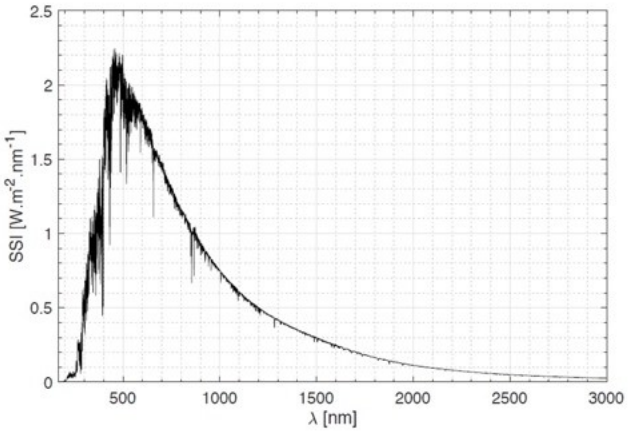
Terre et atmosphère : Un équilibre dynamique et fragile

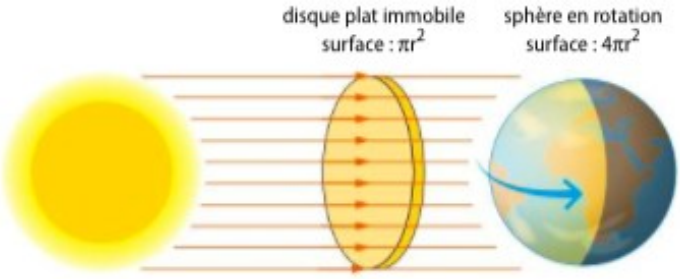
I. Interactions entre le rayonnement solaire et la surface de la Terre

Le Soleil peut être assimilé à un corps noir, émettant un rayonnement dans une large gamme de longueurs d'onde. Son spectre d'émission est compatible avec la loi de Wien : $\lambda_{max} = \frac{k}{T}$.



Ce rayonnement solaire va interagir de plusieurs manières avec la surface de la Terre

Rq : La puissance par unité de surface à 1 unité astronomique du Soleil est appelée constante solaire : $F = 1368\, W.m^{-2}$
La puissance par unité de surface au sommet de l'atmosphère terrestre est égale au $\frac{1}{4}$ *de cette valeur :* $F' = 342\, W.m^{-2}$



1. Le rayonnement solaire est réfléchi

Une partie du rayonnement solaire sera réfléchi/diffusé par la surface de la Terre.

Rq : On parle de réflexion lorsque le rayonnement renvoyé vérifie les lois de Descartes pour la réflexion : l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence.
Ex : Un miroir réfléchi la lumière. L'image n'est vue que depuis une seule direction.
On parle de diffusion lorsque le rayonnement est renvoyé dans toutes les directions.
Cette proportion dépend de la nature de la surface.
Ex : Un objet diffuse la lumière est vu depuis plusieurs directions.

On caractérise la capacité d'un matériau à réfléchir un rayonnement par son albédo A :

$$A = \frac{P_{réfléchie}}{P_{incidente}}$$

Type de surface	Albédo
Mer	0,05 à 0,15
Forêt	0,05 à 0,20
Sable	0,25 à 0,45
Neige	0,8

Rq : Albédo terrestre moyen : $A_{Terre} = 0{,}3$

2. Le rayonnement solaire est absorbé

Le rayonnement solaire qui n'est pas réfléchi/diffusé est absorbé.

$$P_{absorbée} = (1 - A)P_{incidente}$$

Cet apport d'énergie thermique a pour conséquence une augmentation de l'énergie interne de la Terre et donc une augmentation de sa température :

$$\Delta T = \frac{\Delta U}{C_{Terre}}$$

Rq : Capacité thermique surfacique de la Terre : $C_{Terre} = 4.10^8\, J.m^{-2}.K^{-1}$

Elle émet alors un rayonnement dont la puissance vérifie la loi de Stefan-Boltzmann :
Du fait de sa température, tout corps émet rayonnement électromagnétique dont la puissance dépend de cette température.

