

# Le rayonnement solaire – Exercices - Devoirs

## Exercice 1 corrigé disponible

|            | Atome d'hydrogène         | Atome d'hélium            | Positron ( $e^+$ )        |
|------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Masse (kg) | $1,67262 \times 10^{-27}$ | $6,64648 \times 10^{-27}$ | $0,00091 \times 10^{-27}$ |

Quelques caractéristiques du Soleil en 2020

- Age : .....4,60milliards d'année
- Masse : ..... $2,00 \times 10^{27}$  tonnes
- Puissance moyenne de rayonnement : ..... $3,87 \times 10^{26}$  W

Donnée : célérité de la lumière dans le vide  $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

1. En utilisant vos connaissances et les documents ci-dessus, rappeler en quoi consiste une fusion nucléaire ; écrire l'équation de la réaction nucléaire qui se produit à la surface du Soleil
2. Calculer la masse perdue lors de la réaction de cette fusion nucléaire
3. En utilisant le principe d'équivalence masse-énergie, déterminer l'énergie dégagée par cette transformation
4. Calculer l'énergie dégagée chaque seconde par le Soleil
5. En déduire la masse perdue chaque seconde par le Soleil
6. Déterminer la masse perdue par le Soleil depuis sa naissance ; évoluer le pourcentage de masse perdue par rapport à la masse totale depuis sa naissance.
7. Donner une estimation de la durée de vie du Soleil depuis sa naissance s'il émet un rayonnement à puissance constante ; convertir le résultat en milliards d'années

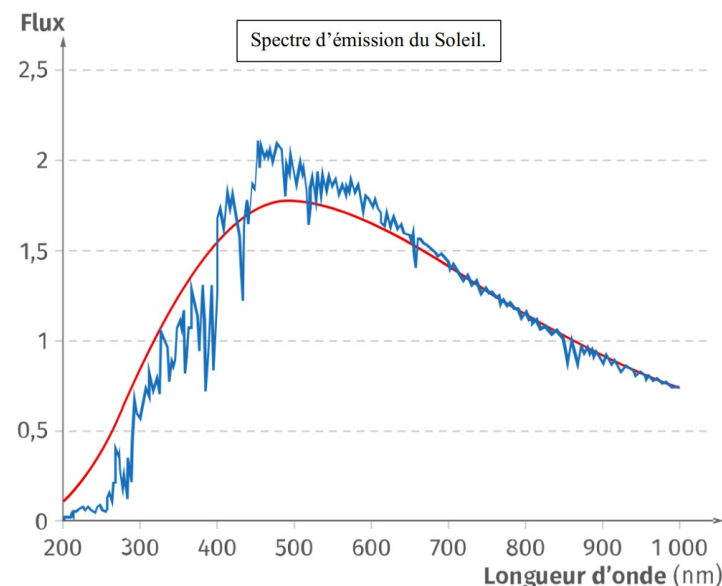
Proxima Centauri C est l'étoile la plus proche du système solaire. Cette étoile, beaucoup plus petite et plus froide que notre Soleil, rayonne une puissance d'environ  $6,90 \times 10^{23}$  W.

8. Calculer l'énergie rayonnée chaque seconde par Proxima Centauri (en Joule)
9. A l'aide de la relation d'Einstein, calculez la masse équivalente perdue chaque seconde par Proxima Centauri.
10. Calculer la durée (en s puis en min et s) pour que la lumière émise par le Soleil arrive sur Terre

## Exercice 2 corrigé disponible

### Carte d'identité du Soleil

- Rayon équatorial :  $6,955 \times 10^5$  km
- Circonférence équatoriale :  $4,379 \times 10^6$  km
- Masse :  $1,989 \times 10^{30}$  kg
- Densité :  $1,409 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$



