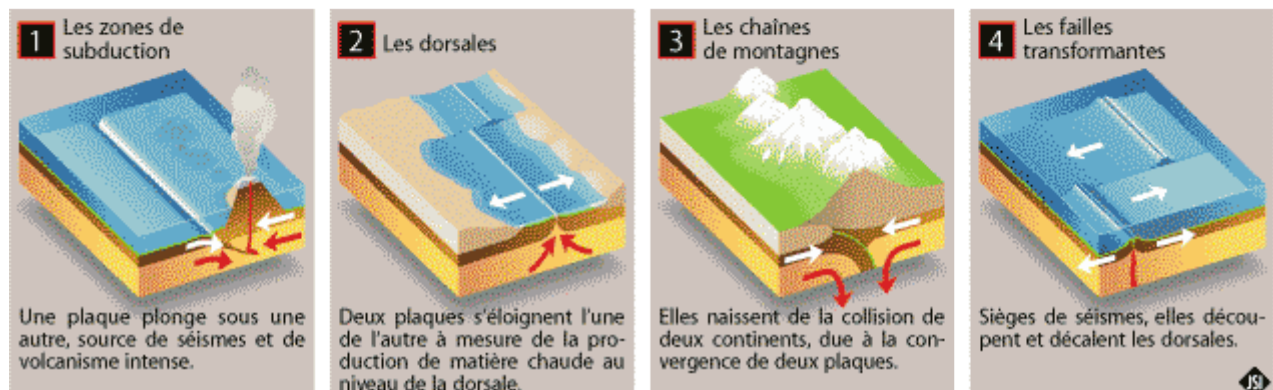
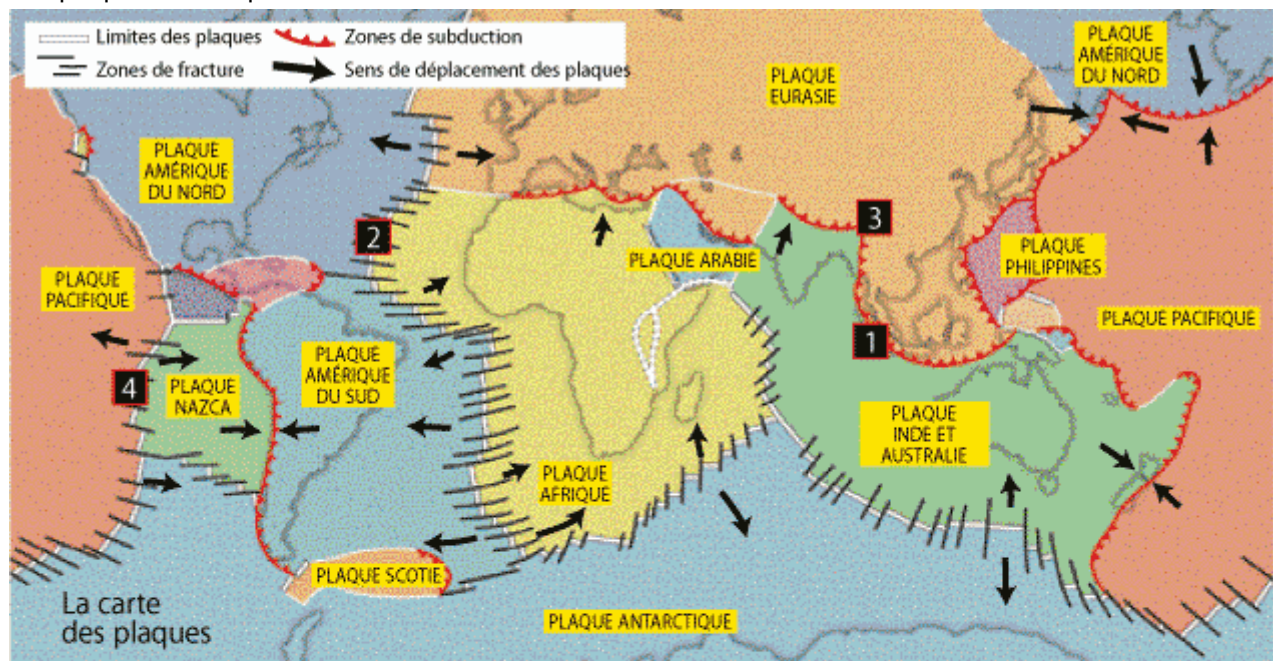
La dérive des continents



La Terre dans 50 millions d'années



Les plaques tectoniques



5. Notions de climatologie : pour comprendre le fonctionnement du système climatique

1. Qu'est-ce que le climat ?

Origine du mot climat

L'origine étymologique du mot climat est grecque et vient du mot « klima » qui signifie « inclinaison » (du soleil par rapport au zénith). Les grecs étaient de grands voyageurs et de très bons observateurs. Ils ont constaté que les rayons du Soleil à midi n'avaient pas le même angle sur l'horizon au cours d'une journée. De même, à certains moments précis de l'année, comme les solstices, les rayons montaient plus ou moins haut dans le ciel suivant la région dans laquelle on se trouvait.

Le climat de la Terre est entièrement gouverné par l'énergie solaire : il dépend donc à la fois de la puissance émise par le Soleil et de la position de la Terre par rapport à celui-ci.

2. Les zones climatiques

Le climat de la Terre est entièrement gouverné par l'énergie solaire – Cette énergie est inégalement répartie à la surface de la planète.

a. La répartition spatiale des températures atmosphériques à la surface de la Terre

Tableau : bilan au sommet de l'atmosphère (Wm²)

Latitude	T° en surface	Rayonnement solaire reçu	Rayonnement solaire perdu	Rayonnement absorbé	Infrarouge émis	total
70-90	-12.9	180	-110	70	-170	-100
50-70	-4.3	240	-110	130	-195	-65
30-50	+13.9	240	-110	130	-195	-10
10-30	+24.4	395	-100	295	-260	35
0-10	+26.2	415	-105	310	-255	55
globe	+10	342	-106	236	-236	0

Introduction à la Climatologie – A. HUFTY – Deboeck Université – 2001

Analyse du tableau :

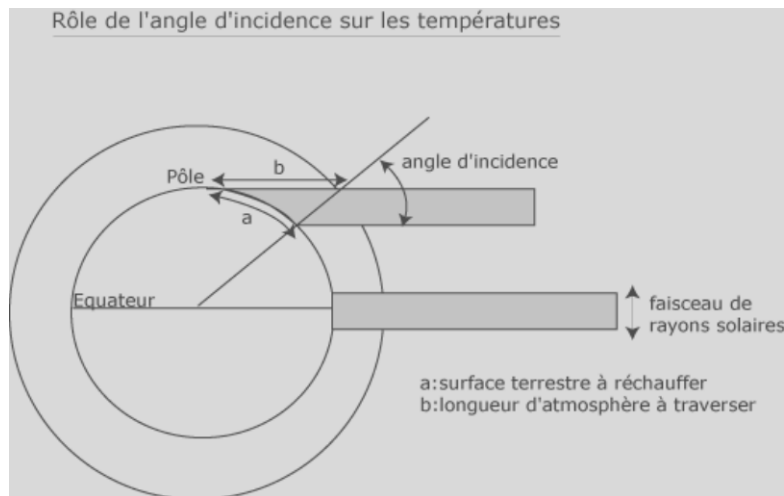
Bilan nul :

Bilan excédentaire :

Bilan déficitaire :

Remarque (+atlas pl.....): Le système se déplace selon

Sachant que tout point de la Terre est à égale distance du Soleil, comment expliquer que la température varie dans l'espace?



Explication : les inégalités de répartition du flux solaire à la surface du globe

.....

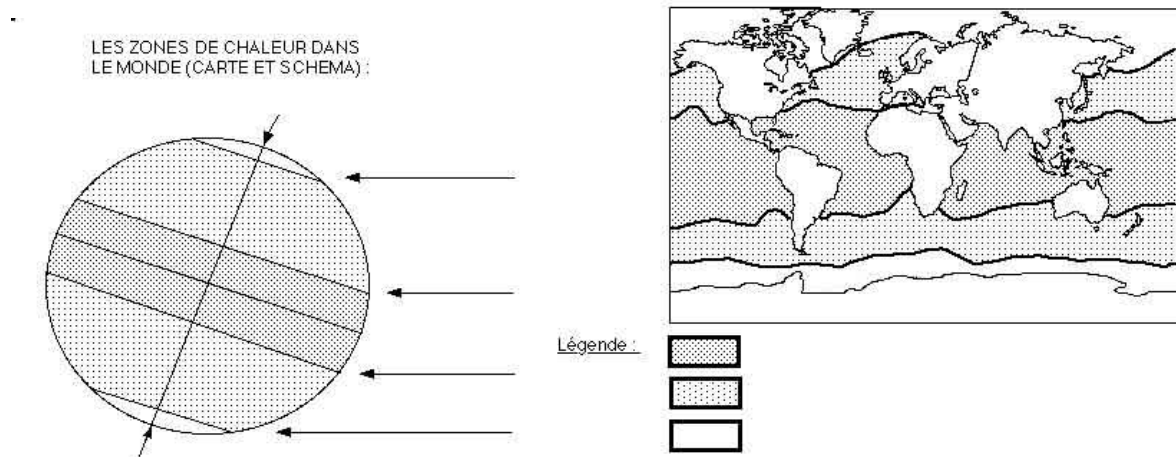
.....

.....

.....

.....

