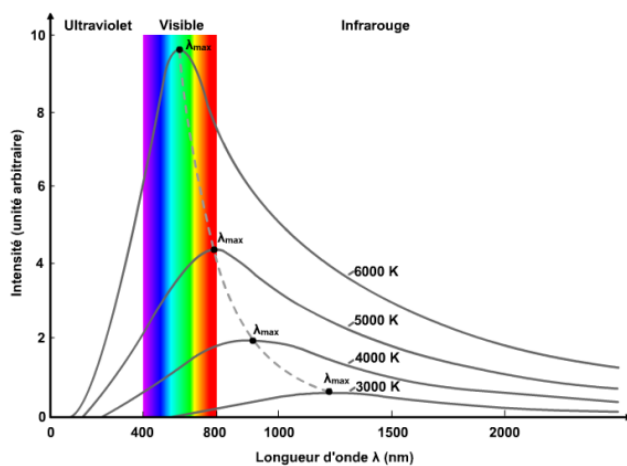


Leçon n°17 : Rayonnement d'équilibre thermique, corps noir

Niveau	Licence
Prérequis	Physique statistique Thermodynamique (équilibre thermique)
Biblio	
Plan	<p>I. <u>Rayonnement d'équilibre thermique</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Position du problème 2. Loi de Planck 3. Loi du déplacement de Wien 4. Loi de Stefan <p>II. <u>Modèle du Corps Noir</u></p> <p>III. <u>Application : l'effet de serre</u></p>

I) Loi de Planck : à la base pour suivre les modèles expérimentaux

3) Loi de déplacement de Wien :



Surface du soleil	5800 K	500 nm	Visible
Lampe incandescente	3000 K	1 microm	Infrarouge
Surface de la Terre	300 K	10 micro m	Infrarouge lointain

II)

Ouverture qui, on suppose, ne va pas perturber l'équilibre thermique de la cavité.

En **physique**, un **corps noir** désigne un objet idéal qui absorbe parfaitement toute l'énergie électromagnétique (toute la lumière quelle que soit sa longueur d'onde) qu'il reçoit. Cette absorption se traduit par une agitation thermique qui provoque l'émission d'un rayonnement thermique, dit *rayonnement du corps noir*.

La loi de Planck décrit le spectre de ce rayonnement, qui dépend uniquement de la température de l'objet. La loi du déplacement de Wien détermine la fréquence de la luminance spectrale maximale, et la loi de Stefan-Boltzmann donne la densité de flux d'énergie émise, qui ne dépend elle aussi que de la température de l'objet.

Le nom *corps noir* a été introduit par le physicien Gustav Kirchhoff en 1862. Le modèle du corps noir permit à Max Planck de découvrir la quantification des interactions électromagnétiques, qui fut un des fondements de la physique quantique.

Albédo : partie réfléchi du rayonnement incident. $A = 0,31$. Elle absorbe 31 % de ce qu'elle reçoit.

b) Atmosphère : totalement transparente par rapport au P_s (reçue) et absorbe totalement le rayonnement thermique émis par la Terre.

On suppose ; Soleil, Terre, Atmosphère sont des corps noirs

Ozone stratosphérique : absorbe rayonnement UV. —> Trop élevé. Donc on fait une correction tel que l'atmosphère absorbe $\alpha = 0,33$.

Tt ce qui est reçu par la terre n'est pas forcément réémis, car une partie sert à l'évaporation des océans

Questions :

- Dans la cavité du début qu'est ce qu'il y a ? Du vide.
- Si on a un milieu à la place du vide ? Dans la loi de Planck ? Est ce qu'on prend le λ du vide ou du milieu ?

??? Le prof ne sait pas lui même.

- Analyse dimensionnelle de U pour savoir si c'est une énergie volumique ?

Non des $J.s.m^{-3}$ Energie par unité de volume et par unité de temps.

Unudnu ; energie par unité de volume.

CP 17 : Rayonnement d'équilibre thermique (corps noir).

Niveau: Licence (L3)

PR : Physique Statistique

Thermodynamique (Eq thermique)

Intro: Etude de l'intensité rayonnement matière.

