

AD- Bilan radiatif de la Terre

Première partie : Réactiver ses connaissances

Voici une série d'exercices pour faire le point sur les connaissances construites en classe de première enseignement scientifique qui vous seront nécessaires pour comprendre le bilan radiatif terrestre.

Exercice n°1 : Spectre d'émission du Soleil et de la Terre et loi de Wien

1) Indiquer sur la fig. 1 les longueurs d'onde correspondant au domaine visible.

2) Le rayonnement solaire est composé de rayonnement :

UV visible IR

3) Le rayonnement émis par la terre appartient au domaine :

UV visible IR

4) La loi de Wien donne la température de surface d'un corps à partir de la longueur d'onde du maximum d'émission suivant l'expression :

$$T = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{\lambda} \text{ avec } T \text{ en Kelvin et } \lambda \text{ en m}$$

En utilisant la loi de Wien et le spectre d'émission de la Fig. 1, retrouver la température de surface de la Terre.

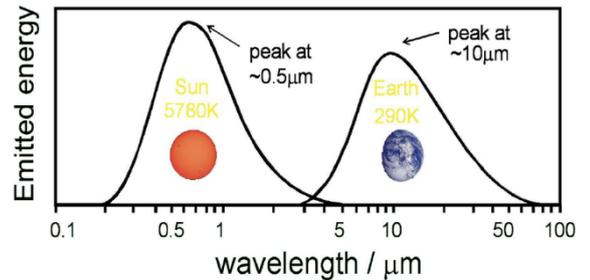


Fig. 1 : Spectre d'émission du Soleil et de la Terre assimilés à des corps noirs de température respective 5780 K et 290 K. Les deux graphes n'ont pas la même échelle verticale.

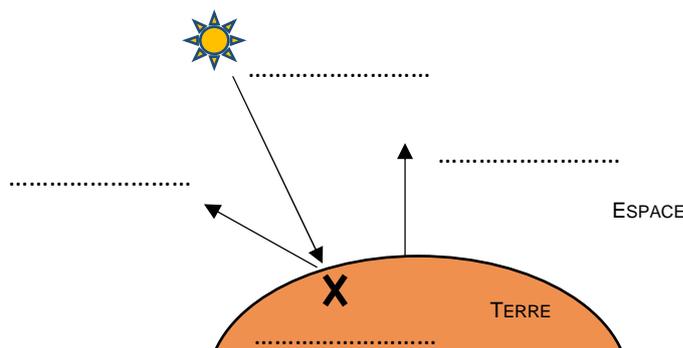
(Source: Richard Tuckett, Climate change: observed impacts on planetEarth)

Données : T (en Kelvin) = θ (en ° Celcius) + 273,15

Exercice n°2 : Vocabulaire et distinction rayonnement solaire et rayonnement IR émis

1- Compléter les éléments du schéma ci-dessous (flèches et croix) avec le vocabulaire de la liste suivante :

rayonnement solaire incident- rayonnement solaire réfléchi- rayonnement solaire absorbé – rayonnement IR émi.



2- Expliquer l'origine du rayonnement solaire réfléchi. De quelle grandeur dépend-il ?

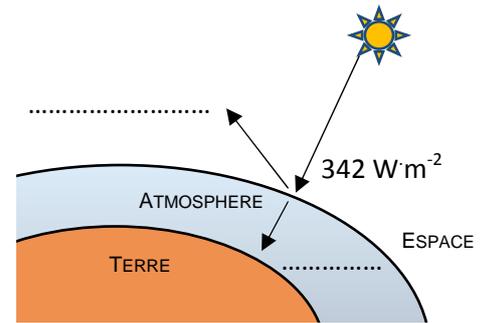
3- Expliquer l'origine du rayonnement IR émis. A quelle grandeur est-il lié ?

Exercice n°3 : Albédo

On considère que l'albédo de la Terre au sommet de l'atmosphère est de 0,31.