Conséquence : Le globe est divisé en zones de températures (voir docs 1 et 2)



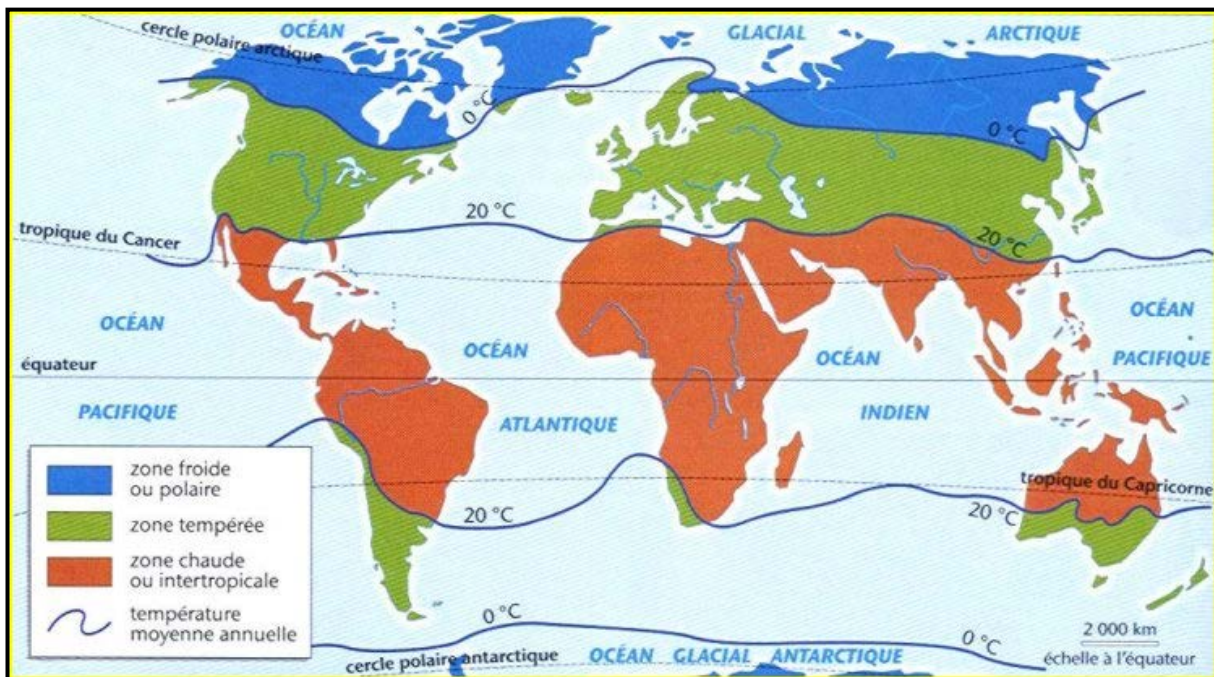
A partir de l'Atlas planche ... carte

Définitions

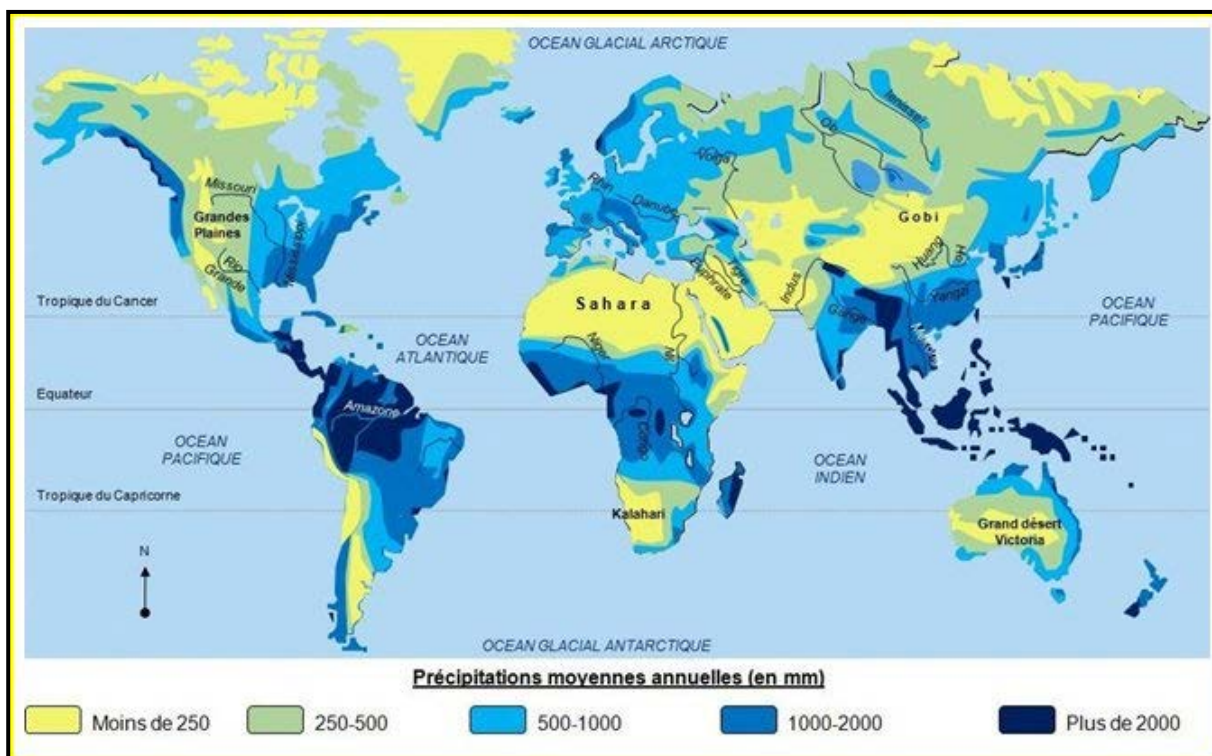
- Un isotherme
- Température moyenne annuelle
- Amplitude thermique

Les climats zonaux

DOC. 1 : Les isothermes moyens annuels et les 5 zones climatiques



DOC. 2 : Les précipitations totales moyennes annuelles



➔ Sur de vastes étendues orientées Est-Ouest (bandes horizontales), les températures et les précipitations présentent des caractéristiques communes : on parle de climats zonaux.

Observations

- a. Comment varient les températures à la surface de la Terre ?
- b. Où l'amplitude annuelle est-elle maximale
- c. Comparez les zones climatiques sur le schéma (a) et sur la carte (b), que constatez-vous ?

LES CLIMATS AZONAUX - EXERCICE

À partir des données climatiques reprises dans tableau suivant :

- Localise, par un point et une lettre, les 15 stations météorologiques sur la carte muette ;
- Sur une feuille annexe, compare les séries de données climatiques reprises ci-dessous et cherche une explication aux constations

Série 1 : Shannon, Bruxelles, Berlin et Orenburg ;

Série 2 : Beresovo, Bruxelles et Athènes ;

Série 3 : Guadalajara et Nouakchott ;

Série 4 : Ottawa et Brest ;

Série 5 : New York et Chicago ;

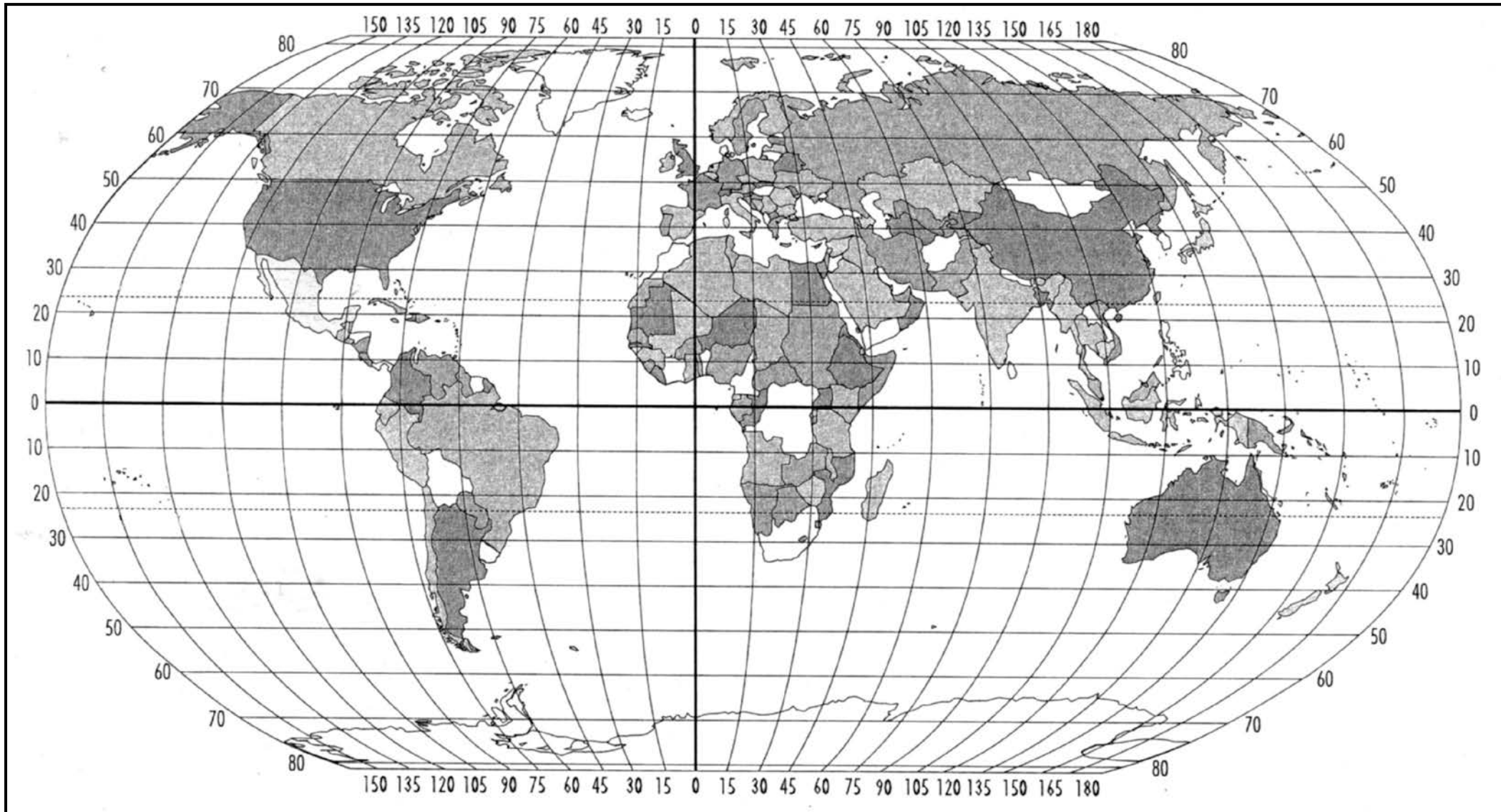
Série 6 : Quito, Nairobi et Libreville.

