

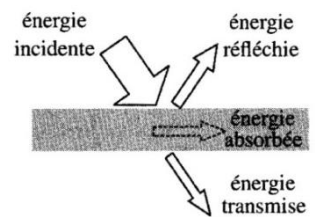
APPROCHE DESCRIPTIVE DU CORPS NOIR. L'EFFET DE SERRE.

I. Corps Noir.

1°) Définition.

Un corps en équilibre thermodynamique à la température T et avec le rayonnement qui l'entoure reçoit et émet en permanence un rayonnement de spectre continu qui dépend du matériau.

Schéma des échanges énergétiques électromagnétiques (fig. ci-contre) :



Modèle théorique du CN. "Un corps noir absorbe tout à toute λ ".

⇒ ne transmet ni ne réfléchit ce qu'il reçoit.

- En pratique : cela n'existe pas ! Seulement dans certain domaine de λ .

Exemples : plaque recouverte de noir de fumée dans le visible, brique pour les IR.

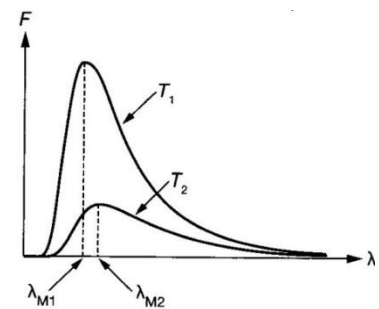
enceinte trouée de taille S petite, à l'équilibre thermique. Tout ce qui entre a peu de chance d'en sortir. Le rayonnement de ce trou s'approche du rayonnement du CN.

2°) Densité spectrale

Un CN émet une puissance surfacique (W/m^2) $\varphi = \frac{dP}{dS}$. C'est ce flux surfacique φ que l'on décompose suivant les λ par $\varphi = \int F(\lambda, T) d\lambda$. $F(\lambda, T)$ est la densité spectrale de la puissance surfacique.

Depuis les travaux d'Einstein sur l'effet photoélectrique, la relation de Planck-Einstein $E = h\nu$ est associée à l'énergie du photon concept introduit par Planck pour étudier le CN.

Loi de Planck : $F(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \exp(hc / \lambda k_B T) - 1}$. Graphe avec $T_2 < T_1$:



98 % du flux surfacique est émis entre $0,5 \cdot \lambda_m$ et $8 \cdot \lambda_m$.

3°) Loi de Wien

$F(\lambda)$ passe par un maximum pour $\lambda_m T = 2900 \mu m K$. On peut retenir 3000 ou $3 \cdot 10^{-3} mK$.

AN : Soleil $T_S = 5800 K \Rightarrow \lambda_m = 0,5 \mu m$ (visible Jaune !)

Terre ou homme $T = 300 K \Rightarrow \lambda_m = 10 \mu m$ (IR)

Rayonnement Fossile (caractéristique de "juste après le big bang") c'est de la radio à $\lambda_m = 1 mm$ donne $T = 3K$ (Découvert par Penzias et Wilson).

4°) Loi de Stefan

On calcule le flux surfacique total sur toute les λ . On établit que $\varphi = \sigma T^4$, où $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$ est la **constante de Stefan** (Loi expérimentale établie en 1879 par Stefan, puis justifiée par Boltzmann en 1884).

Remarque 1 : si le corps n'est pas noir ("gris") on a $\varphi_{CG} = \alpha \varphi_{CN}$, avec $\alpha < 1$.

Remarque 2 : aspect d'un CN ? on ne voit pas le rayonnement qu'il réfléchit puisqu'il n'en réfléchit pas ! Seulement ce qu'il émet soit la "couleur" de λ_m .

II. Effet de Serre.

1°) Flux Solaire au niveau de la Terre.

Loi de Stefan au Soleil $\Rightarrow P_s = 4\pi R_s^2 \sigma T_s^4$ avec $T_s = 5800 K$ et $R_s = 700\,000 km$. $P_s = 4 \cdot 10^{26} W$!

Du fait de l'isotropie du rayonnement, au niveau de la Terre une section πR_T^2 reçoit de la part du Soleil :

$P_{ST} = \frac{\pi R_T^2}{4\pi (TS)^2} P_s$, soit $P_{ST} = 1,8 \cdot 10^{17} W \approx 2 \cdot 10^8 GW$ (ou tranche de centrale nucléaire !).

φ_S au niveau de la Terre : $\varphi = \frac{P_s}{4\pi (TS)^2} = 1400 W \cdot m^{-2}$. ♥

Remarque 3 : Au sol, à cause de l'atmosphère, **ce flux est plutôt de l'ordre de 900 à 1000 W/m^2** .

Une partie du flux lumineux solaire est réfléchi par la Terre et son atmosphère : c'est l'"**albédo**" noté **A**. Pour la Terre il est en moyenne de 0,3 (30 % réfléchi et 70 % transmis).