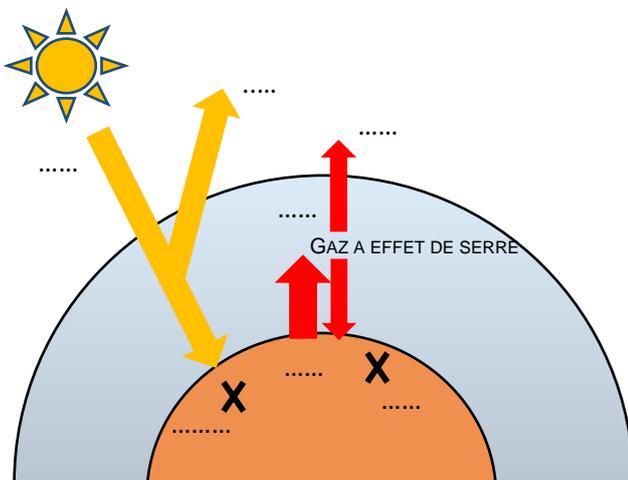
1- Rappeler ce que signifie un albédo de 0,31.

2- Le flux solaire entrant au sommet de l'atmosphère vaut $342 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Déterminer les valeurs des flux solaires réfléchis et reçu par le système {Terre ; atmosphère} de manière à compléter le schéma ci-contre.



Exercice n°4 : Effet de serre

Voici un schéma modélisant l'effet de serre. Indiquer les n° sur le schéma correspondant aux étapes du processus.



- ① Le rayonnement solaire arrive sur Terre.
- ② Une partie du rayonnement solaire est réfléchié par l'atmosphère et la surface de la Terre.
- ③ Une partie de l'énergie solaire est absorbée par la surface de la Terre qui s'échauffe.
- ④ La surface de la Terre émet un rayonnement IR liée à sa température.
- ⑤ Une partie du rayonnement IR émis par la surface terrestre est absorbée par les gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère. L'atmosphère s'échauffe. Du fait de sa température, l'atmosphère émet à son tour un rayonnement IR : une partie sera évacuée vers l'espace ⑥ et l'autre sera absorbée par la surface terrestre ⑦.

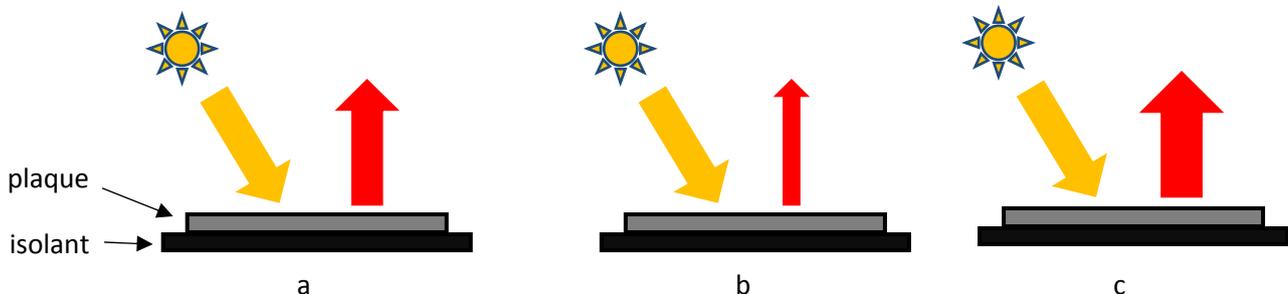
Exercice n°5 : Equilibre dynamique et système

Une plaque est posée sur un isolant.

On s'intéresse au système {plaque}.

Légende :

- Rayonnement solaire reçue par la plaque
- Rayonnement thermique émis par la plaque



1) Relier les informations qui correspondent aux situations a, b et c.