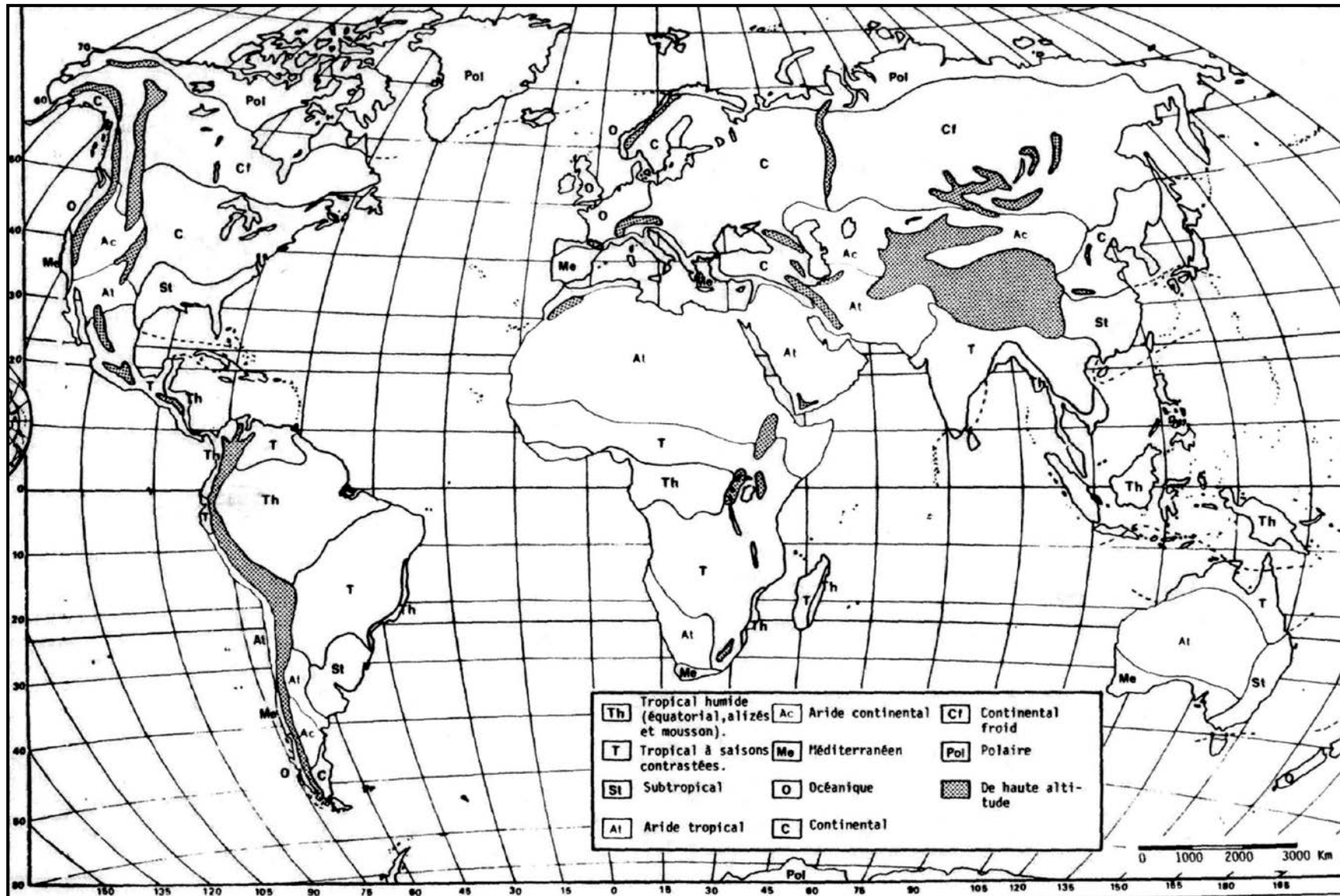
Comme le montre la carte des climats du monde de la page 27, une multitude de types de climats caractérise les 5 zones bioclimatiques. En effet, certains facteurs géographiques modifient, à une échelle plus petite, le schéma zonal des climats.

Identifiez ces différents facteurs :

Données climatiques (Source : www.ecoles.cfwb.be/icesquaregnon/climats)

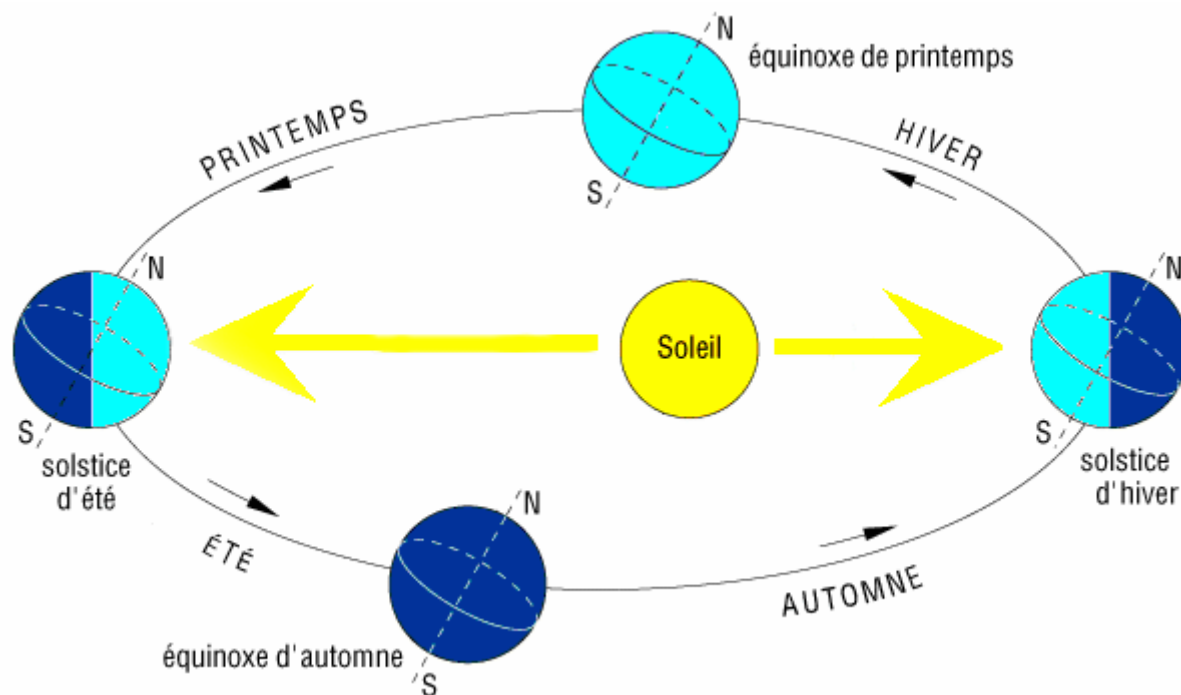
<i>Villes</i>	<i>Lat.</i>	<i>Longitude</i>	<i>Altitude</i>	<i>Distance approx. de l'océan</i>	<i>t° moyenne mois le plus froid</i>	<i>t° moyenne mois le plus chaud</i>	<i>t° moyenne annuelle</i>	<i>Amplitude thermique</i>	<i>Précipitations totales moyennes annuelles</i>
Beresovo	63° N	65° E	109 m	3000 km	-23,6 °C	15,7 °C	-4,3 °C	39,3 °C	351 mm
Bruxelles	50° N	4° E	100 m	140 km	2,7 °C	16,8 °C	9,4 °C	14,1 °C	835 mm
Athènes	37° N	23° E	107 m	2600 km	9,1 °C	26,6 °C	17,3 °C	17,5 °C	403 mm
Shannon	52° N	9° O	14 m	60 km	5,3 °C	15,7 °C	10,2 °C	10,4 °C	971 mm
Berlin	52° N	13° E	35 m	750 km	-1,1 °C	18,9 °C	9,0 °C	20,0 °C	576 mm
Orenburg	51° N	55° E	114 m	3500 km	-15,4 °C	22,0 °C	3,8 °C	37,4 °C	364 mm
New York	40° N	74° O	96 m	0 km	-0,8 °C	22,8 °C	11,0 °C	23,6 °C	1091 mm
Chicago	41° N	87° O	181 m	1000 km	-4,0 °C	24,1 °C	11,0 °C	28,1 °C	898 mm
Guadalajara	20° N	103° O	1551 m	0 km	15,1 °C	23,2 °C	19,2 °C	8,1 °C	935 mm
Nouakchott	18° N	15° O	2 m	0 km	20,8 °C	29,2 °C	25,7 °C	8,4 °C	149 mm
Quito	0,1° S	78° O	2818 m	250 km	12,8 °C	13,1 °C	13,0 °C	0,3 °C	1233 mm
Nairobi	1° S	36° E	1675 m	800 km	15,0 °C	18,9 °C	17,4 °C	3,9 °C	996 mm
Libreville	0° S	10° E	27 m	0 km	23,2 °C	27,0 °C	25,7 °C	3,8 °C	1964 mm
Ottawa	45° N	75° O	72 m	700 km	-11,2 °C	20,6 °C	5,4 °C	31,8 °C	873 mm
Brest	48° N	4° O	65 m	0 km	5,8 °C	16,0 °C	10,8 °C	10,2 °C	1126 mm

Les climats de la Terre



3. Les variations saisonnières

Sachant que l'énergie reçue varie en fonction de l'angle d'incidence, comment expliquer que la température d'un lieu varie au cours d'une année ?



