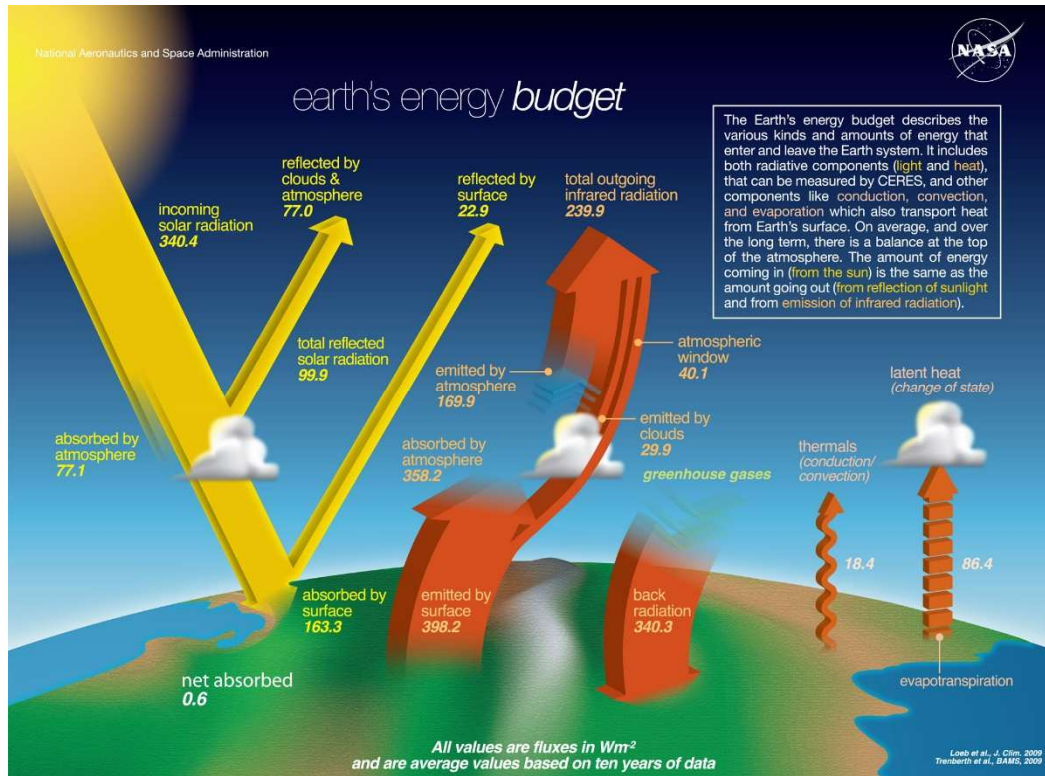


Effet de serre (Greenhouse effect)



https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_de_serre

Devenir des rayonnements solaires atteignant l'atmosphère terrestre :

- ✓ 30 % réfléchis, c'est-à-dire renvoyés vers l'espace, par l'air, les nuages blancs et les surfaces claires de la Terre (Arctique et Antarctique mais leur position aux pôles fait qu'elles reçoivent peu d'énergie solaire) ;
- ✓ 20 % absorbés par l'atmosphère ;
- ✓ 50 % absorbés par la surface terrestre.

Albédo ou albedo ou pouvoir réfléchissant d'une surface : rapport du flux d'énergie lumineuse réfléchi au flux d'énergie lumineuse incidente. Grandeur sans dimension.

Le rayonnement absorbé par la surface terrestre est restitué, de jour comme de nuit, en direction de l'atmosphère.