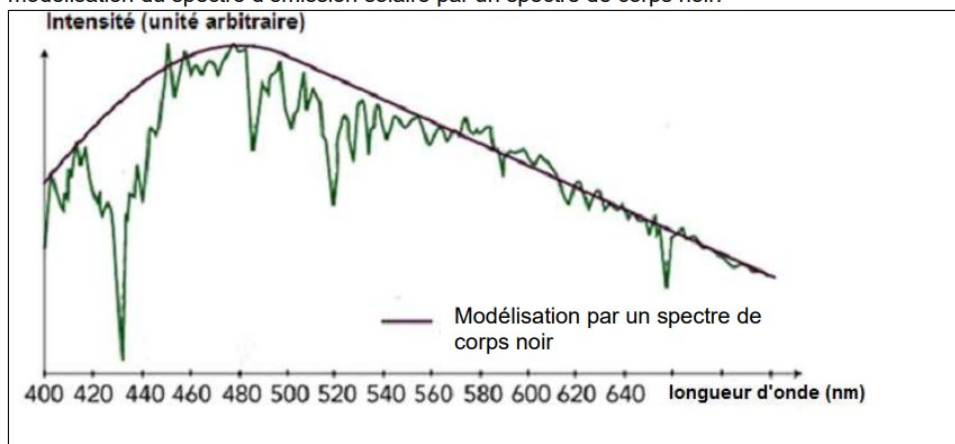
- 1) A l'aide du spectre d'émission du Soleil, déterminer à 1 nm près la longueur d'onde d'émission maximale  $\lambda_{max}$ .
- 2) En considérant le Soleil comme un corps noir, calculer sa température T de surface (en K).
- 3) À l'aide de la loi de Stefan-Boltzmann, calculer la puissance surfacique  $P_s$  du rayonnement solaire dans le volume du Soleil.
- 4) Dédire des calculs précédents et de l'énoncé, la puissance  $P_s$  du rayonnement solaire.

### Exercice 3

Le Soleil est l'étoile la plus proche de la Terre, l'énergie qu'il rayonne permet le développement de la vie.

Document 1. Profil spectral du soleil, dans le domaine visible

La courbe irrégulière représente les données expérimentales. La courbe régulière est une modélisation du spectre d'émission solaire par un spectre de corps noir.



Document 2. Loi de Wien

La loi de Wien permet de déterminer la température de surface d'une étoile en connaissant la longueur d'onde  $\lambda_{max}$  pour laquelle l'intensité d'émission est maximale.

$$\lambda_{max} \times T = 2,9 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

Dans laquelle :

- $\lambda_{max}$  désigne la longueur d'onde, exprimée en mètre (m), pour laquelle l'intensité d'émission est maximale.
- T est la température de surface de l'étoile, exprimée en kelvin (K).

### Document 3. Caractéristiques de Vénus et de la Terre

La notion de « constante solaire » est précisée dans le texte, en question 4.

La présence de dioxyde de carbone dans l'atmosphère participe à l'effet de serre atmosphérique.

| Planète | Constante solaire $C_{planète}$ (W.m <sup>-2</sup> ) | Température de surface moyenne (K) | Albédo | Composition de l'atmosphère                                           | Distance au soleil (U.A.) | Rayon de la planète (km) |
|---------|------------------------------------------------------|------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Terre   | 1368                                                 | 288                                | 0,3    | Diazote (78 %)<br>Dioxygène (21 %)<br>Autres gaz (1%)                 | 1,0                       | 6371                     |
| Vénus   | 2639                                                 | 738                                | 0,78   | Diazote (3,5 %)<br>Dioxyde de carbone (96,5 %)<br>Autres gaz (traces) | 0,72                      | 6050                     |

**1-a** Déterminer graphiquement la longueur d'onde  $\lambda_{max}$  pour laquelle l'intensité d'émission du soleil, considéré comme un corps noir, est maximale.

**1-b-** En déduire à l'aide du document 2 la valeur de la température de surface du Soleil que l'on peut déduire du document 1.

**1-c-** La température de la surface du Soleil vaut en réalité 5778 K. Proposer une explication de l'écart entre cette valeur et le résultat précédent.

**4-** La constante solaire d'une planète est la puissance solaire parvenant sur une unité de surface de la planète en incidence normale.