Explication du schéma

- La terre tourne autour du Soleil dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, en 365 jours et $\frac{1}{4}$, c'est le mouvement de L'orbite de la Terre forme une, dont le Soleil occupe un des foyers. Le plan de cette orbite est appelé
- L'axe de de la Terre est incliné de $23^{\circ}26'$ par rapport à la perpendiculaire au plan de l'écliptique (plan de l'orbite de la Terre). Il reste parallèle à lui-même pendant la de la Terre autour du Soleil.

Conséquences :

- La Terre reçoit les rayons du Soleil avec un angle qui change chaque jour ;
Quand le Pôle Nord est tourné vers le Soleil : 21 juin, début de notre été ; quand le Pôle Sud est tourné vers le Soleil : le 22 décembre, début de notre hiver.
- À ces dates, les rayons solaires sont perpendiculaires, à midi, respectivement aux tropiques du Cancer et du Capricorne : ce sont les
- Entre ces deux extrêmes, au 21 mars et au 23 septembre, les rayons sont perpendiculaires, à midi, à l'équateur : la longueur du jour est égale à celle de la nuit (la ligne des jours passe par les deux Pôles). Ce sont les

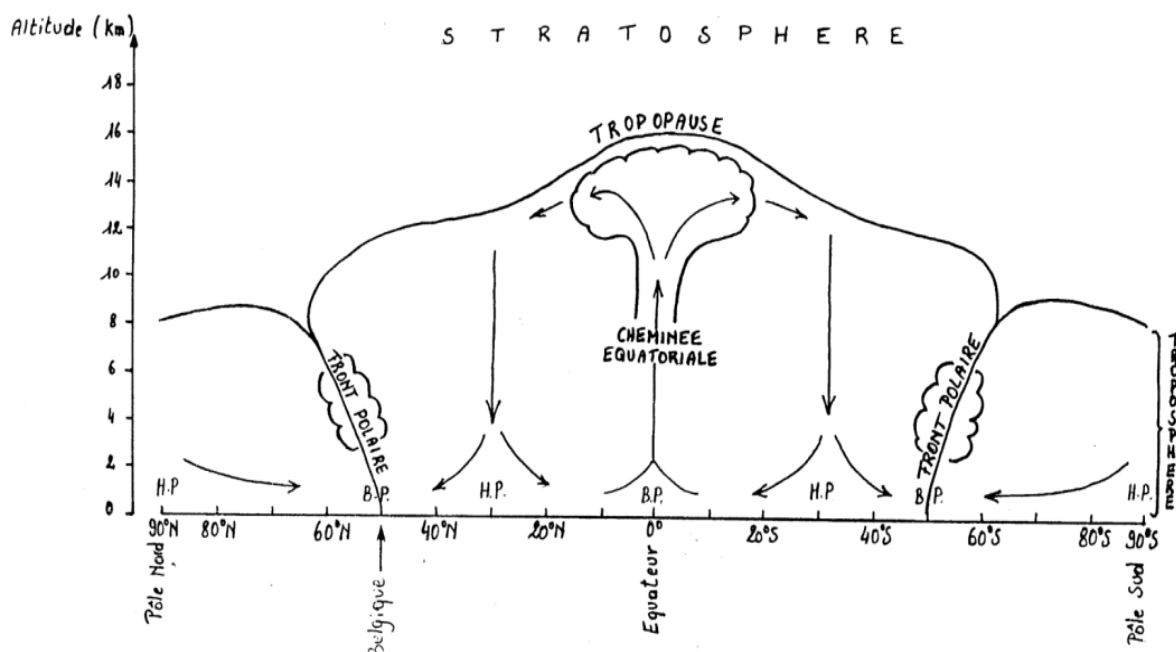
4. La circulation des enveloppes fluides : atmosphère et océan

Pourquoi ne fait-il pas de plus en plus chaud à l'équateur et de plus en plus froid aux pôles ?

Les différences de température à la surface de la Terre vont engendrer des courants puissants qui vont transporter l'énergie de l'équateur vers les pôles et le froid vers les tropiques

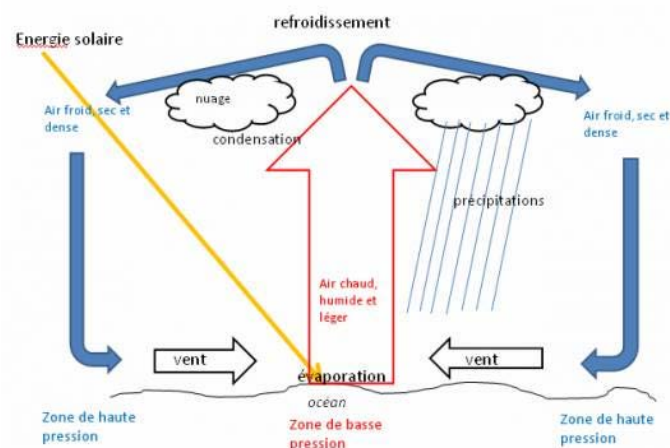
A. La circulation de l'atmosphère

Comment l'atmosphère s'y prend-elle pour transporter l'énergie d'un endroit à un autre ?



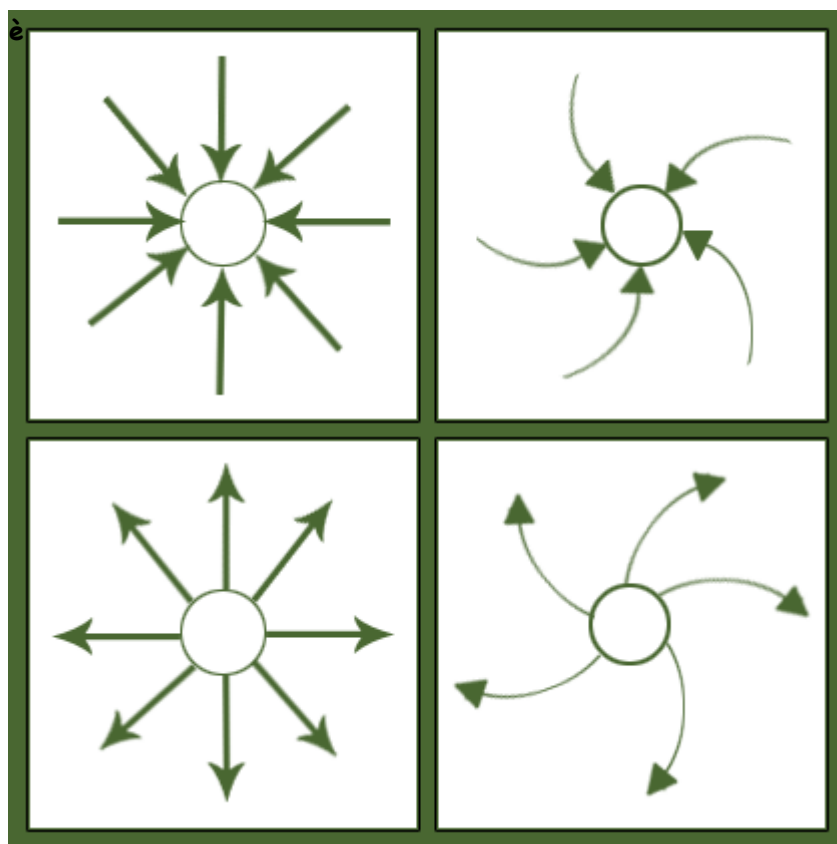
Les différences de température entraînent des différences de pression → ascendance et subsidence de l'air = mouvements verticaux

Lorsque des différences de pression apparaissent, des vents s'enclenchent : l'air circule toujours d'une haute pression vers une basse pression = mouvements horizontaux



Remarque : la rotation de la Terre sur elle-même dévie ces flux. L'air qui se déplace est dévié vers la droite dans l'hémisphère Nord et vers la gauche dans l'hémisphère Sud (= **effet de Coriolis**).

Déviation des vents (situation dans l'hémisphère Nord)



En haut : une basse pression
En bas : une haute pression

- a) sans la force de Coriolis
- b) avec la force de Coriolis

Force de Coriolis : force s'exerçant sur tout corps en mouvement à la surface de la terre, due à la rotation de celle-ci.

Alizés : vents persistants qui soufflent des hautes pressions tropicales vers l'équateur.

Westerlies : vents d'ouest caractérisant les moyennes latitudes.

Front : surface de discontinuité entre 2 masses d'air.