I. Rayonnement d'équilibre thermique

1) Position du problème



→ Rayonnement thermique du la cavité

2 conditions:

- Equilibre thermique: $T = \text{cst}$ et homogène

- Equilibre radiatif: $\Phi_{\text{absorbé}} = \Phi_{\text{émis}}$

$$\text{donc } \Phi_R = \Phi_{\text{abs}} - \Phi_{\text{émis}} = 0$$

gaz de photons du vide

2) Loi de Planck

→ Répartition spectrale d'énergie du Rayonnement

$$U_\nu(\nu, T) = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}$$

Energie volumique / t.

Loi de Planck 1900.

→ Loi universelle

→ dép de T

→ ne dp pas du matériau

discuter forme de la courbe.

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad U_\lambda = U_\nu \left| \frac{d\nu}{d\lambda} \right| = \frac{8\pi h \nu}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{k_B T \lambda}} - 1}$$

→ Comparaison avec d'autre modèle:

→ Bi de Wien

→ Rayleigh - Jeans

• Approximation Wien: $\lambda \ll \frac{hc}{k_B T} \Rightarrow U_\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} e^{-\frac{hc}{k_B T}}$ (h et k str juste des cst (inconnues au début + tard))

• Approximation de Rayleigh: $\lambda \gg \frac{hc}{k_B T} \Rightarrow U_\lambda = \frac{8\pi h T}{\lambda^4} = \frac{8\pi \nu^3 k_B T}{c^3}$

→ catastrophe Ultraviolette

3) Loi du déplacement de Wien

→ Courbe de $\lambda = f(T)$

$$\left(\frac{\partial U_\lambda}{\partial \lambda} \right) = 0 \quad \text{avec } U_\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1} \quad \text{densité proba spectrale}$$

pose = 0.

$$\rightarrow (e^y - 1) \frac{5}{y} e^{-y} = 0.$$

\Rightarrow Résolution numérique uniquement : $y = 4.965 = \frac{hc}{\lambda kT}$

donc $\lambda_{\max} T = \frac{hc}{4.965 \cdot k} = 2.898 \text{ nm} \cdot \text{K}$ *Loi du déplacement de Wien*

Exemple ordre de grandeur : Surface du Soleil : 5800 K \rightarrow 500 nm visible
 Lampe incandescente : 300 K \rightarrow 1 μm IR
 Surface de la Terre : 300 K \rightarrow 10 μm IR lointain

On a 98% de la densité spectrale dans $\left[\frac{\lambda_{\max}}{2} ; 8\lambda_{\max} \right]$.

4) Loi de Stefan

$$\varphi_{\lambda} = \frac{c}{4} u_{\lambda}$$

d'abord densité vol d'ondes de la boîte \rightarrow passage sort.

$$\Rightarrow \varphi(T) = \int_0^{\infty} \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} d\lambda = \int_0^{\infty} \frac{2\pi k_B^4 T^4}{h^3 c^2} \frac{x^3}{e^x - 1} dx$$

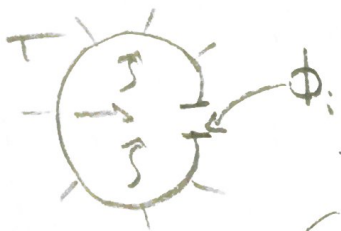
$$\varphi(T) = \frac{2\pi^5 k_B^4}{15 c^2 h^3} T^4$$

σ : constante de Stefan
 $= 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$
 \rightarrow universelle.

$\Rightarrow \underline{\varphi(T) = \sigma T^4}$

II. Modèle du corps noir

$$\Phi_i = \Phi_{\text{absorbé}}$$



enveloppe = Corps noir \rightarrow absorbe totalement Rayon incident.

Le corps noir absorbe intégralement les rayonnements incidents quelque soit la direction et la longueur d'onde du Ray
 • émettre un rayonnement associé à sa température
 (suivant la loi de Planck).

Corps gris qd il n'absorbe pas totalement.

Noir car émet dans des λ que l'on ne voit pas.

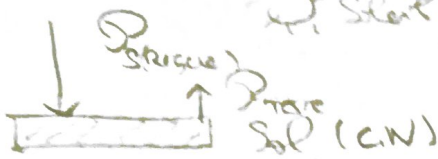
C.N = corps idéal.