- La plaque se réchauffe • a
- La plaque se refroidie • b
- La plaque est à l'équilibre dynamique • c

- 2) Utiliser les valeurs de la Fig. 1 pour vérifier que
- le système {surface terrestre} est à l'équilibre dynamique
 - le système {atmosphère} est à l'équilibre dynamique
 - le système {Terre ; atmosphère} est à l'équilibre dynamique

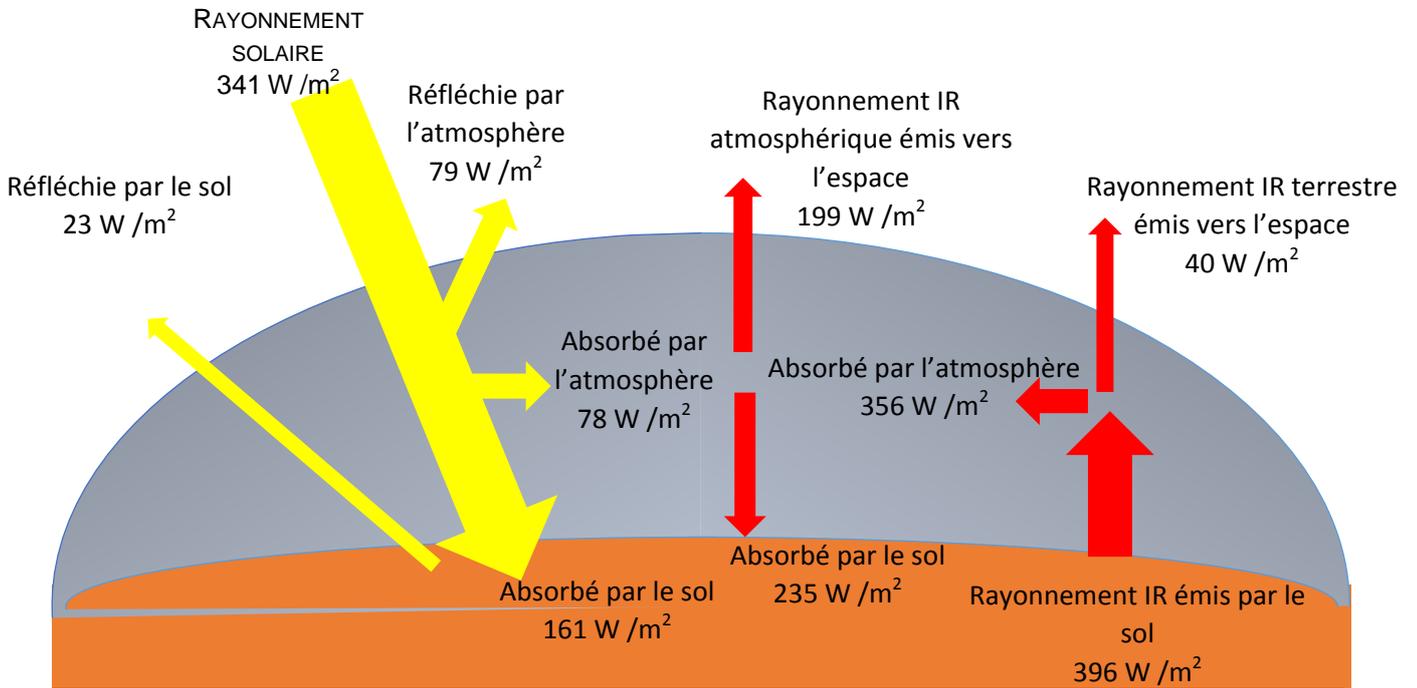


Fig. 1 : Bilan énergétique terrestre moyen pour la période de mars 2000 à mars 2004 (valeurs adaptées de Trenberth et al, 2009))

Les rayonnements de plus courtes longueurs d'onde (issus du rayonnement solaire) sont représentés en jaune Les rayonnements de plus grandes longueurs d'ondes (issus d'émission d'origine thermique) sont représentés en rouge.

Deuxième partie : Comprendre l'influence de l'albédo et de l'effet de serre sur la température du sol terrestre

L'effet de serre est un phénomène naturel provoquant une élévation de la température à la surface de notre planète. [...] On estime que sans cet effet de serre de l'atmosphère, la température moyenne à la surface de la terre serait au plus de - 19°C au lieu des 15°C que nous connaissons.

