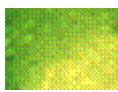


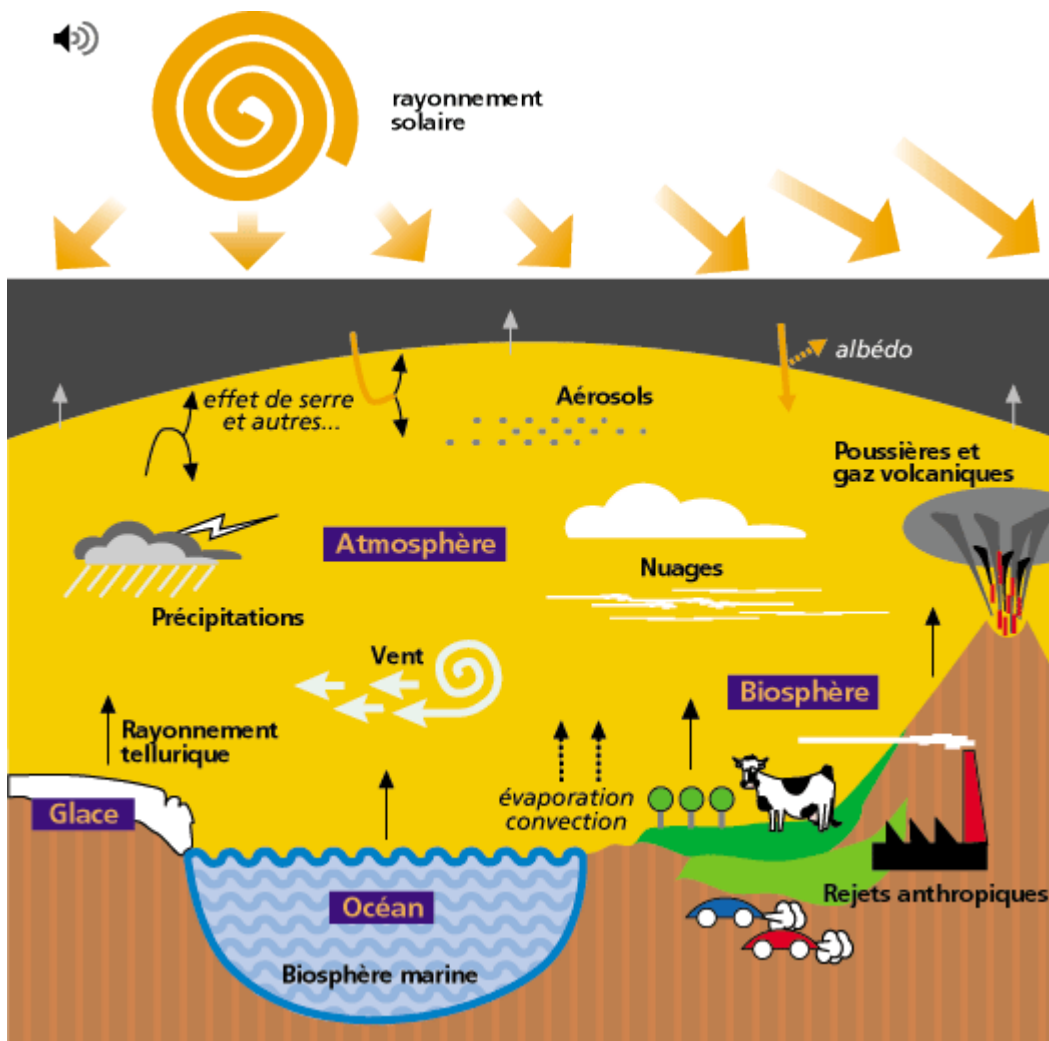
Les facteurs climatiques : information



Dossier : Climat



Systeme et facteurs climatiques



Le rayonnement solaire (ultra-violet, visible, infra-rouge), représenté par les flèches jaunes, est la principale source d'énergie sur Terre. Un équilibre s'établit entre l'énergie solaire qui arrive et le rayonnement tellurique (infra-rouge), représenté par les flèches noires continues, émis par la Terre. La température à la surface de la Terre s'ajuste de manière à maintenir cet équilibre entre énergie absorbée et énergie perdue. Différents mécanismes interviennent dans l'établissement de cet équilibre (en italique sur la figure).