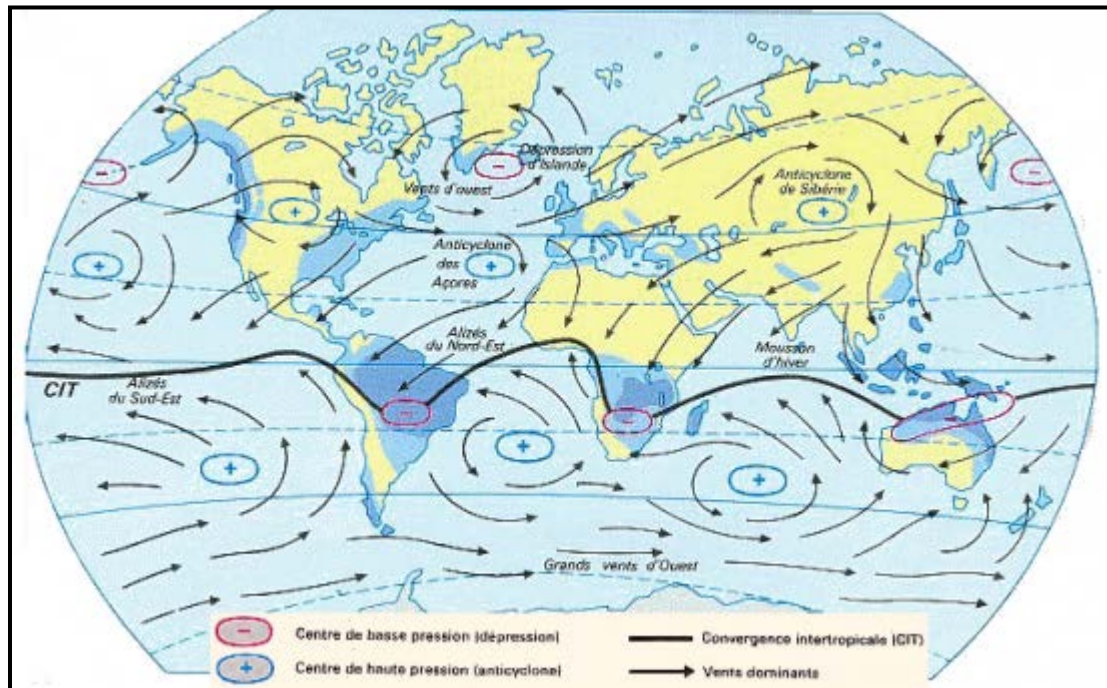
La densité de l'air dépend de sa L'air, plus léger s'élève, il se produit un mouvement d'..... . Au contraire, l'air, plus lourd descend vers le sol. On parle de mouvement de

Dans les régions d'ascendance, la pression atmosphérique est à la moyenne estimée à 1013 hPa et forme une ou une Au contraire, dans les zones de subsidence, la pression est supérieure à la moyenne, il y a formation d'une ou d'un

Les mouvements d'air horizontaux sont liés à la différence de, et donc à la répartition des hautes et basses pressions. Ces mouvements d'air s'appellent des Il s'agit d'un déplacement horizontal d'air des zones de vers les zones de afin de parvenir à une pression uniforme.

Les vents ne se déplacent pas en ligne droite d'une vers une, mais sont déviés par la force de due à la de la terre. Dans l'hémisphère nord, les vents tournent dans le sens (déviation vers la) autour de la HP et sont déviés vers la BP dans le sens (déviation vers la) . Dans l'hémisphère sud, c'est juste l'inverse.

Localisation des centres de haute et de basse pression et vents dominants



Remarques :

- On appelle **zone de convergence intertropicale** (ZCIT ou CIT), l'ensemble des régions de **basses pressions** vers lesquelles convergent les masses d'air chaudes et humides amenées des tropiques par les **alizés** et qui entourent la terre près de l'équateur, formant une sorte de ceinture de quelques centaines de kilomètres de large. Les oscillations de cette zone de part et d'autre de l'équateur, vers le sud en hiver et le nord en été, ont un impact sur les précipitations, notamment en Afrique équatoriale.
- Le **vent** est le déplacement d'une masse d'air d'une zone de haute pression vers une zone de basse pression.

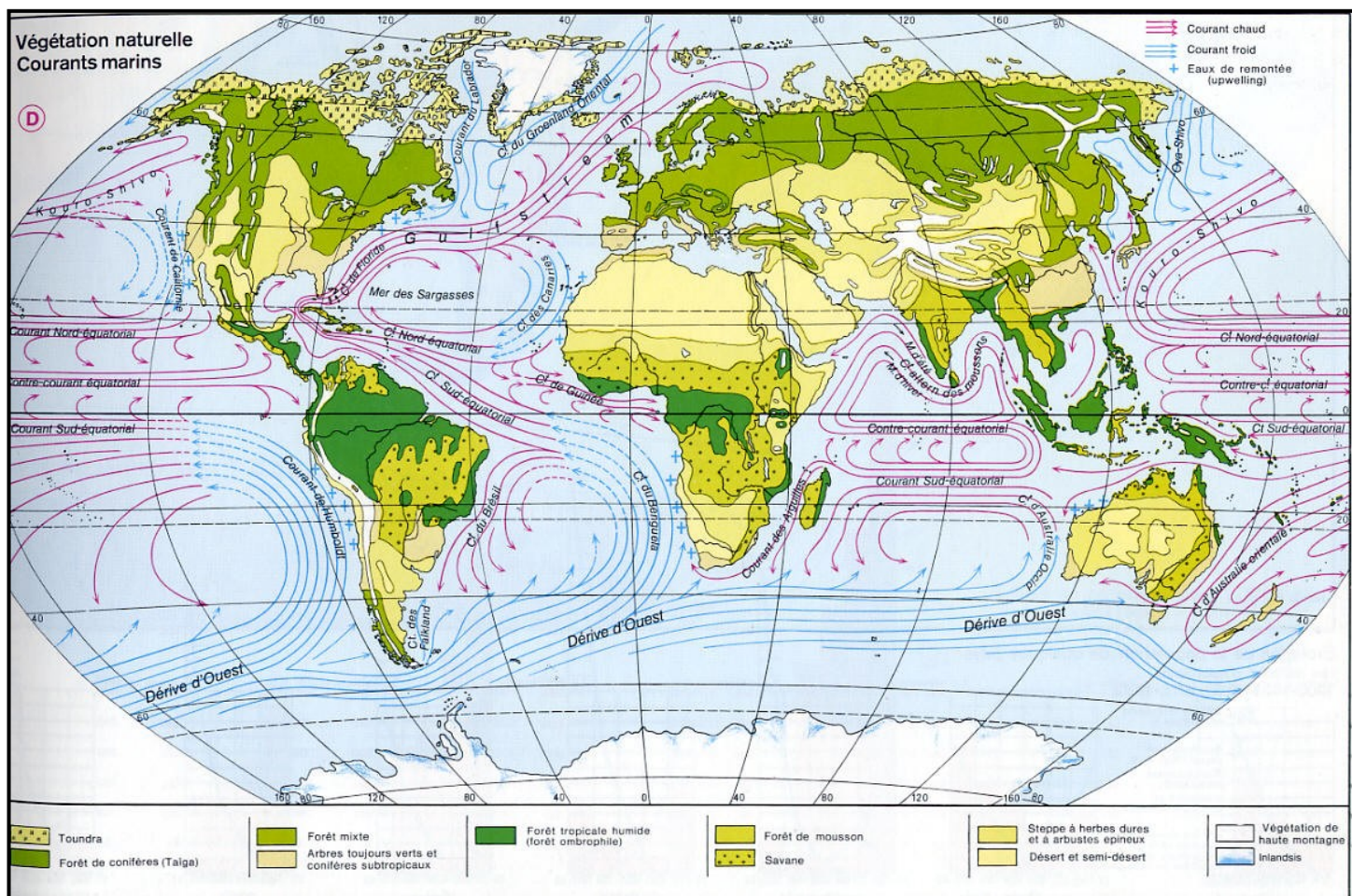
B. La circulation océanique

Au même titre que l'atmosphère, l'océan est une énorme machine thermique. Le soleil le réchauffe dans les zones tropicales, et la chaleur ainsi stockée dans l'eau est restituée vers l'atmosphère aux plus hautes latitudes, ce qui le refroidit. C'est ainsi que sont engendrés les courants océaniques de surface et profonds qui transportent cette chaleur de l'équateur vers les pôles.

*Exemple : Le **Gulf stream** est un courant océanique chaud qui transporte la chaleur du Sud-ouest vers le Nord-est (côtes européennes).*

Cela explique pourquoi, l'hiver de Lisbonne est très différent de celui de New York alors que ces villes se trouvent à une latitude semblable donc reçoivent la même quantité de chaleur. C'est dû au transport compensateur du Gulf Stream, les côtes européennes sont irriguées par ce courant marin chaud même si il s'est beaucoup refroidit en traversant l'Atlantique.

Les courants marins



En résumé

Le climat est déterminé par des facteurs astronomiques

Les différences de température entre le jour et la nuit sont dues au mouvement de **rotation** de la terre. Cette dernière tourne sur elle-même autour de son axe de rotation (ligne imaginaire traversant d'un pôle à l'autre) en 24 heures.

Les différences de températures entre l'équateur et les pôles sont dues à la **sphéricité** de la terre. On considère que la Terre est suffisamment loin du Soleil pour que les rayons solaires soient parallèles lorsqu'ils arrivent à la surface de celle-ci. Ainsi, pour une même quantité d'énergie solaire reçue, la surface réchauffée sera plus petite là où l'angle d'incidence est faible. Les tropiques où le Soleil est proche du zénith, reçoivent plus d'énergie que les pôles, où les rayons rasent l'horizon et l'angle d'incidence est élevé.

Les différences de température au cours d'une année, entre l'été et l'hiver, sont quant à elles dues à la **révolution** de la Terre et **l'inclinaison de l'axe de rotation** qui accentuent cette différenciation zonale.

À ces trois facteurs liés à la géométrie du système Terre-Soleil, il faut ajouter une gamme de facteurs géographiques qui viendront moduler le climat de façon locale ou régionale.