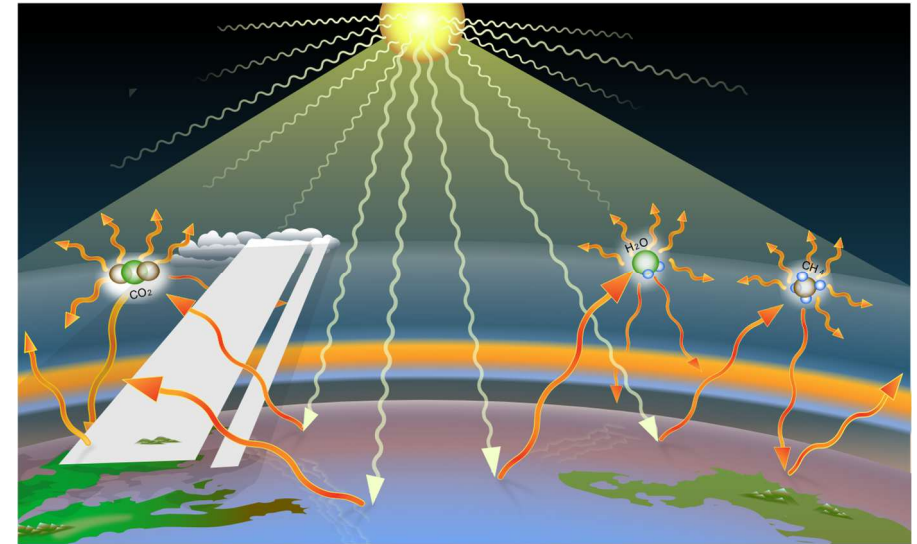
Le transfert de chaleur entre la surface de la Terre et l'atmosphère s'effectue, du chaud (la terre) vers le froid (l'atmosphère), selon différents processus :

- ✓ convection (réchauffement et humidification de l'air au contact du sol puis ascension de cet air) ;
- ✓ libération de la chaleur latente de la vapeur d'eau lorsqu'elle se condense en nuages ;
- ✓ **rayonnements infrarouges lointains dans la plage 8–13 μm principalement, correspondant au rayonnement du corps noir pour la température du sol.**

L'effet de serre ou forçage radiatif ne s'intéresse qu'à ces rayonnements infrarouges émis par la Terre, qui seront absorbés en partie par les gaz à effet de serre, ce qui contribue à réchauffer l'atmosphère.

L'énergie thermique stockée par l'atmosphère est transférée dans toutes les directions :

- ✓ vers l'espace ;
- ✓ vers la Terre et s'oppose donc au refroidissement de la surface.



https://fr.wikipedia.org/wiki/Gaz_%C3%A0_effet_de_serre

Sans effet de serre (i.e. sans vapeur d'eau et sans nuages), à albédo constant, la température moyenne sur Terre chuterait à $-18\text{ }^{\circ}C$.

Mais à cette température la glace s'étendrait sur le globe, l'albédo terrestre augmenterait, et la température se stabiliserait vraisemblablement en dessous de $-50\text{ }^{\circ}C$.

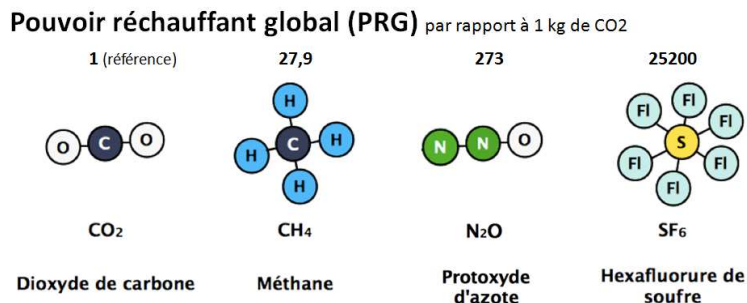
Les gaz à effet de serre (GES) sont des composants gazeux de l'atmosphère qui contribuent à l'effet de serre (sans perdre de vue que l'atmosphère contient d'autres composants non gazeux qui contribuent à l'effet de serre, comme les gouttes d'eau des nuages sur Terre). Ces gaz ont pour caractéristique commune d'absorber une partie des infrarouges émis par la surface de la Terre.