Température moyenne à la surface de la Terre et effet de serre

article écrit par :

Marie-Antoinette Mélières

*Laboratoire de glaciologie et
géophysique de l'environnement
(LGGE)*

melieres@glaciog-ujf.grenoble.fr

L'effet de serre est un mécanisme subtil qui est bien souvent mal compris.

Nous présentons ci-dessous une approche schématique de ce mécanisme : par souci de lisibilité, les valeurs portées sur les schémas ont été arrondies.

Ces valeurs ont été actualisées le 5 avril 2002 sur la base du [rapport 2001 du GIEC](#) (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat).

La valeur de la température moyenne

Elle est obtenue en faisant la moyenne de la température sur toute la surface de la Terre (océans et continents, la surface de ces derniers étant ramenée au niveau de la mer), et sur toute l'année. On trouve alors une valeur de +15°C. On estime qu'elle est connue au dixième de degré près.

Il peut paraître aberrant de caractériser une surface aussi variée, avec de tels écart saisonniers par une température moyenne. Cela se justifie par le fait que température et énergie rayonnée sont deux notions équivalentes :

Tout objet maintenu à une certaine température, perd constamment de l'énergie sous forme de rayonnement. L'énergie rayonnée est fixée par sa température. Quant l'objet est très chaud, le rayonnement émis par sa surface devient lumineux (charbon rougeoyant vers 500°C, métal chauffé à blanc vers 1000°C...); quand il est à la température ordinaire le rayonnement émis est invisible à l'œil.

Dire que la surface de la Terre est à +15 °C revient à dire qu'en moyenne chaque mètre carré de la surface de la Terre "rayonne" (c'est-à-dire "émet un rayonnement infrarouge d'une énergie de") 390 watts, c'est-à-dire 390 joules par seconde. C'est sur cette dernière grandeur, l'énergie, que la compréhension des mécanismes climatiques se fonde, et non sur la température.

D'où vient cette énergie ?

Elle vient pour l'essentiel du Soleil : la quantité d'énergie qui provient de la chaleur interne de la Terre (flux géothermique) ne représente environ que le dix millième de l'énergie solaire. Quand à celle qui vient du reste de l'univers (rayonnement cosmique, lumière des

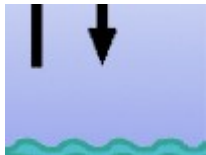
étoiles...) elle est de l'ordre du millionième.

L'énergie solaire

L'énergie solaire arrive sous forme de rayonnement solaire. L'œil en perçoit la partie visible, ce qui représente 40% de cette énergie. Le reste se distribue dans l'infrarouge proche (50%) et dans l'ultraviolet (10%). Moyennée sur l'année et sur l'ensemble de la Terre, l'énergie solaire qui arrive est de 342 watts par m² (terme A sur les schémas). Toute cette énergie ne "chauffe" pas la Terre, c'est-à-dire n'est pas absorbée par la Terre (atmosphère, océans, continents) . Environ 30% (c'est-à-dire 107 watts par m², terme B) est renvoyé (ou réfléchi) dans l'espace par l'atmosphère, les océans et les continents. C'est à cause de cette lumière réfléchie que la Terre est visible de l'espace et que les planètes apparaissent brillantes la nuit dans le ciel. Il en reste donc 235 watts par m² (terme C) qui vont "chauffer" la Terre.

Principales sources d'énergie qui chauffent la surface de la Terre.

Répartition de l'énergie solaire arrivant sur la Terre.



Equilibre à la surface de la Terre.

La température à la surface de la Terre

La température sur la surface de la Terre (continents et océans) est le résultat d'un équilibre entre toute l'énergie qui chauffe la surface de la Terre (deux origines, on va le voir plus loin), ce qui représente 492 watts par m² et toute l'énergie que perd cette même surface (trois origines, on va également le voir plus loin), ce qui représente également 492 watts par m².

Il est intéressant de comprendre l'origine de chacun de ces termes car un changement dans chacune de ces origine, qu'il soit naturel ou lié à l'homme, entraînera un nouvel équilibre de l'énergie, et par conséquent modifiera la température moyenne sur Terre et se répercutera sur le climat.

Par quels mécanismes la surface se refroidit-elle?