Exemple : Verre \Rightarrow C.N dans l'IR
 \Rightarrow ~~C.N~~ dans le visible

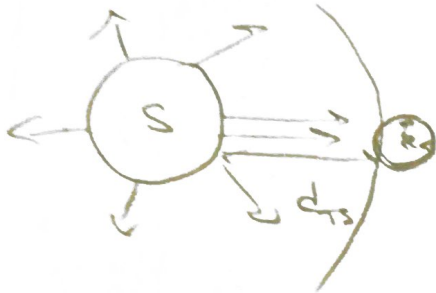
III. Application - Effet de Serre

(2)

a. Sans atmosphère



$$P_s = 4\pi R_s^2 \sigma T_s^4 = 4 \cdot 10^{26} \text{ W} \quad T_s = 5800 \text{ K} \quad R_s =$$



$$P_{surfacique} = \frac{P_s}{4\pi d_{TS}^2}$$

$$d_{TS} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

$$\begin{aligned} P_{solaire} &= P_{surfacique} \times \pi R_T^2 \\ &= \sigma T_s^4 \pi \frac{R_s^2 R_T^2}{d_{TS}^2} \\ &= 1,8 \cdot 10^{17} \text{ W} \end{aligned}$$

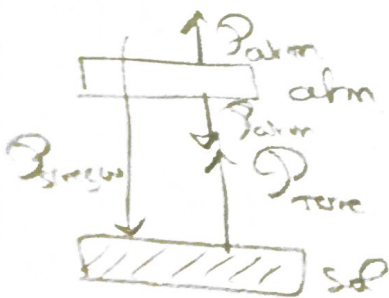
$$P_{terre} = \sigma T_s^4 (4\pi R_T^2)$$

Albedo : $A = 0,31$ (%) absorbe 31% de ce qu'elle reçoit.

$$(1-A) P_{solaire} = P_{terre}$$

$\Rightarrow T_{sf} = -18^\circ \text{C}$. Valeur très faible. Nécessité de prendre en compte l'atmosphère.

b. Avec Atmosphère



atmosphère : absorbe P_{terre} transmet $P_{solaire}$ totalement.

\rightarrow épaisseur : $e_A = 300 \text{ km} \ll R_T$

$$S_{atm+terre} \approx S_{terre}$$

$$A_{terre+atm} \approx A_{terre}$$

Bilan : Pour la Terre + atmosphère : $(1-A) P_{solaire} = \sigma 4\pi R_T^2 T_{atm}^4$

Pour la Terre : $(1-A) P_{solaire} + \sigma T_{atm}^4 (4\pi R_T^2) = \sigma T_{sf}^4 (4\pi R_T^2)$

$\Rightarrow T_{sf} = 30^\circ \text{C} \rightarrow$ trop élevé.

Amélioration du modèle : \rightarrow atm absorbe l'U.V.

Correction : On suppose que l'atmosphère absorbe α du rayonnement
 $\rightarrow \alpha = 0,33$
 on trouve $T_{sf} = 17^\circ \text{C}$ satisfaisant.

On peut encore améliorer le modèle car tout ce qui est reçue par la Terre n'est pas réémis.

Questions

- Si on remplace le vide par un gaz avec une densité ?

C'est-ce que cela change à la loi de A?

- $\phi_a [W \cdot m^{-2}]$ flux surfacique

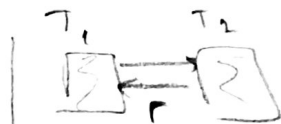
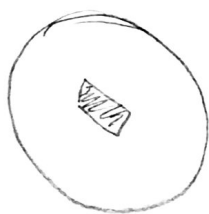
$$P = \frac{E}{t} \text{ puissance}$$

$$= \frac{c}{u} u_a = \frac{ms^{-1} \cdot S}{m^2 \cdot s} = S/m^2$$

- Pourquoi Atmosphère rayonne ? En haut et bas partout ?

Non

- Eq. avec les pouvoirs



Penser que les corps noirs émettent et reçoivent ce qu'émet et reçoit l'autre.

$$① U_a S \frac{d\Omega}{4\pi}$$

Angle solide

$$1 \rightarrow 2 \cdot L_e S_1 d\Omega_1 = L_e S_1 d\Omega \frac{S_2}{r^2}$$

$$2 \rightarrow 1 L_e S_2 d\Omega_2 = L_e S_2 d\Omega \frac{S_1}{r^2}$$



Regarde la m chose.