Les principaux gaz à effet de serre sont :

- ✓ la vapeur d'eau ;
- ✓ le dioxyde de carbone (CO_2) ;
- ✓ le méthane (CH_4) ;
- ✓ l'oxyde nitreux (ou protoxyde d'azote, de formule N_2O) ;
- ✓ l'ozone (O_3).

Les gaz à effet de serre industriels incluent les halocarbones lourds (fluorocarbones chlorés incluant les CFC, les molécules de HCFC-22 comme le fréon et le perfluorométhane) et l'hexafluorure de soufre (SF_6).

Le potentiel de réchauffement global (PRG) est le pouvoir réchauffant d'une masse d'un gaz à effet de serre, rapporté au pouvoir réchauffant de la même masse de dioxyde de carbone, pour une durée considérée, souvent de 100 ans. Les estimations généralement utilisées sont les suivantes :



https://fr.wikipedia.org/wiki/Potentiel_de_r%C3%A9chauffement_global

Le potentiel de réchauffement global est un indice de comparaison associé à un gaz à effet de serre (GES), qui quantifie sa contribution au réchauffement climatique comparativement à celle du dioxyde de carbone sur une période donnée.

En d'autres termes, le PRG d'un gaz est le rapport entre les effets causés par la libération en début de période d'une masse donnée de ce gaz et ceux causés par la même masse de dioxyde de carbone (CO₂).

Modélisation simple de l'effet de serre

Données :

- Température de surface du Soleil : $T_s = 5800$ K.
- Rayon du Soleil : $R_s = 700\,000$ km.
- Distance Terre-Soleil : $d_{TS} = 150$ millions de km.
- Rayon de la Terre : $R_T = 6400$ km.
- Constante de Stefan : $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$.

Complément - Ondes sphériques

La puissance émise à la surface du soleil est associée à **une onde sphérique**.

Dans le cas d'une onde sphérique (électromagnétique, acoustique...), on démontre que les champs décroissent en $1/r$, la densité surfacique de puissance décroît alors en $1/r^2$: la puissance traversant une surface d'onde (sphérique centrée sur la source) est donc constante.

Pour une onde sphérique dans un milieu non absorbant, la puissance associée à une surface d'onde de rayon r à l'instant t est égale à la puissance associée à la surface d'onde de rayon r' à l'instant t' .

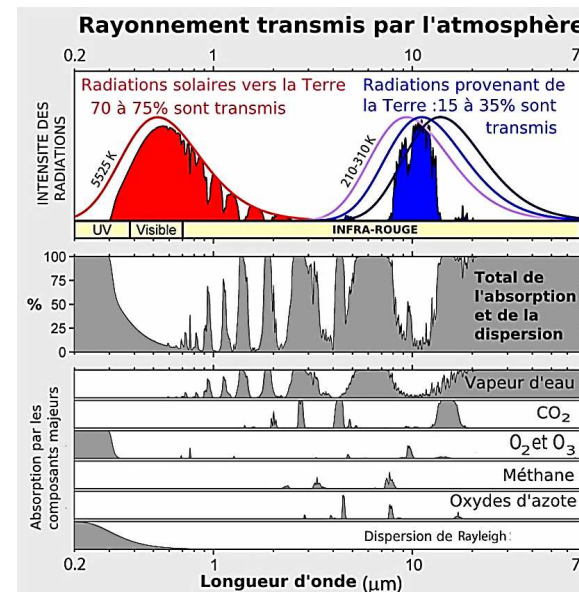
Autrement dit, la puissance P véhiculée par une surface d'onde est constante mais la densité surfacique de puissance ϕ diminue puisque l'aire de la surface d'onde augmente au cours de la propagation : $P = \iint_{M \in \text{sphère}} \phi(r) dS(r) = \phi(r) \times 4\pi r^2 = \text{cte}$.

Rq : en électromagnétisme et en acoustique, on écrit : $P = \iint \vec{\Pi} \cdot d\vec{S}$ où $\vec{\Pi}$ est le vecteur de Poynting (analogue à \vec{j}_Q en diffusion thermique).