Trois mécanismes différents interviennent pour refroidir la surface de la Terre.

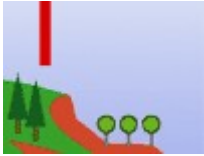
Le rayonnement infrarouge (IR) émis par la surface de la Terre (terme D)

Le fait d'être à une température donnée s'accompagne de l'émission de rayonnement. Le domaine du rayonnement (rayons X, lumière visible, infrarouge proche, infrarouge lointain, onde millimétrique etc.) est fixé par la température : la surface de la Terre qui est en moyenne à 15°C rayonne dans l'infrarouge centré à 10 micromètres (rayonnement non décelable par l'œil), alors que le rayonnement émis par la surface du Soleil, qui, elle, se trouve à une température proche de 6000 degrés, est centrée dans le visible (0,5 micromètre).

Ce rayonnement infrarouge émis par la surface de la Terre correspond à une perte d'énergie de 390 watts par m² (terme D) : il est directement déterminé par la température de 15°C. Ce rayonnement qui quitte la surface de la Terre (océans et continents) va traverser l'atmosphère : 95% seront absorbés par cette dernière (voir plus bas), seuls 5% traverseront sans aucune interaction et quitteront directement et définitivement la planète Terre.

L'évaporation de l'eau (terme E) - Voir le [schéma du cycle de l'eau](#)

L'eau liquide sur la Terre s'évapore constamment dans l'atmosphère et donne des nuages par condensation; cette même quantité d'eau retourne sur la surface de la Terre par la pluie (cycle de l'eau). Il s'évapore en moyenne 3 mm d'eau par jour ce qui entraîne un refroidissement de la surface qui, exprimé en énergie, correspond à 78 watts par m^2 (terme E).



Mécanismes refroidissant la surface de la Terre.

Le réchauffement de l'air par le sol (terme F)

En moyenne la surface, plus chaude que l'air, se refroidit en réchauffant ce dernier au niveau du contact air - sol : les masses d'air, réchauffées, s'élèvent et ce mécanisme donne naissance aux mouvements verticaux de l'atmosphère. En moyenne cela correspond à une perte de 24 watts par m^2 (terme F).

Par quoi est assuré le chauffage de la surface de la Terre ?

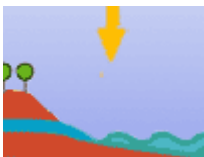
Deux origines à ce chauffage :

Le rayonnement solaire (terme H)

On a vu ci-dessus que le chauffage de la surface de la planète est assuré par l'énergie (ou rayonnement) solaire (235 watts par m^2). Quand ce rayonnement traverse l'atmosphère certains constituants de l'atmosphère (principalement la vapeur d'eau et la couche d'ozone) en absorbent une partie (67 watts par m^2 , terme G), le restant (168 watts par m^2 , terme H) parvient à la surface et est entièrement absorbé par celle-ci.

Le rayonnement infrarouge émis par l'atmosphère (terme I)

Tout comme la surface de la Terre (continents et océans) qui émet un rayonnement infrarouge fixé par sa température (voir ci-dessus), l'atmosphère émet, elle aussi, un rayonnement infrarouge. Elle l'émet d'une part vers l'espace (195 watts par m^2 , terme J) et d'autre part vers la surface de la Terre (324 watts par m^2 , terme I). Ce dernier est beaucoup plus important que la partie du rayonnement solaire absorbé par la surface (terme H, voir ci-dessus) : c'est grâce à lui que la nuit, (pas de chauffage solaire) la température reste clémente.



Chauffage de la surface par le rayonnement solaire.

Quelle est la cause de ce rayonnement émis par l'atmosphère, d'où vient son énergie ?

C'est toujours la même histoire : quand un corps a une température d'équilibre (ici l'atmosphère) cela résulte du fait que l'énergie absorbée par le corps est égale à l'énergie émise, ou encore perdue, par le corps.



Rayonnement infrarouge émis par l'atmosphère.

L'énergie rayonnée par l'atmosphère, 519 watts par m^2 , qui représente l'énergie totale perdue par l'atmosphère, doit être compensée par un apport égal d'énergie à l'atmosphère. Cet apport se fait sous quatre formes différentes :

La condensation de la vapeur d'eau (78 watts par m^2 , terme E), dans

l'atmosphère sous forme de nuages.