- la présence des océans ou des continents;
 - la position géographique par rapport aux vents dominants (ex.: à nos latitudes les façades continentales Ouest ont un caractère maritime plus prononcé que les façades Est, dû à la circulation dominante des vents d'Ouest);
 - l'altitude et le relief (ex. : la présence de barrière physique telle qu'une chaîne de montagnes)
 - les courants océaniques.
-

6. Effet de serre naturel et anthropique

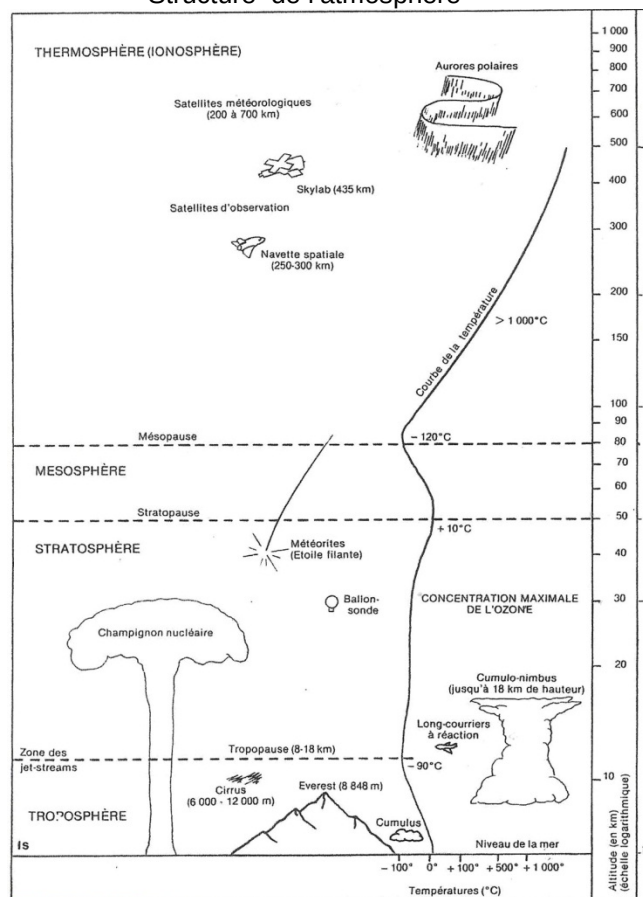
Sans atmosphère : pas d'effet de serre – ex. sur la lune ou sur Mercure

Avec atmosphère : effet de serre – ex. sur Vénus, La Terre, Mars...

1. Structure et composition de l'atmosphère

Définition : L'atmosphère est une couche de gaz d'environ 1000 km d'épaisseur, qui entoure la Terre et l'accompagne dans son mouvement de rotation.

Structure de l'atmosphère



Composition de l'atmosphère

Nom du gaz	% présent
Azote (N ₂)	78 %
Oxygène (O ₂)	21 %
Argon (A)	0,93 %
Vapeur d'eau (H ₂ O)	0 - 4 %
Gaz carbonique (CO ₂)	0,033 %
Néon (Ne)	0,0018 %
Krypton (Kr)	0,000114 %
Hydrogène (H)	0,00005 %
Oxyde d'azote (N ₂ O)	0,00005 %
Xénon (Xe)	0,0000087 %
Ozone (O ₃)	0 - 0,000001 %

La **troposphère** est la couche la plus importante car elle est le siège des principaux mouvements atmosphériques qui déterminent le temps et le climat. En contact avec le sol, cette couche est épaisse de 8 km aux Pôles et de 18 km à l'Equateur. La pression atmosphérique est élevée du fait de l'attraction terrestre qui concentre les molécules gazeuses. La température diminue assez régulièrement de 6°C par 1000 m, jusqu'à la limite supérieure, zone de discontinuité appelée la tropopause.

La **stratosphère** s'étend jusqu'à environ 50 Km d'altitude où elle atteint la seconde zone de discontinuité appelée stratopause. Les molécules d'air se raréfient progressivement et la pression atmosphérique devient de plus en plus basse au fur et à mesure qu'on s'élève. A 35 km d'altitude se trouve la couche d'ozone qui absorbe les rayons ultra-violet.

La **mésosphère** s'étend de 50 km à 80 km d'altitude, jusqu'à la troisième discontinuité, la mésopause.

La **thermosphère** s'étend de 80 à environ 1000km. Les gaz y sont très raréfiés. L'hydrogène joue ici un rôle important en absorbant les rayons U.V., faisant augmenter la température jusqu'à plusieurs centaines de degrés.

La **magnétosphère** est la zone dans laquelle se manifestent les phénomènes magnétiques liés à l'activité solaire. C'est dans cette zone, qui commence à 400 km, que l'on rencontre les ceintures de Van Allen.

Questions

Quelle est la structure de l'atmosphère ? Présenter et expliquer les critères choisis pour établir cette classification.

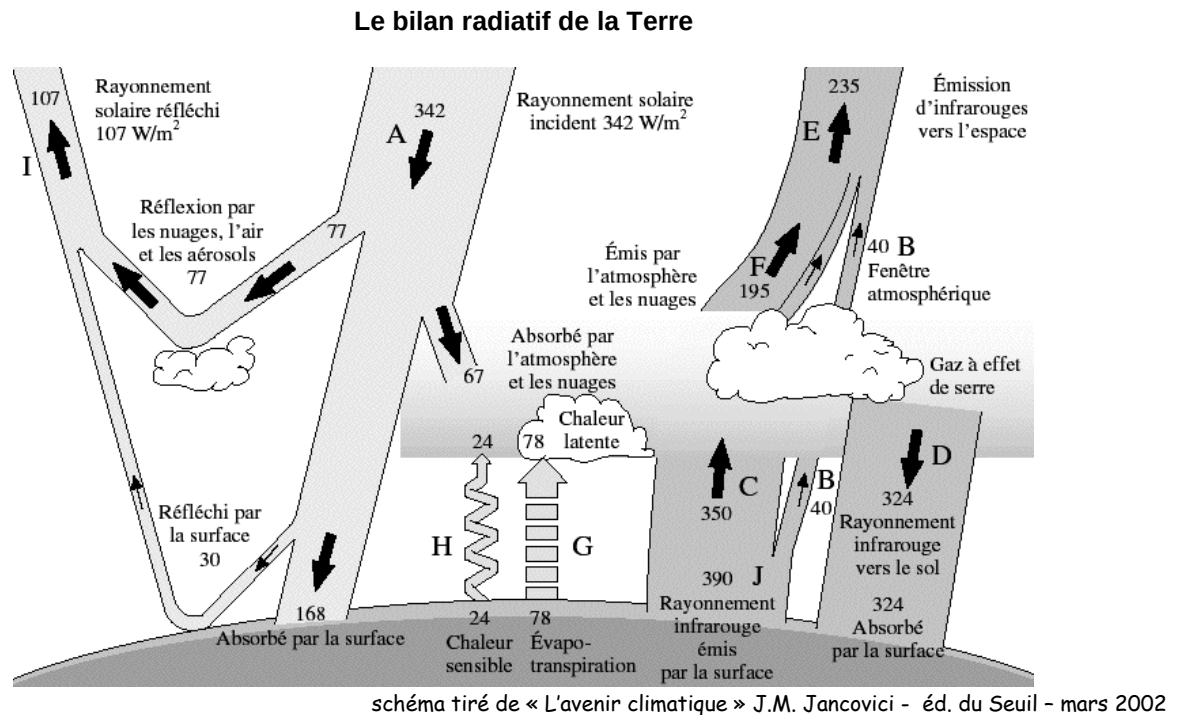
Pourquoi les phénomènes météorologiques ont-ils lieu essentiellement dans la première couche de l'atmosphère ?

Les 2 principaux constituants sont l'azote et l'oxygène. Le 3^{ème} constituant, l'argon, représente moins de 1 % de la concentration totale. Quant aux constituants minoritaires, CO₂, H, Ne, N₂O, O₃, ils représentent moins de 0,07 % de la concentration totale mais jouent un rôle essentiel dans la physique et la chimie de l'atmosphère et sont vitaux pour la biosphère.

Dans l'atmosphère terrestre, les principaux gaz à effet de serre sont la vapeur d'eau (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (N₂O) et les chlorofluorocarbures (CFC). Les CFC ont une origine exclusivement anthropique, alors que CO₂, CH₄ et N₂O ont une double origine, naturelle et anthropique. De loin la plus abondante dans l'atmosphère, la vapeur d'eau n'est pas directement reliée aux activités de l'homme.

2. Bilan radiatif et effet de serre

- Le système climatique est entièrement gouverné par l'énergie qui nous vient du Soleil.
- Tout corps émet un rayonnement dont la longueur d'onde et l'intensité dépendent de sa température.



Vocabulaire :

Albédo : proportion du rayonnement réfléchi par un objet. Un miroir parfait a un albédo de 100 %, la neige fraîche a un albédo de 80 % et un corps noir parfait un albédo nul.

Bilan radiatif : différence entre la part du rayonnement incident absorbé par la terre et son atmosphère, qui réchauffe cet ensemble, et le rayonnement thermique réémis par cet ensemble vers l'espace. Calculé en moyenne pour l'ensemble de la planète et sur des périodes prolongées, le bilan radiatif du système climatique doit être équilibré. Comme le système climatique tire toute son énergie du soleil, ce bilan implique que, globalement, la quantité de rayonnement solaire reçue est en moyenne égale à la somme du rayonnement solaire réfléchi et du rayonnement infrarouge sortant émis par le système climatique. Toute perturbation de cet équilibre radiatif global, qu'elle soit due à l'activité humaine ou qu'elle soit d'origine naturelle, est appelée **forçage radiatif**.