Effectuer un calcul littéral et une application numérique pour toutes les questions nécessitant un résultat quantitatif.

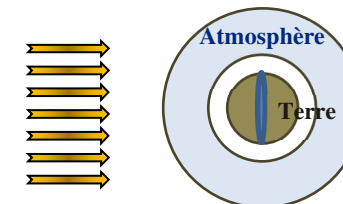
Préliminaires - Flux solaire reçu sur la Terre

- Justifier à l'aide du graphe n°1 du document « Rayonnement transmis par l'atmosphère » ci-dessous qu'en première approximation, le flux solaire reçu par l'atmosphère est effectivement reçu à la surface de la Terre.



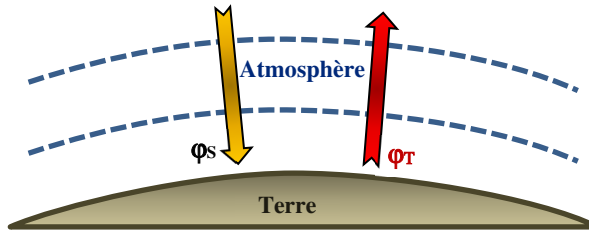
Par Robert A. Rohde — common[1], CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2978910>

- Exprimer la puissance totale P_s émise par le Soleil en l'assimilant à un corps noir en fonction de R_s , σ et T_s et faire l'application numérique.
- En utilisant les informations fournies sur les ondes sphériques, exprimer la puissance surfacique moyenne reçue au sommet de l'atmosphère ou flux solaire moyen ou **constante solaire** ϕ_s en fonction de R_s , σ , T_s et d_{TS} . Faire l'application numérique.
- En déduire la puissance $P_{S \rightarrow T}$ reçue par la face éclairée de la Terre en fonction de R_T et ϕ_s , en négligeant la réflexion par l'atmosphère et en assimilant la face éclairée à un disque et non à une demie sphère. Commenter l'application numérique. Pour mémoire la puissance d'une centrale nucléaire est de l'ordre de 1 GW.



Température à la surface de la Terre sans effet de serre sans albedo

On néglige ici l'effet de serre, c'est-à-dire le piégeage par l'atmosphère du rayonnement thermique de la Terre. On néglige donc l'influence de l'atmosphère : le flux thermique issu de la Terre est renvoyé vers l'espace.



Dans toute la suite et sur les schémas, ϕ désigne une puissance surfacique en Wm^{-2} .

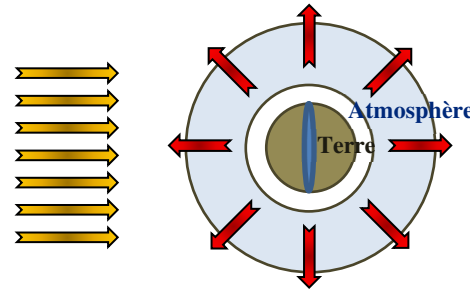
On a noté ϕ_s la puissance surfacique moyenne reçue au sommet de l'atmosphère.

On note ϕ_T la puissance surfacique radiative moyenne émise par la Terre, assimilée à un corps noir à la température T_T , dans l'espace.

5. Rappeler la loi de Stefan appliquée à la Terre. Comparer les notations M et ϕ_T .

💡 Afin de calculer la température T_T de la Terre on va effectuer un **bilan radiatif** (bilan de puissance) traduisant l'équilibre thermique *global* de la Terre.

On néglige tous les échanges autres que radiatifs tels que la convection par exemple.