On se fiche des points.
Perez.

→ Appl. cat° : fluide de température. (un ou autre)

LP17 : Rayonnement d'équilibre thermique.

Corps noir.

Niveau : Licence

Pré-requis : Physique statistique, équilibre thermique/thermodynamique

Bibliographie:

Sanz. Physique tout-en-un. Dunod. (cours bien + partie III)

J.M Brébec. Hprépa -Thermodynamique

C.More. MP/MP*,PT/PT*. Tec&Doc

Faroux, Renault - Thermodynamique

Introduction :

Le rayonnement est un mode de transfert thermique, comme la convection ou la conduction. Dans un milieu matériel, la propagation du rayonnement est modifiée par l'interaction de l'onde avec le milieu. (ex: objet en plein soleil). Ces caractéristiques nécessitent d'étudier l'interaction matière-rayonnement.

I-Rayonnement d'équilibre thermique

1) Position du problème

On considère une cavité fermée remplie d'un gaz de photon à la température T . L'agitation thermique des particules au sein de la surface des parois est à l'origine d'un rayonnement thermique : création d'une onde EM. (L'énergie interne du matériau convertie en énergie de rayonnement.)

Dessin cavité

Après un certain temps, peut-on définir un équilibre de rayonnement? Un rayonnement d'équilibre thermique respecte les conditions d'équilibre thermique et radiatif.

Equilibre thermique signifie que la température est homogène et constante notamment sur la paroi, il faut donc que la paroi soit aussi à l'équilibre radiatif afin qu'elle ne s'échauffe pas il faut que $\Phi_{\text{absorbé}} = \Phi_{\text{émis}}$, $\Phi_R = 0 = \Phi_{\text{émis}} - \Phi_{\text{absorbé}}$.

Le rayonnement thermique à l'équilibre régnant dans l'enceinte présente des propriétés remarquables et ne dépend que de la température.

2) Loi de Planck

La loi de Planck décrit la répartition spectrale d'énergie du rayonnement d'équilibre thermique décrit précédemment, soit u_ν l'énergie par unité de volume au sein de la cavité à la température T :

En 1900:
$$u_\nu(\nu, T) = \frac{8 \cdot \pi \cdot h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{\left(\frac{h\nu}{kT}\right)} - 1}$$

On reconnaît la forme de distribution de Bose-Einstein.

(Expression équivalence en $\lambda = c/\nu$, attention cependant u_ν et u_λ n'ont pas la même dimension.)

→ Loi universelle et indépendante du matériau de la cavité, dépend uniquement de la température.

Historiquement, Planck l'a obtenue de manière phénoménologique et a permis de bien reproduire les résultats expérimentaux. On voit l'apparition dans la formule du quanta d'énergie $E=h \cdot \nu$. Ce fut la 1ère formulation du quantum d'énergie = notion de photon (que Planck ne pensait pas → juste formulation mathématique). → C'est alors le début de la physique quantique.

- Approximation de Rayleigh-Jeans

Pour les grandes longueurs d'ondes $\lambda \gg hc/kT$, $\exp(hc/\lambda kT) \approx 1 + hc/\lambda kT$

On retrouve la loi de RJ : $u_\lambda = \frac{8 \cdot \pi \cdot k \cdot T}{\lambda^4}$

On voit ici que la notion de quanta d'énergie n'apparaît pas. (On a fait ici l'inversement du raisonnement historique).

(A savoir : historiquement, la cavité est représentée comme un ensemble d'oscillateurs harmonique et l'énergie moyenne à T est $k \cdot T$ et ce quelque soit la fréquence de l'oscillateur → mécanique classique).

→ C'est ce qu'on a appelé la catastrophe ultraviolette car u_λ diverge vers l'infini, cela signifierait que l'énergie volumique dans la cavité est infini.

- Approximation de Wien

On retrouve pour des faibles longueurs d'ondes : $\lambda \ll hc/kT$

$$u_\lambda = \frac{8 \cdot \pi \cdot h \cdot c}{\lambda^5} e^{-\frac{hc}{k \cdot T \cdot \lambda}}$$

On retrouve la loi de Wien trouvée expérimentalement mais qui faussait pour les grandes λ .