**4-a-** Expliquer pourquoi la constante solaire de Vénus est plus grande que celle de la Terre.

**4-b-** En prenant en compte l'albédo, calculer la puissance solaire  $P_{S, Terre}$  effectivement absorbée par unité de surface Terrestre en incidence normale. Calculer de même la puissance solaire  $P_{S, Vénus}$  effectivement absorbée par unité de surface de Vénus en incidence normale.

### Exercice 4

**1-** Préciser le phénomène physique à l'origine de l'énergie dégagée par le soleil.

**2-** Calculer la masse solaire transformée chaque seconde en énergie, sachant que la puissance rayonnée par le soleil a pour valeur  $3,9 \times 10^{26} \text{ W}$ .

Donnée : vitesse de la lumière dans le vide  $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

## Exercice 5



En 2035, lors d'une expédition de la mission *Ares III* sur Mars, l'astronaute Mark Watney est laissé pour mort par ses coéquipiers, une tempête les ayant obligés à décoller de la planète en urgence. Le lendemain, Mark Watney, qui n'est que blessé, se réveille et découvre qu'il est seul sur Mars. Pour survivre, il décide de cultiver des pommes de terre sous le dôme de la base, en utilisant le sol martien fertilisé avec les excréments de l'équipage, de l'eau et l'énergie solaire.

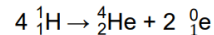
Source : <http://www.allocine.fr/film/fichefilm-221524/dvd-blu-ray/?cproduct=443240>

### Partie 1. Puissance rayonnée par le Soleil

Le Soleil, d'une masse totale de  $2,0 \times 10^{30}$  kg, est l'étoile du système solaire. Il est composé majoritairement d'atomes d'hydrogène H et d'atomes d'hélium He. Autour de lui gravitent la Terre et d'autres planètes comme Mars. La puissance rayonnée par le Soleil est voisine de  $3,9 \times 10^{26}$  W.

#### Document 1. Réaction nucléaire de synthèse de l'hélium à partir de l'hydrogène dans le Soleil

Sous l'effet de la température suffisamment élevée existant au cœur du Soleil, quatre atomes d'hydrogène peuvent réagir pour former un atome d'hélium et deux positrons selon l'équation de la réaction nucléaire simplifiée, dans laquelle  ${}^0_1e$  représente un positron :



Cette réaction s'accompagne d'une perte de masse et donc d'un dégagement d'énergie.

1- Indiquer en le justifiant, si la formation de l'hélium dans le Soleil est une réaction de fusion ou de fission nucléaire.

2- À l'aide de la relation d'Einstein précisant l'équivalence masse-énergie, calculer en kilogramme la masse solaire perdue par seconde.

Donnée : vitesse de la lumière  $c = 3,0 \times 10^8$  m·s<sup>-1</sup>

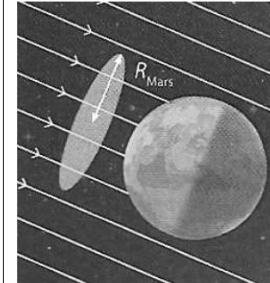
### Partie 2. Puissance solaire reçue par Mars

La base martienne de la mission *Ares III* est alimentée en énergie par des panneaux solaires qui captent le rayonnement solaire arrivant sur le sol martien. On souhaite connaître la puissance reçue par ces panneaux solaires.

3- Sachant que la planète Mars est située à la distance  $d_{M-S} = 2,3 \times 10^8$  km du Soleil, et à partir des données de la partie 1, calculer en W·m<sup>-2</sup> la puissance par unité de surface traversant la sphère dont le centre est le Soleil et dont le rayon est  $d_{M-S}$ . Cette puissance par unité de surface appelée constante solaire de Mars et notée  $C_{Mars}$ .

Donnée : aire  $S$  d'une sphère de rayon  $d$  :  $S = 4 \times \pi \times d^2$

#### Document 2. Schéma d'un disque recevant une puissance solaire égale à celle reçue par Mars



La puissance solaire reçue par Mars traverse un disque fictif de rayon  $R_{Mars}$  et se répartit ensuite sur toute la surface de la sphère martienne de rayon  $R_{Mars}$ . Celle-ci est en rotation sur elle-même.