$$P = \sigma T^4$$

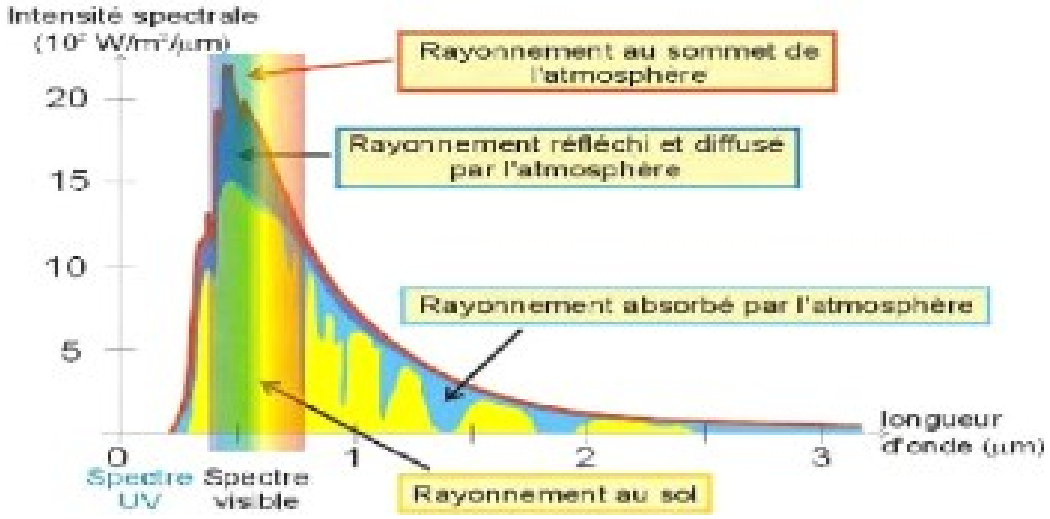
σ est la constante de Stefan-Botzmann : $\sigma = 5{,}67.10^{-8}\ W.m^{-2}.K^{-4}$

Rq : Cette loi est valable dans le cadre du modèle du corps noir. Lorsque ce modèle n'est pas applicable, on prend en compte l'émissivité e du matériau : $P = e\sigma T^4 K$
L'émissivité d'un matériau est inférieure ou égale à 1.

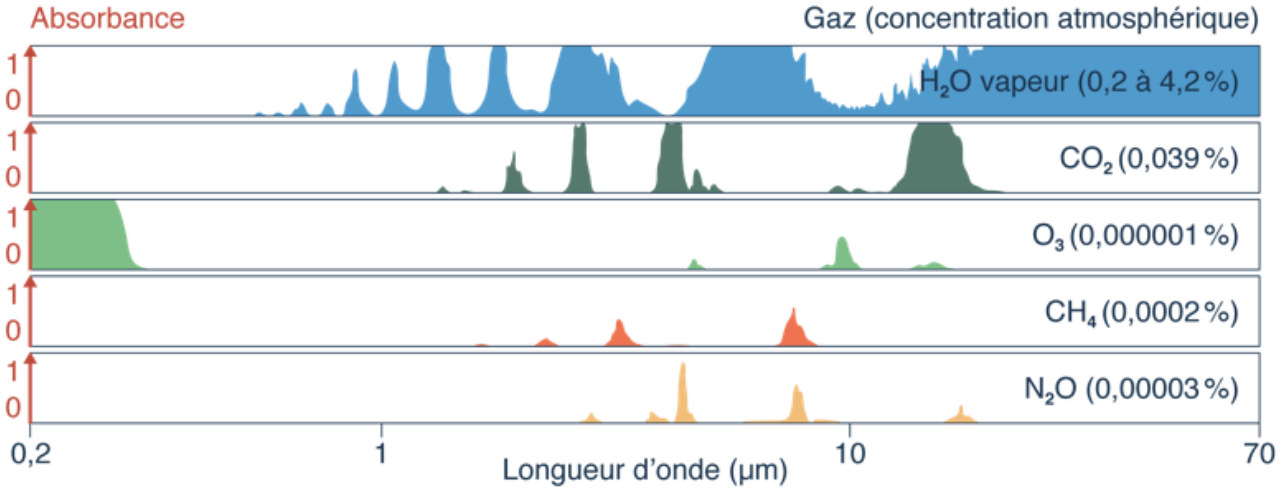
Le rayonnement émis par la Terre en raison de sa température a son maximum dans l'infrarouge.

II. L'atmosphère, « élément » indispensable à la vie

Le spectre du rayonnement solaire tel qu'il parvient à la surface de la Terre est différent de son spectre au sommet de l'atmosphère. Celle-ci interagit donc avec le rayonnement solaire, jouant un rôle primordial à la vie.