2°) Température d'équilibre de la Terre sans atmosphère

La Terre rayonne la puissance $P_T = 4\pi R_T^2 \sigma T_T^4$. En régime permanent d'équilibre thermique, cette puissance doit être égale à la puissance reçue du Soleil, soit : $4\pi R_T^2 \sigma T_T^4 = \frac{\pi R_T^2}{4\pi (TS)^2} 4\pi R_S^2 \sigma T_S^4 \Rightarrow T_T = T_S \left(\frac{R_S}{2(TS)} \right)^{1/2} = 280 \text{ K} = -7^\circ \text{C}$

Si on tient compte de l'albédo **A** on trouve plutôt $T_T = (1 - A)^{1/4} T_S \left(\frac{R_S}{2(TS)} \right)^{1/2} = 256 \text{ K} = -17^\circ \text{C}$.

La valeur obtenue est un peu faible.
Il faut tenir compte de l'atmosphère...

3°) Température d'équilibre de la Terre avec atmosphère.

a) les hypothèses.

- L'atmosphère est considérée comme une couche sphérique (d'épaisseur 15 à 80 km négligeable devant le rayon terrestre $R_T = 6400 \text{ km}$) de même surface que la Terre à la température T_A proche de T_T .

- Le soleil (5800 K) émet avec $\lambda_m = 0,5 \mu\text{m}$.

- La terre ou l'atmosphère (300 K) émettent avec $\lambda_m = 10 \mu\text{m}$.

⇒ Compte tenu de ces différences de λ_m , il est légitime de supposer que l'atmosphère est transparente au rayonnement solaire et est un corps noir absorbant le rayonnement IR terrestre.

b) bilans.

Les hypothèses précédentes permettent de modéliser les flux thermique comme sur le schéma ci-contre.

Le bilan de l'atmosphère donne : $\varphi_T = 2\varphi_a$.

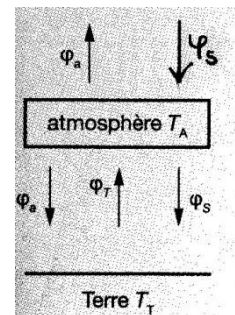
et celui de la Terre donne : $\varphi_S + \varphi_a = \varphi_T$. On en déduit que $\boxed{\varphi_T = 2\varphi_S}$.

Remarque 4 : on retrouve le bilan global Terre + Atm : $\varphi_a (= \varphi_T / 2) = \varphi_S$!

AN : Les résultats précédents sont multipliés par $2^{1/4} = 1,19$.

Sans tenir compte de l'albédo $T_T = 332 \text{ K} = 60^\circ \text{C}$ (un peu chaud !)

Avec l'albédo : $T_T = 304 \text{ K} = 31^\circ \text{C}$ (c'est mieux !)



Remarque 5 : Dans tous les cas T_a vaut les valeurs précédentes de 2°) puisque $\varphi_a = \varphi_S$, soit plus froid que la Terre.

Variante plus réaliste : une amélioration consiste en supposant que l'atmosphère absorbe $\alpha\varphi_S$ du rayonnement solaire (l'ozone absorbe les UV et l'eau les IR) la Terre ne reçoit que $(1 - \alpha)\varphi_S$, avec α de l'ordre de 30 %.

Pour la Terre $(1 - \alpha)\varphi_S + \varphi_a = \varphi_T$.

Pour l'atmosphère : $\varphi_T + \alpha\varphi_S = 2\varphi_a$.

On retrouve au total pour l'ensemble $\varphi_S = \varphi_a$. Donc $\boxed{\varphi_T = (2 - \alpha)\varphi_S}$.

Le coefficient multiplicatif n'est plus que de $(2 - \alpha)^{1/4} = 1,14$.

On trouve sans l'albédo $T_T = 319 \text{ K} = 46^\circ \text{C}$ et **avec l'albédo** $\boxed{T_T = 292 \text{ K} = 19^\circ \text{C}}$.

Remarque 6 : dans tous les modèles l'albédo n'est pas négligeable, il faut donc remplacer φ_S par $(1 - A)\varphi_S$ qui donne des AN plus proches de la réalité.

Conclusion :

La température du sol obtenue est plus importante avec la présence de l'atmosphère : c'est l'effet de serre (φ_a vient renforcer φ_S). Son efficacité est liée à la présence de molécules absorbant les IR, transparentes au visible : ce sont les gaz à effet de serre (CO_2 le plus "populaire", H_2O , CH_4 , N_2O).

Remarque 7 : ne pas confondre les gaz à effet de serre (réchauffement climatique) avec les gaz qui détruisent la couche d'ozone (en haute atmosphère) et qui nous protègent des UV du Soleil (certains fréons interdits aujourd'hui et utilisés autrefois dans les réfrigérateurs).

Remarque 8 : l'effet de serre explique la température élevée que peut atteindre l'intérieur d'une voiture exposée au soleil, la vitre jouant le rôle de l'atmosphère.