→ Ces 2 lois qui sont des conséquences de la loi de Planck, mais trouvées avant.

3) Loi du déplacement de Wien

Les courbes $u_\lambda(\lambda)$ à T fixé présentent toutes un maximum pour une certaine longueur d'onde λ_{\max} .

$$\left(\frac{\partial u_\lambda}{\partial \lambda} \right)_T = 0 \text{ avec } u_\lambda = \frac{8 \cdot \pi \cdot h \cdot c}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right)} - 1}$$

$$\Leftrightarrow e^y - 1 = (y/5) \cdot e^y \text{ avec } y = hc/\lambda kT$$

$(e^y - 1) \cdot (5/y) \cdot e^{-y} = 0 \rightarrow$ résolution numérique (pas de solution analytique) $y = 4.965$

$$\text{soit } y = hc/kT \lambda_{\max} = 4.965$$

$$\lambda_{\max} \cdot T = h \cdot c / k \cdot 4.965 = 2.898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

On remarque que $h \cdot c / k \cdot 4.965$ est une constante universelle car elle est uniquement liée aux constantes universelles h, c, k .

→ Calcul de 2 points en liant avec graphe précédent :

Soleil → $T \approx 5900\text{K}$ → $\lambda \approx 500\text{ nm}$

Lampe incandescente → $T \approx 3000\text{K}$ → $\lambda \approx 966\text{ nm}$

Terre surface → $T \approx 290\text{ K}$ → $\lambda \approx 10\text{ }\mu\text{m}$ (IR lointain)

On remarque que les rayonnements les plus énergétiques (λ_{max} le plus petit) correspondent bien à température élevée. De plus 98% de la densité spectrale se situe entre $[\lambda_{\text{max}}/2 \text{ et } 8\lambda_{\text{max}}]$, au delà elle est négl.

4) Loi de Stefan

Flux total du rayonnement d'équilibre thermique.

On a le flux surface incident sur une paroi : $\varphi_\lambda = c/4 \cdot u_\lambda$ (excitante spectrale)

On peut alors déterminer le flux total surfacique incident :

$$\varphi(T) = \int_0^\infty \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{(\frac{hc}{\lambda kT})} - 1} d\lambda$$

on pose $x = hc/\lambda kT$, $dx = -(hc/\lambda^2 kT) \cdot d\lambda$

$$\varphi(T) = \int_0^\infty \frac{x^3}{e^x - 1} dx = \frac{\pi^4}{15}$$

$$\text{On a } \varphi(T) = \frac{2 \cdot \pi^5 \cdot k^4}{15 \cdot c^2 \cdot h^3} T^4 = \sigma \cdot T^4$$

avec $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$: la constante de Stefan (constante universelle) → Loi valable uniquement si il y a bien un rayonnement d'équilibre thermique.

II - Modèle du corps noir

Réalisons une petite ouverture sur la cavité précédemment décrite sur laquelle on envoie un rayonnement quelconque. L'ouverture absorbe totalement le rayon incident → Corps noir = ouverture.

Un corps noir absorbe l'intégralité du rayonnement incident qu'il reçoit, quelque soit la direction et quelque soit λ et il renvoie un rayonnement associé à sa température, suivant la loi de Planck de sorte que $\Phi_{\text{absorbé}} = \Phi_{\text{émis}}$, afin de respecter $\Phi_R = 0$.

A retenir : Il absorbe intégralement et réémet en conséquence intégralement un rayonnement de Planck.

Le rayonnement émis par un corps noir à l'équilibre radiatif et thermique est égal au rayonnement d'équilibre thermique. Les lois énoncées précédemment s'appliquent au corps noir.

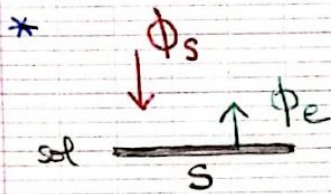
Et ceci fonctionne quelque soit l'ouverture, imaginons une lame semi-réfléchissante (50%) alors l'ouverture absorbe 50% du rayonnement incident et réémet 50% du rayonnement du corps noir → Corps gris.