Spectres d'absorbance de quelques gaz :



1. Une couche d'ozone protectrice

Le rayonnement ultraviolet est incompatible avec la vie. La stratosphère contient de l'ozone qui a la capacité d'absorber une grande partie du rayonnement UV, nous protégeant ainsi de ses effets destructeurs.

Rq : La couche d'ozone s'est formée « petit à petit » dans l'atmosphère, ce qui peut expliquer que la vie se soit initialement développée dans l'eau, avant de « sortir » sur Terre lorsque les conditions étaient favorables.

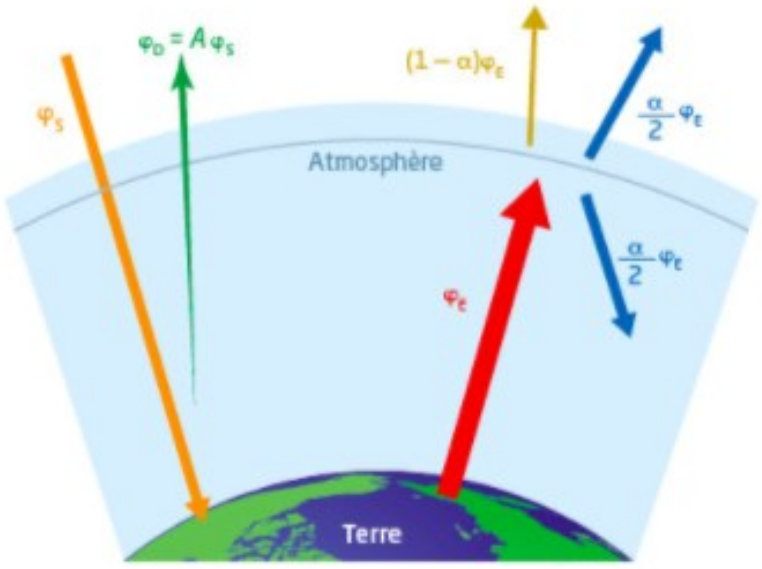
2. Des gaz indispensables à une température « vivable »

Bien que la Terre et la Lune se trouvent à la même distance du Soleil, l'amplitude de températures n'est absolument pas la même. Lorsque la température varie de plus de 250 °C entre le jour et la nuit sur la Lune, les variations restent limitées à quelques dizaines de degrés sur Terre.

Ce qui fait la différence là encore est la présence d'une atmosphère. Certains gaz constituant l'atmosphère (eau, dioxyde de carbone) absorbent le rayonnement infrarouge. Ainsi, au lieu d'être émis intégralement vers l'espace, comme sur la Lune, une partie du rayonnement terrestre est renvoyé par l'atmosphère vers la Terre, ce qui est à l'origine de l'effet de serre : une partie de l'énergie émise par la surface de la Terre est conservée sur Terre, permettant ainsi de la réchauffer et de maintenir une température relativement constante, indépendamment du rayonnement solaire. Le Soleil, la Terre et son atmosphère forment alors un système équilibré : L'énergie apportée par le Soleil est compensée par l'énergie émise par le système {Terre – Atmosphère}. La température de surface de la Terre dépend de cet équilibre.

$$P_S = AP_S + \left(1-\frac{\alpha}{2}\right)P_E \Rightarrow P_S(1-A) = \left(1-\frac{\alpha}{2}\right)P_E$$

$$P_E = \sigma {T_E}^4 \Rightarrow P_S(1-A) = \left(1-\frac{\alpha}{2}\right)\sigma {T_E}^4 \Rightarrow T_E = \left(P_S\frac{(1-A)}{\sigma\left(1-\frac{\alpha}{2}\right)}\right)^{\frac{1}{4}}$$



3. Un équilibre fragile

La température de surface de la Terre dépend principalement de l'albédo et de l'effet de serre. Une modification de l'un et/ou de l'autre a une incidence sur sa valeur.

Une augmentation de la teneur en gaz à effet de serre dans l'atmosphère a pour conséquence une augmentation du rayonnement renvoyé vers la Terre, et donc de la température d'équilibre T_E. Par ailleurs une température d'équilibre plus élevée a un effet sur les surfaces recouvertes de glace et de neige, et donc sur l'albédo, qui diminue, accentuant encore l'augmentation de la température d'équilibre. Ainsi, le Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Évolution du Climat (GIEC) prévoit, à l'horizon 2100, et si aucune action n'est menée pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, une augmentation de la température moyenne de la surface terrestre de 3 à 4°C.