<http://www.meteofrance.fr>

Le but de cette activité est de comprendre l'influence de l'albédo et de l'effet de serre sur la température de la surface de la Terre. Pour cela on envisage 3 modèles différents :

- premier modèle : seul l'albédo terrestre est pris en compte ;
- deuxième modèle : seul l'effet de serre est pris en compte ;
- troisième modèle : l'albédo et l'effet de serre sont pris en compte.

Pour chacun des modèles on effectue un bilan radiatif afin de déterminer la température de surface de la Terre dans chacun de ces modèles et ainsi, montrer l'influence de l'albédo et de l'effet de serre.

Doc. 1 : Loi de Stefan-Boltzmann

En physique, un **corps noir** désigne un objet idéal qui **absorbe intégralement le rayonnement électromagnétique** qu'il reçoit. Cette absorption se traduit par une agitation thermique qui provoque **l'émission d'un rayonnement électromagnétique** qui ne dépend que de la température T du corps.

La loi de Stefan-Boltzmann permet de relier la température de surface T du corps noir au flux surfacique émis par ce corps.

$$\text{Flux surfacique émis en Watt par mètre carré (W.m}^{-2}\text{)} \quad \phi_{Emis} = \sigma \times T^4 \quad \text{Température en Kelvin (K)}$$

Constante de Stefan-Boltzmann :
 $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$

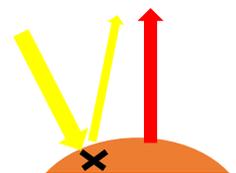
Conversion températures : T (en Kelvin) = θ (en °Celsius) + 273,15

1^{er} modèle :

Hypothèses : Dans ce modèle on considère que la Terre n'a pas d'atmosphère et qu'elle possède un albédo de $A = 0,31$.

On note :

- ϕ_{Soleil} : flux surfacique émis par le Soleil atteignant le sol terrestre.
 $\phi_{\text{Soleil}} = 342 \text{ W.m}^{-2}$.
- $\phi_{\text{Réfléchi}}$: le flux surfacique réfléchi par la surface terrestre.
- $\phi_{\text{Absorbé}}$: flux surfacique absorbé par le système {surface terrestre}.
- ϕ_{Emis} : flux surfacique émis par le système {surface terrestre}.



- 1) Compléter le schéma ci-contre en indiquant les noms des flux surfaciques mis en jeux.
- 2) Exprimer le flux surfacique $\phi_{\text{Reçu}}$ par le système {surface terrestre} en fonction de A et de ϕ_{Soleil} .
- 3) Cette question peut être traitée à deux niveaux. Commencer par essayer le « niveau autonome » et en cas de difficulté aidez-vous des questions du « niveau guidé ».

Niveau autonome :

Si on considère que le système {surface de la Terre} a atteint l'équilibre thermique montrer que la température de surface T_1 de la Terre a pour expression :

$$T_1 = \left(\frac{(1 - A) \times \phi_{Soleil}}{\sigma} \right)^{1/4}$$

Niveau guidé :

3.1) Si on considère que le système {surface de la Terre} a atteint l'équilibre thermique donner la relation entre les flux surfaciques reçu et émis par le système {surface de la Terre} notés respectivement $\phi_{Reçu}$ et ϕ_{Emis} .

3.2) En déduire que la température de surface T_1 de la Terre a pour expression :

$$T_1 = \left(\frac{(1 - A) \times \phi_{Soleil}}{\sigma} \right)^{1/4}$$

4) Calculer la température de surface T_1 de la Terre obtenu avec ce modèle.

5) Le résultat trouvé est-il en accord avec les informations du texte introductif ?

6) Le réchauffement global conduit à une diminution des surfaces glacées (calottes polaire, glaciers,...).

6.1) Préciser la conséquence de ce réchauffement sur l'albédo moyen terrestre ?

6.2) Préciser l'impact sur la température de la Terre ? Justifier la réponse de manière qualitative.