- ❖ Pourquoi “corps noir”? pour $T=300\text{K} \rightarrow \lambda=9.62\mu\text{m}$ (IR lointain) \rightarrow objet noir à l'oeil nu.
- ❖ Corps noir)= corps idéal. Aucun corps n'absorbe intégralement pour toutes les longueurs d'ondes. Exemple : le verre est un corps noir vis à vis des rayonnement IR à $T=300\text{K}$ mais pas dans le visible (origine de l'utilisation de plaques de verres pour les serres).

III - Application : Effet de serre

III - Application : EFFET DE SERRE

◦ Effet de serre d'une vitre idéale



$$\text{sol} = \text{C.N.}$$

$$\phi_s (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$$

↳ rayonnement solaire

$$P_{\text{recu}} = \phi_s \cdot S$$

$$P_{\text{emis}} = \sigma T_{\text{sol}}^4 S$$

À l'équilibre thermique : $P_{\text{recu}} = P_{\text{emis}}$

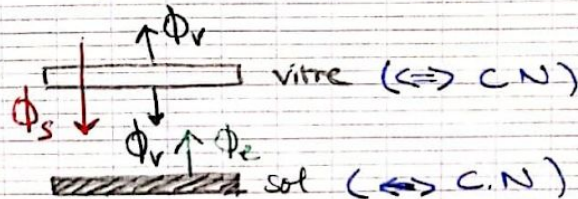
$$T_0 = \left(\frac{\phi_s}{\sigma} \right)^{1/4}$$

A.N : Pour un bon ensoleillement $\phi_s \approx 1 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$

$$\rightarrow T_0 \approx 90^\circ \text{C}$$

(Valeur très élevée, mais calcul sans atmosphère, mais c'est ce qui se passe sur la surface éclairée de la lune.)

* On place une vitre totalement transparente au rayonnement solaire (domaine visible) et totalement absorbante au rayonnement émis par le sol (domaine IR lointain).



Corps à l'éq. thermique :

$$\text{Pour le sol} \quad \phi_s + \sigma T_v^4 = \sigma T_{\text{sol}}^4$$

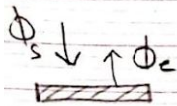
$$\text{Pour la vitre} \quad \sigma T_{\text{sol}}^4 = 2\sigma T_v^4$$

$$\rightarrow \phi_s = \sigma T_v^4$$

$$\rightarrow T_{\text{sol}} = \left(\frac{2\phi_s}{\sigma} \right)^{1/4} \approx 160^\circ \text{C}$$

↳ 1,2 fois plus grande

⇓
EFFET DE SERRE



* Température d'équilibre de la terre SANS ATMOSPHÈRE :

Surface de la Terre résulte d'un équilibre entre l'énergie rayonnante qu'elle reçoit du soleil et ce qu'elle même rayonne.

Puissance totale rayonnée par le soleil :

$$P_s = 4\pi R_s^2 \sigma T_s^4 = 4 \cdot 10^{26} \text{ W}$$

$$(R_s = 7,0 \cdot 10^5 \text{ km}, T_s = 5,8 \cdot 10^3 \text{ K}).$$

↳ émet dans toutes les directions, la

puissance surface au niveau de la Terre.
$$P_{\text{surface}} = \frac{P_s}{4\pi d_{TS}^2} \quad \text{avec } d_{TS} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

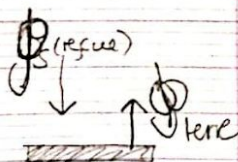
On suppose tous les rayons // entre eux (au vu de la distance d_{ST} OK)
la Terre reçoit :



$$P_{\text{recue}} = \underbrace{\pi \cdot R_T^2}_{\text{surface disque}} \cdot P_{\text{surface}}$$

$$P_{\text{recue}} = \frac{4\pi R_s^2 \sigma T_s^4 \cdot \pi R_T^2}{4\pi d_{TS}^2}$$

$$= \sigma T_s^4 \pi \frac{R_s^2 R_T^2}{d_{TS}^2} = 1,8 \cdot 10^{17} \text{ W}$$



De plus, la Terre réfléchit une partie de l'é solaire (c'est l'albedo A).