De même que l'évaporation refroidit le milieu (de l'énergie est "pompée" au milieu, voir plus haut), de même la condensation dégage de la chaleur et réchauffe l'atmosphère,

Le chauffage des masses d'air à partir du sol (24 watts par m², terme F), voir plus haut

Le rayonnement solaire (67 watts par m², terme G), voir plus haut

L'absorption du rayonnement infrarouge qui est émis par la surface (terme K) : des 390 watts émis par cette dernière (voir plus haut), 90%, soit 350 watts par m², sont absorbés par l'atmosphère. C'est cette quantité qui intervient dans l'"effet de serre".



Chauffage de l'atmosphère.

Peu de constituants atmosphériques sont capables d'absorber ce rayonnement infrarouge. Il y en a principalement trois, les autres jouant un rôle secondaire. Ce sont :

*la vapeur d'eau, H₂O,
le dioxyde de carbone, CO₂,
les nuages.*

Les autres constituants, dont le rôle dans la nature est plus faible, sont l'ozone, le méthane, etc..

C'est ici qu'intervient la difficulté d'évaluer les rôles respectifs de ces différents constituants (gaz, nuages, ...) dans l'effet de serre, car ces rôles se peuvent superposer les uns aux autres. Une manière de le faire est de considérer que l'atmosphère est remplacée par un seul de ces composés et d'estimer la quantité du rayonnement infrarouge émis par la surface qui est absorbée par lui seul. On trouve ainsi que :

la vapeur d'eau absorbe près de 50% des 390 watts par m² émis par la surface de la Terre. Il est intéressant de remarquer, au passage, que la quantité de vapeur représente peu de matière dans l'atmosphère (dans une colonne d'1 cm² de base qui traverse toute l'atmosphère il y a 1000 grammes d'atmosphère -oxygène et azote- et seulement 2 grammes de vapeur d'eau) et que pourtant son rôle est très grand.

Le dioxyde de carbone, CO₂, en absorbe lui près de 25 % . Là encore, son rôle est grand alors qu'il représente une infime partie de l'atmosphère (0,5 gramme dans la colonne précédente),

La vapeur d'eau et le CO₂ absorbent de façon complémentaire le rayonnement infrarouge émis par la surface car ils agissent dans des domaines de fréquence (ou de longueur d'onde) différents : leur action s'ajoute. Mis ensemble dans l'atmosphère ils absorbent à eux deux près de 75% du rayonnement émis par la surface de la Terre.

Les nuages, là où ils existent, (ils couvrent environ la moitié de la surface de la Terre) absorbent 100% de ce rayonnement. Agissant sur

l'ensemble du domaine de fréquence, cette absorption ne s'additionne pas, mais se superpose aux deux précédentes.

Une manière d'aborder simplement ces mécanismes afin de quantifier leur rôle dans l'effet de serre est la suivante :

La vapeur d'eau et le CO_2 interviennent principalement dans le bilan d'énergie de la surface de la Terre par le mécanisme d'effet de serre (c'est-à-dire qu'ils contribuent au réchauffement de la surface à partir de l'absorption du rayonnement émis par la surface). En effet le rôle joué par la vapeur d'eau dans le refroidissement de la surface à travers le terme G reste faible. Les nuages, eux, interviennent principalement de deux façons opposées : d'une part ils réchauffent la surface par effet de serre (contribution au terme K) mais d'autre part ils la refroidissent en réfléchissant (c'est-à-dire en renvoyant) le rayonnement solaire (contribution au terme C) et donc en l'empêchant de chauffer la surface de la Terre. Comme ces deux effets sont du même ordre, on peut en première simplification dire qu'ils se compensent, et considérer que le chauffage de la planète par effet de serre peut se résumer principalement à l'action de la vapeur d'eau et du CO_2 .

L'action de ces quatre mécanismes de chauffage de l'atmosphère (E, F, G, K) fait que l'atmosphère absorbe, emmagasine, à chaque seconde, 540 watts par m^2 . Comme elle est à l'équilibre c'est à dire que l'énergie absorbée n'est pas stockée, (sinon sa température augmenterait sans cesse) elle ré-émet toute cette énergie. Elle la ré-émet entièrement sous forme de rayonnement infrarouge : 195 watts par m^2 vers l'extérieur de la planète (cette énergie sera donc rayonnée vers l'extérieur de la Terre), et 324 watts par m^2 vers la surface qui sont totalement absorbés par cette dernière.