Constante solaire : puissance rayonnée par le Soleil, mesurée au sommet de l'atmosphère par unité de surface perpendiculaire aux rayons du Soleil

Effet de serre : Réchauffement des basses couches de l'atmosphère dû à la capacité de certains gaz de retenir, de « piéger » une grande partie de la chaleur restituée par la Terre. Les gaz de l'atmosphère laissent passer le rayonnement visible du Soleil mais absorbent ce que restitue le sol sous forme de rayonnement infrarouge. Sans ce phénomène naturel, la Terre serait une planète gelée (-18°C en moyenne au lieu des 15°C actuel)

Émission : Un corps porté à une certaine température convertit son énergie interne en rayonnement thermique. Une unité de surface d'un corps émet durant une unité de temps une quantité d'énergie appelée flux d'émission.

Absorption : Il s'agit de l'opération inverse. Quand une surface reçoit un flux d'énergie, la fraction transformée en énergie interne est appelée flux absorbé.

Réflexion et diffusion : Au lieu d'être absorbé, le rayonnement incident sur une paroi peut être directement renvoyé par la paroi. Dans ces conditions on distingue 2 cas :

Le renvoi obéit aux lois de l'optique géométrique (un angle d'incidence, un angle de réflexion). Il s'agit alors de réflexion.

Le renvoi se fait dans toutes les directions (même si l'on a une seule direction incidente). On parle alors de diffusion.

On note que l'onde diffusée ou réfléchie a la même fréquence que l'onde incidente.

Flux de chaleur sensible : Le flux de chaleur sensible entre la surface terrestre et l'atmosphère correspond à la quantité de chaleur échangée par conduction. La troposphère n'est que très faiblement chauffée par les radiations solaires. Elle reçoit la majeure partie de son énergie de la part de la Terre.

Flux de chaleur latente entre la surface et l'atmosphère est donc associé à la quantité de vapeur d'eau introduite dans l'atmosphère. La chaleur ne sera libérée qu'ultérieurement lors de la condensation. D'où l'appellation de chaleur latente (qui se manifeste plus tard)

Bilan radiatif et effet de serre (suite) - Explications du schéma (p 15)

Ce schéma résume les transformations de l'énergie solaire incidente.

- L'énergie solaire nous arrive sous forme de rayonnement électromagnétique. De quoi est-il composé ?

.....

- Energie solaire incidente = $A = \dots\dots\dots \text{ w/m}^2$

- Remarque : l'énergie solaire incidente $\neq$ constante solaire

Analyse

De l'énergie incidente qui arrive au sommet de l'atmosphère,W/m² sont absorbés par la surface et sont absorbés par les nuages et l'atmosphère. Le reste,W/m² est réfléchi vers l'espace : W/m² par les nuages, $A = 342 \text{ w/m}^2$ - $I = 107 \text{ w/m}^2$ = 235 W/m^2

Le système climatique est-il en équilibre ?

.....

.....

Avec une émission de 235 w/m^2 , la température moyenne est de -18°C .

Or la température sur terre est de 15°C , ce qui correspond à une émission d'IR de 390 w/m^2 ???

En plus du flux solaire absorbé, c'est-à-direW/m², la Terre reçoit W/m² dû à l'émission de flux infrarouge descendant de l'atmosphère.

→ Total du flux ascendant = W/m² (..... +)

Pour garder son équilibre thermique, la surface se refroidit et doit rendre autant d'énergie qu'elle en reçoit :

→

.....

.....

.....

Quelle est la contribution des GES ?

.....

.....

.....

Et quand on parle du réchauffement climatique ?

.....

.....

.....

.....

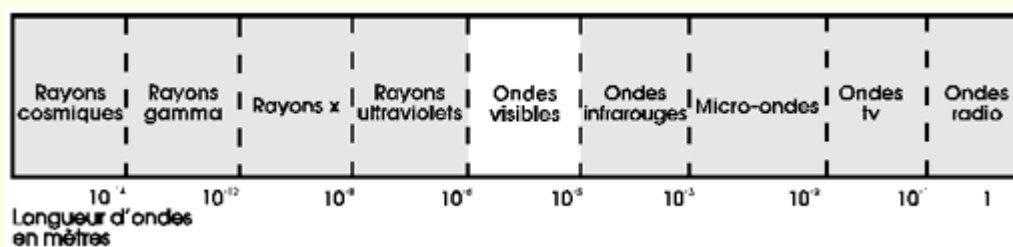
.....

.....

POUR EN SAVOIR PLUS...**Les rayonnements électromagnétiques**

- la lumière,
- les infrarouges,
- les ultraviolets,
- les rayons X,
- les ondes radio,
- les micro-ondes qui circulent dans les fours de même nom,
- et, pour ceux qui s'intéressent à la radioactivité, les rayons gamma,

sont des rayonnements qui sont tous de même nature : ils forment la vaste famille des rayonnements électromagnétiques.



Tout corps ayant dépassé le zéro absolu (c'est à dire $-273,15$ de nos degrés !) émet du rayonnement électromagnétique pour dissiper une partie de son énergie :

- S'il n'est pas très chaud, il n'émettra que des ondes radio ; c'est le cas de certains objets dans l'espace (où effectivement il ne fait pas chaud : -270 degrés Celsius !),
- s'il est plus chaud il émet aussi des infrarouges (par exemple notre corps émet des infrarouges, même la nuit : c'est grâce à cela que l'on peut construire des caméras à infrarouges qui permettent de nous "voir la nuit" en captant ces infrarouges),
- s'il est encore plus chaud (à partir de 700°C , par exemple un morceau de métal chauffé "au rouge"), il émettra aussi de la lumière visible ; dans nos ampoules électriques nous ne faisons rien d'autre que de chauffer à l'électricité un filament de métal vers les 2700°C , ce qui lui fait rayonner de la lumière visible,
- encore plus chaud, il émettra aussi des ultraviolets, c'est le cas du soleil,
- encore plus chaud, il émettra des rayons X : c'est le cas de certains corps célestes.

Le soleil, qui est très chaud (6.000°C à la surface), nous envoie un rayonnement composé de :

- 10% d'ultra-violets (dont une bonne partie est arrêtée par la fameuse "couche d'ozone", heureusement pour nous car les ultraviolets, qui sont des rayonnements "énergiques", sont néfastes à la vie : ils ont tendance à "casser", dans les cellules vivantes, des liaisons chimiques indispensables),
- 40% de lumière visible
- 50% d'infrarouges.

La Terre, qui n'est pas très chaude (15°C), émet uniquement des infrarouges (qui ne sont pas les mêmes que ceux du soleil).

Or un matériau peut très bien être transparent pour l'un de ces rayonnements et pas pour les autres : notre propre corps, par exemple, est transparent pour les rayons X (qui passent bien à travers ; c'est pour cela que l'on s'en sert en radiographie), mais ne l'est pas pour la lumière visible (sinon nous ne dirions pas : ôte-toi de là, je ne vois rien !). <http://www.manicore.com/>

Synthèse – L'homme modifie-t-il le climat ?

L'effet de serre naturel

- Il existe un effet de serre naturel qui est essentiel à la vie sur Terre. En effet, sans atmosphère, il n'y aurait pas d'effet de serre et la température moyenne sur Terre serait de -18°C .
- Sur la Lune qui est à la même distance du Soleil que la Terre mais qui n'a pas d'atmosphère, la T° moyenne = -18°C : de 130°C le jour à -150°C la nuit.¹
- Grâce à la propriété de certains gaz contenus en infime quantité dans l'atmosphère, le rayonnement infrarouge émis par la Terre est piégé et renvoyé sur terre ce qui contribue à augmenter sa température de 33°C .
- Ces gaz sont par ordre d'importance : la vapeur d'eau, le CO_2 , le CH_4 , le N_2O et l' O_3 . Ils retiennent le rayonnement infrarouge émis par la Terre et le renvoie vers sa surface.

L'effet de serre anthropique

- Le problème actuel vient de l'intensification de l'effet de serre par l'action de l'homme. L'humanité consomme de plus en plus d'énergies issues de la combustion du pétrole du gaz et du charbon et donc envoie de plus en plus de CO_2 dans l'atmosphère.
- A cela s'ajoute la modification de la couverture des sols : l'étendue des surfaces boisées diminue et donc le recyclage du CO_2 en O_2 grâce à la photosynthèse, n'est plus assuré.
- La notion de **forçage radiatif** exprime la modification du bilan radiatif c'est-à-dire de l'équilibre entre l'énergie qui entre et l'énergie qui sort. Il est exprimé en watt par mètre carré (W/m^2). Si la valeur du forçage est positive, le facteur en question entraîne un réchauffement à la surface de la Terre –et inversement.
- Les experts du GIEC attribuent à l'activité humaine un forçage radiatif de $+1,6 \text{ W}/\text{m}^2$ (avec une fourchette de $+0,6$ à $+2,4$) et au rayonnement solaire de $+0,12 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (de $+0,06$ à $+0,3$).

Ne confondez pas couche de gaz à effet de serre et couche d'ozone !

- La couche de gaz à effet de serre est située dans les basses couches de l'atmosphère ou troposphère.
- Il ne faut pas la confondre avec la couche d'ozone, située elle à une altitude comprise entre 30 et 50 km c'est-à-dire dans la stratosphère. L'ozone est à cette altitude, un gaz protecteur, filtrant les rayons ultraviolets solaires. Les gaz CFC (Chlorofluorocarbène) présents notamment dans les anciennes bombes aérosols, les réfrigérateurs, les systèmes de conditionnement d'air... détruisent la couche d'ozone et le filtre UV disparaît.
- L'ozone troposphérique (entre 0 et 10 km d'altitude) est lui néfaste pour l'homme. Il se forme lors de périodes de fort ensoleillement, en présence de précurseurs tels que les oxydes d'azote et les composés organiques volatils et provoque des irritations aux yeux et aux voies respiratoires.