Donc la terre absorbe (1-A) de P_{recue} et réémet $P_{\text{terre}} = \sigma T_{\text{sol}}^4 4\pi R_T^2$

$$(1-A)P_{\text{recue}} = P_{\text{emis}} \quad \text{à l'éq. th.}$$

$$\langle A \rangle = 0,31 \Rightarrow T_{\text{sol}} \approx -18^\circ \text{C}$$

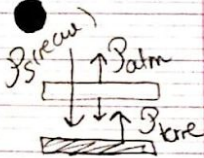
↳ valeur très faible, il faut prendre en compte l'atmosphère

AVEC ATMOSPHERE :

↳ assimilable à une couche sphérique de même centre de la Terre d'épaisseur $e \approx 30 \text{ km} \ll R_T$.
(donc $S_{\text{Terre}} \approx S_{\text{atm.}}$)

$$\begin{cases} \lambda_{\text{max soliel}} = 500 \text{ nm} & (\text{loi de Wien}) \\ \lambda_{\text{max Terre}} = 10 \mu\text{m} & (T = 300 \text{ K}) \end{cases}$$

- ↳ Hyp :
- atmosphère laisse passer une très grande partie du rayonnement solaire \Rightarrow on suppose qu'elle transmet intégralement.
 - atmosphère absorbe totalement le rayonnement de la terre (dû à l'eau qui absorbe les rayonnements de l'ordre de $10 \mu\text{m}$).
 - $A(\text{Terre}) \approx A(\text{Terre} + \text{atm})$



Bilans énergétiques :

$$\{\text{Terre} + \text{atm}\} \Rightarrow (1-A)P_{\text{precue}} = \sigma 4\pi R_T^2 T_{\text{atm}}^4$$

$$\{\text{Terre}\} \Rightarrow (1-A)P_{\text{precue}} + \sigma T_{\text{atm}}^4 4\pi R_T^2 = \sigma T_{\text{sol}}^4 4\pi R_T^2$$

Résultat

$$\Rightarrow T_{\text{atm}} = 255 \text{ K} = -18^\circ \text{C}$$

$$T_{\text{sol}} = 2^{1/4} T_{\text{atm}} = 303 \text{ K} = 30^\circ \text{C}$$

↳ T_p élevée.

⚠ Correction - Amélioration du modèle

→ Atmosphère pas totalement transparente face au rayonnement solaire : ozone stratosphérique absorbe le rayonnement UV (une partie) et l'eau du rayonnement IR

↳ on suppose que l'atmosphère absorbe $\alpha = 0,33$ du rayonnement solaire.

Bilan Énergétique

$$\{ \text{Terre} + \text{atm} \} \Rightarrow (1-A)P_{\text{recue}} = \sigma_0 4\pi R_T^2 T_{\text{atm}}^4$$

$$\{ \text{Terre} \} \Rightarrow (1-A)(1-\alpha)P_{\text{recue}} + \sigma_0 T_{\text{atm}}^4 4\pi R_T^2 = \sigma_0 T_{\text{sol}}^4 4\pi R_T^2$$

$$\hookrightarrow T_{\text{sol}} = 290\text{K} = 17^\circ\text{C} \Rightarrow \text{Satisfaisant.}$$

→ Autres améliorations possibles:

- Atmosphère pas totalement opaque au rayonnement terrestre.
- surface de la Terre ne fait pas qu'émettre du rayonnement, une partie de l'énergie reçue sert à l'évaporation des océans.

Modèle simple mais permet de comprendre ce qu'il se passe, et donne ODE de T_{sol} correct.

Conclusion:

Importance considérable de la notion de rayonnement d'équilibre thermique.

→ Pratique : nombreuses applications (Vase de Dewar, surfaces réfléchissantes argentées pour limiter les pertes du au rayonnement et le chauffage par absorption, cheminée...)

→ Compréhension à permis de poser les fondements de la mécanique quantique et statistique quantique.

Remarques:

-Discuter plus si possible de l'aspect historique : loi de Wien, loi de RJ.

-Connaître démonstration loi de Planck (NgoNgo - p.191)

-Approximation de RJ : avoir une idée de la démonstration historique.

-Démonstration loi de Stefan avec $L=L_0 \cos(\theta)$ (Cf cours Crassous)

-Connaitre fonctionnement pyromètre à disparition de filament.

<http://www.chimix.com/an10/cap10/caplp11.html>