6. Effectuer un bilan radiatif (schéma ci-dessus) en précisant :

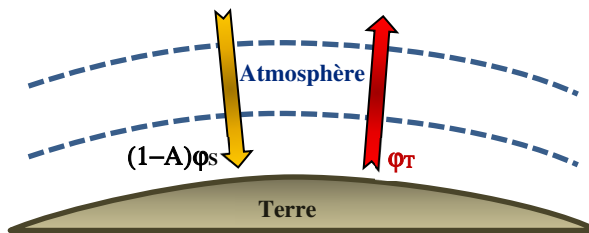
- ✓ la puissance reçue par la surface exposée au soleil en fonction de ϕ_s ;
- ✓ la puissance émise vers l'espace par la totalité de la Terre assimilée à un corps noir à la température T_T en fonction de ϕ_T .

En déduire ϕ_T en fonction de ϕ_s .

En déduire T_T en fonction de T_S , R_S et d_{TS} , calculer sa valeur et commenter.

Température à la surface de la Terre sans effet de serre avec albedo

En réalité, l'albedo de la Terre est $A \approx 0,3$ (30% des rayonnements réfléchis).



7. Corriger le bilan radiatif précédent et en déduire la nouvelle valeur de T_T .

Exprimer ϕ_T en fonction de ϕ_s et A .

Comparer la valeur de ϕ_T à la valeur indiquée sur le document de la NASA page 1.

Commenter.

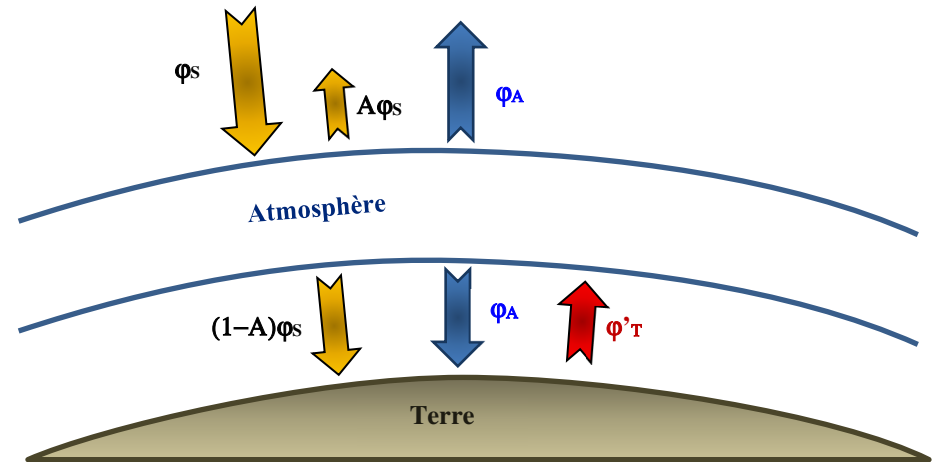
Température à la surface de la terre avec effet de serre et albedo

La température moyenne sur Terre n'est pas -18°C : le modèle doit tenir compte de l'effet de serre.

Modèle monocouche de l'atmosphère.

- ✓ Transparente dans le visible et réfléchissant une proportion A (**albédo**) du flux solaire incident. $A \approx 0,3$.
- ✓ Parfaitement absorbante dans le domaine infrarouge : l'atmosphère se comporte comme un corps noir à la température T_A dans le domaine infrarouge. Que peut-on dire de cette hypothèse à la lumière du graphe n°2 page 2 ?
- ✓ L'atmosphère émet un rayonnement de puissance ϕ_A en direction de la Terre et de l'espace.
- ✓ On néglige l'épaisseur de l'atmosphère devant le rayon de la Terre.

💡 Le flux ϕ_T rayonné par la Terre est capté en partie par les gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère qui émet à son tour un flux vers la Terre, contribuant ainsi à la réchauffer : c'est l'effet de serre.



8. Écrire, en fonction de ϕ_s , A , ϕ_A et ϕ_T' , les deux équations traduisant l'équilibre thermique :

- de la Terre assimilée à un corps noir à la température T_T' ;
- de l'atmosphère.

En déduire ϕ_T' en fonction de ϕ_s et A .

Exprimer et calculer la nouvelle valeur de la température de la Terre T_T' . Commenter.

9. En déduire la température de l'atmosphère assimilée à un corps noir.