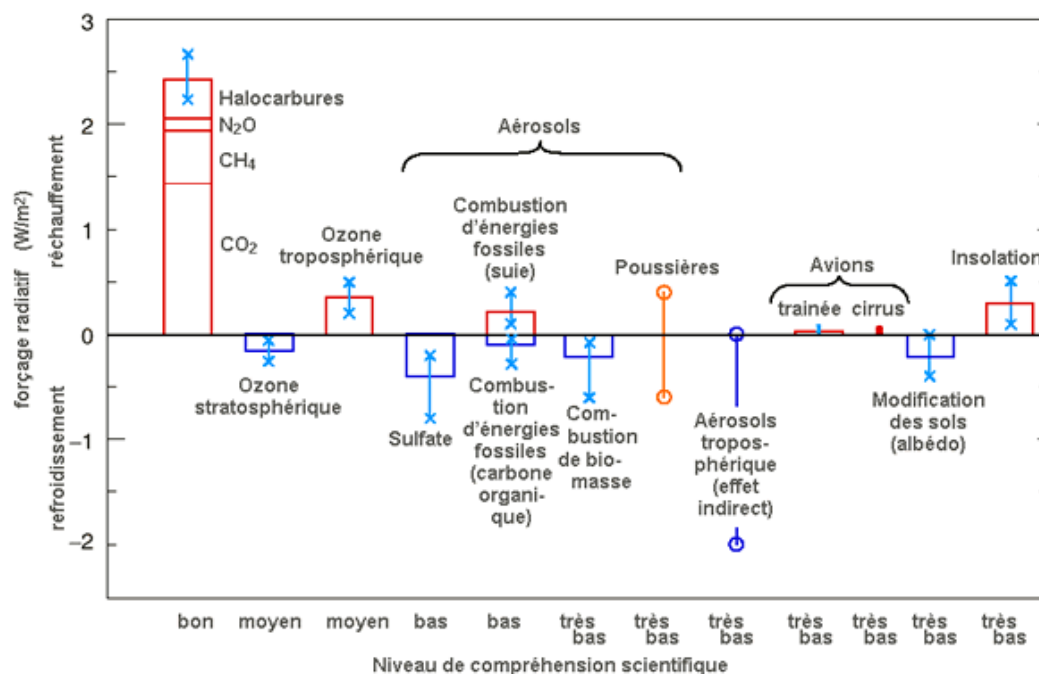
¹ Pourquoi certaines planètes ont-elles une atmosphère et d'autres pas ?

- Pour conserver une atmosphère, une planète doit être capable de la retenir pour qu'elle ne se dissipe pas dans l'espace.
- La force qui permet à une planète de retenir son atmosphère est la gravité.
- Plus une planète est massive, plus la gravité est importante et plus elle retient son atmosphère.
- Les planètes géantes comme Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune, possèdent d'énormes atmosphères
- Sur Mars, 9X moins massive que la Terre, la gravité n'est pas assez importante pour retenir les gaz

7. Comment déterminer si le réchauffement est naturel ou anthropique?

Les scientifiques du Giec ont réalisé un schéma de synthèse dans le but de rendre compte de la contribution respective de chaque facteur, naturel ou anthropique, dans l'actuel réchauffement.

Voici le schéma de la contribution des différents agents au forçage radiatif réalisé en 2001

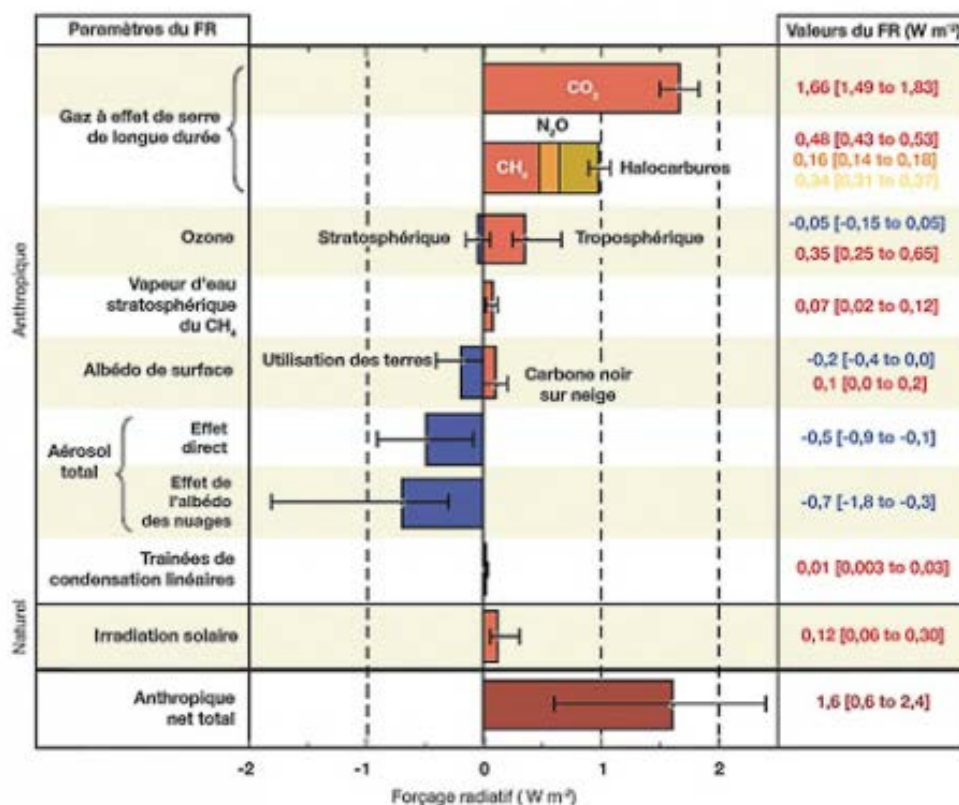


Forçages radiatifs (Wm⁻²) annuels moyens dans le monde, découlant d'un certain nombre d'agents, de la période pré-industrielle (1750) au présent (2000).

Noter les incertitudes liées à ces chiffres, diverses selon les produits. Les rectangles représentent les valeurs les plus probables, les tirets les zones d'incertitude.

Figure extraite du rapport IPCC 2001 - <http://www.ipcc.ch/pub/un/syrfrench/wg1sum.pdf>

Voici le schéma tel qu'il a été présenté dans le dernier rapport du GIEC en mars 2007



Définition du forçage radiatif:

Forçage radiatif: Le forçage radiatif désigne toute modification dans l'équilibre du bilan radiatif de la Terre. La quantité de rayonnement solaire reçue est en moyenne égale à la somme du rayonnement solaire réfléchi et du rayonnement infrarouge sortant émis par le système climatique. Toute perturbation de cet équilibre radiatif global, qu'elle soit due à l'activité humaine ou qu'elle soit d'origine naturelle, est appelée forçage radiatif.

Quels sont les principaux facteurs qui contribuent au forçage radiatif depuis 1750?

Gaz à effet de serre: CO₂, CH₄, N₂O, Halocarbures (Composés contenant du chlore, du brome ou du fluore et du carbone)

Ozone troposphérique: . Dans la troposphère il se forme à la fois naturellement et par suite de réactions photochimiques faisant intervenir des gaz résultant de l'activité humaine ("smog"). L'ozone troposphérique agit comme un gaz à effet de serre

Ozone Stratosphérique: Dans la stratosphère, il résulte de l'interaction du rayonnement solaire ultraviolet et de l'oxygène moléculaire (O₂) l'appauvrissement de la couche d'ozone sous l'action des halocarbones anthropiques donne lieu à un forçage radiatif négatif.

Aérosols: particules minuscules et gouttelettes en suspension dans l'air, d'origine naturelle (tempête de poussières, éruptions volcaniques...) ou anthropique (combustion de combustibles fossiles et de biomasse). Leur contribution au forçage radiatif dépend de leur composition chimique. Leur séjour dans l'atmosphère est généralement de courte durée.

Sulfates: aérosols stratosphériques d'origine volcanique, riches en acide sulfurique et qui réfléchissent le rayonnement solaire.

Avions: en plus d'émettre des gaz à effet de serre, les avions sont la source de traînées de condensation nuageuse (les contrails, que l'on voit dans le ciel derrière les avions) responsables de l'augmentation de la couverture nuageuse en cirrus.

Modification des sols: le changement d'affectation des terres, principalement le déboisement, entraînant la modification de la couverture terrestre, augmente considérablement l'albedo de la surface et donc contribue au forçage négatif.

Insolation: Le rayonnement solaire est la source fondamentale de toute l'énergie propre au système climatique de la Terre. En conséquence, toute variation de la production solaire constitue un facteur de forçage radiatif.

Conclusion du GIEC

En 2007, le quatrième rapport du GIEC, annonce que la probabilité que le réchauffement climatique de ces dernières décennies soit dû aux activités humaines est supérieure à 90 %^{c 1}.

Depuis 1860, les variations de l'activité solaire ne sont pas la cause majeure du réchauffement climatique constaté (augmentation de température de 0,6°C depuis un siècle). Les scientifiques ont montré qu'une augmentation du rayonnement solaire **pendant le cycle de onze ans** se traduit par une augmentation du bilan radiatif de la Terre de 0,2 W/m², à comparer aux 0,35 W/m² par décennie dus aux effets anthropiques: pour la période industrielle, l'effet solaire est donc moins important que les effets de l'augmentation du CO₂ anthropique, même si le Soleil a un rôle sur cette évolution climatique récente (variation du bilan radiatif global, de la température de la stratosphère, de la nébulosité...).

Quoiqu'il en soit, pour expliquer le réchauffement climatique, la part relative entre CO₂ et Soleil reste aujourd'hui très difficile à chiffrer ».

<http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/XML/db/planetterre/metadata/LOMsoleil-climat.xml>