Vue d'ensemble des mécanismes de chauffage

La surface de la Terre (océans plus continents) est en équilibre : elle est chauffée en absorbant 492 watts par m^2 (H + I) et elle se refroidit en perdant la même quantité d'énergie (E+F+D).

La planète Terre est à l'équilibre : elle est chauffée en absorbant 235 watts par m^2 (C), elle perd la même quantité d'énergie sous forme de rayonnement infrarouge vers l'espace (J+L).

Effet de serre

Il est relatif au mécanisme suivant :

la surface de la Terre se refroidit en émettant un rayonnement infrarouge, l'atmosphère est capable d'absorber une partie de ce rayonnement, (par ses Gaz à Effet de Serre) et d'en réémettre une partie vers la surface, réchauffant donc cette dernière.

Actuellement l'effet de serre est globalement évalué de la façon suivante : la surface de la Terre perd 390 watts par m^2 par rayonnement infrarouge, or l'ensemble de la planète en gagne

(énergie solaire absorbée) et en perd (énergie infrarouge rayonnée vers l'espace) 235 watts par m^2 . A une émission de 390 watts par m^2 correspond une température de $+15^{\circ}C$, ce qui fait dire que la température moyenne à la surface de la Terre est de $+15^{\circ}C$. A une émission de 235 watts par m^2 de la Terre vers l'espace, correspond une température moyenne de $-19^{\circ}C$. La différence représente l'action globale de l'effet de serre : 155 watts par m^2 de chauffage de la surface (dont environ 100 Watts liés au rôle de la vapeur d'eau et de 50 watts à celui du CO_2). Ce chauffage représente environ $30^{\circ}C$, il est d'origine naturelle et est essentiellement dû à la vapeur d'eau et au CO_2 , la vapeur d'eau introduisant un réchauffement de l'ordre de $20^{\circ}C$ et le CO_2 de $10^{\circ}C$.

Impact de l'activité humaine

Les scénarii économiques relatifs à l'évolution de la composition de l'atmosphère sur le siècle prochain conduisent à des prévisions très différentes selon qu'on se place dans une hypothèse basse ou haute de la consommation. Un scénario classique proposé aux scientifiques est celui qui conduit, à l'échelon de quelques décennies à une situation qui équivaut à un doublement de la quantité de CO_2 , tous les autres gaz à effet de serre restant constants. C'est le scénario 2 X CO_2 .

L'ensemble des modèles montre que cette situation conduirait à une augmentation de 4 watts par m^2 de chauffage supplémentaire. Si l'ensemble des autres paramètres restait fixe, excepté bien sûr le CO_2 qui aurait doublé, ce chauffage supplémentaire conduirait à une augmentation de la température moyenne d'environ $1^{\circ}C$. En fait, suite à ce réchauffement, les différents termes mis en jeu dans l'équilibre climatique peuvent changer et le réchauffement final atteint, lorsque le nouvel équilibre énergétique se sera établi, peut être soit supérieur (rétroaction positive), soit inférieur (rétroaction négative) au $+1^{\circ}C$ initial; mais, de toute façon, il y a réchauffement. L'estimation de l'ensemble des rétroactions est délicate et varie selon les différents modèles. Le réchauffement final calculé par l'ensemble des modèles se trouve dans une fourchette allant de $1^{\circ}C$ à $4^{\circ}C$.



Chauffage de l'atmosphère et de la surface de la Terre.

Le doublement de CO_2 ne se traduirait pas par un doublement des 50 Watts par m^2 lié à l'effet de serre naturel introduit par le CO_2 , mais par une augmentation de cette quantité d'environ du dixième (4 watts par m^2) parce que l'absorption par le CO_2 est saturée et n'augmente donc plus de façon linéaire quand on augmente la quantité de CO_2 .

Evolution climatique

La température moyenne est l'un des paramètres de base du climat. Toutes les causes (naturelles ou anthropiques) qui font changer l'un quelconque des termes (de A à L) qui interviennent dans l'équilibre énergétique de la surface de la Terre impliquent un changement climatique. L'effet de serre est l'un d'eux, relatif aux termes K et I.