2^{ème} modèle :

Hypothèses :

- on considère que tout le rayonnement solaire qui arrive à la surface terrestre est absorbé par le sol : on ne prend donc pas en compte l'albédo.

- on modélise l'absorption du flux surfacique émis par la surface terrestre par les gaz présents dans l'atmosphère en introduisant le coefficient b .

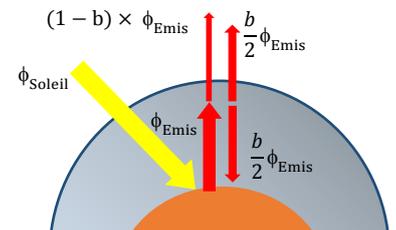
Ce coefficient représente la fraction du flux surfacique émis par la terre absorbée par l'atmosphère.

Ainsi si la surface de la Terre émet un flux surfacique ϕ_{Emis} , l'atmosphère absorbera un flux surfacique correspondant à $b \times \phi_E$ et laissera passer un flux surfacique de $(1-b) \times \phi_{Emis}$ vers l'espace (voir schéma ci-contre).

En équilibre thermique l'atmosphère émet un rayonnement correspondant à $b \times \phi_{Emis}$ dans toutes les directions de l'espace. On considèrera que la moitié du rayonnement émis par l'atmosphère sort vers l'espace et que l'autre moitié est absorbée par la surface de la Terre : le sol terrestre reçoit un flux surfacique $\frac{b}{2} \times \phi_{Emis}$ (voir schéma ci-contre).

On prendra $b = 0,8$.

1) Cette question peut être traitée à deux niveaux. Commencer par essayer le « niveau autonome » et en cas de difficulté aidez-vous des questions du « niveau guidé ».



Niveau autonome :

Si on considère que le système {surface de la Terre} a atteint l'équilibre thermique montrer que la température de surface T_2 de la Terre a pour expression :

$$T_2 = \left(\frac{\phi_{Soleil}}{(1-\frac{b}{2}) \times \sigma} \right)^{1/4}$$

Niveau guidé :

1.1) On note $\phi_{Reçu}$ le flux surfacique reçu par le système {surface terrestre}. Donner l'expression de $\phi_{Reçu}$ en fonction de ϕ_{Soleil} , ϕ_{Emis} et b .

1.2) Si on considère que le système {surface de la Terre} a atteint l'équilibre thermique montrer que la température de surface T_2 de la Terre a pour expression :

$$T_2 = \left(\frac{\phi_{Soleil}}{(1-\frac{b}{2}) \times \sigma} \right)^{1/4}$$

- 2) Calculer la température de surface T_2 de la Terre obtenu avec ce modèle.
- 3) Interpréter l'écart entre le résultat obtenu avec ce modèle et les informations du texte introductif.
- 4) Si la quantité de gaz à effet de serre augmente expliquer qualitativement pourquoi la température de la terre augmente.

3^{ème} modèle :

Hypothèses : Dans ce modèle on prend en compte l'albédo et l'effet de serre.

On prendra un albédo $A = 0,31$ et le coefficient d'absorption de l'atmosphère $b = 0,8$.

1) Cette question peut être faite à deux niveaux. Commencer par essayer le « niveau autonome » et en cas de difficulté aidez-vous des questions du « niveau guidé ».

Niveau autonome :

En considérant l'équilibre radiatif atteint montrer que la température de surface T_3 de la Terre avec ce modèle a pour expression :

$$T_3 = \left(\frac{2 \times (1-A)}{(2-b) \times \sigma} \times \phi_{Soleil} \right)^{1/4}$$

Niveau guidé :

1.1) En considérant l'équilibre radiatif atteint donner l'expression liant ϕ_{Soleil} , ϕ_{Emis} , A et b .

1.2) En utilisant la loi de Stefan- Boltzmann en déduire que l'expression de la température moyenne à la surface terrestre est :

$$T_3 = \left(\frac{2 \times (1-A)}{(2-b) \times \sigma} \times \phi_{Soleil} \right)^{1/4}$$

2) Calculer T_3 . Conclure.