On peut considérer que le disque fictif est situé à la même distance du Soleil que Mars.

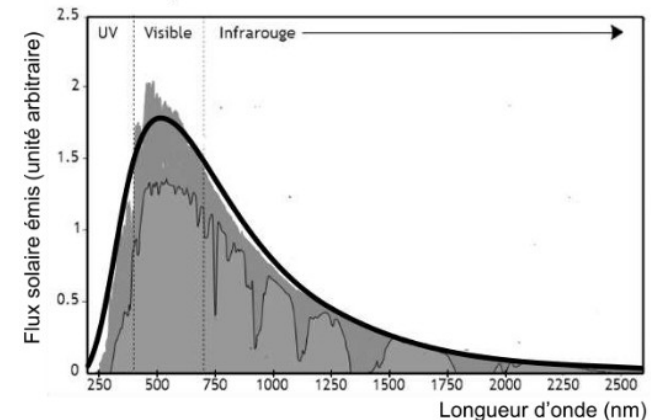
Source : Daujean, C. D., & Guilleray, F. G. (2019). Le bilan radiatif terrestre. In Hatier (Éd.), Enseignement scientifique (p. 101). Paris, France: Hatier.

4- La puissance solaire moyenne reçue sur Mars par unité de surface est proche de  $C_{Mars}/4$  ; sa valeur est voisine de  $150 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . Expliquer qualitativement pourquoi cette puissance moyenne par unité de surface est plus petite que  $C_{Mars}$ .

## Exercice 6

### PARTIE A. TEMPÉRATURE DE LA SURFACE DU SOLEIL.

#### Document 1. Spectre du rayonnement émis par le Soleil.



Le spectre de corps noir modélisant au mieux le spectre d'émission solaire est indiqué sur la courbe en trait épais.

(Source : AbulÉdu-fr)

1- Selon la loi de Wien, la longueur d'onde d'émission maximale d'un corps noir est inversement proportionnelle à la température absolue de la surface d'une étoile selon la formule :

$$\lambda_{\max} = \frac{k}{T}$$

où  $T$  représente la température absolue (exprimée en Kelvin),  $\lambda_{\max}$  la longueur d'onde du maximum d'émission (exprimée en mètre) et  $k$  une constante de valeur  $2,89 \times 10^{-3} \text{ m}\cdot\text{K}$ .

À l'aide de ces informations et du document 1, déterminer la température de surface du Soleil.

## PARTIE B. ÉNERGIE SOLAIRE REÇUE PAR LA TERRE

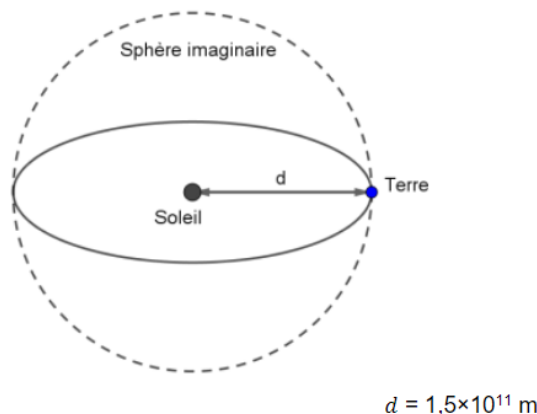
Document 2. Modélisation permettant le calcul de la puissance rayonnée.

À une distance donnée du Soleil, la totalité de la puissance émise par le Soleil se trouve uniformément répartie sur une sphère de rayon égal à cette distance.

Sur le schéma ci-contre, la Terre et le Soleil ne sont pas représentés à l'échelle.

On rappelle que :

l'aire d'une sphère de rayon  $d$  est  $S = 4\pi d^2$  et que l'aire d'un disque de rayon  $R$  est  $S_{\text{disque}} = \pi R^2$ .



2- Le rayonnement solaire met en moyenne 500 s à nous parvenir depuis le Soleil. Montrer que la distance moyenne Soleil-Terre est  $d = 1,5 \times 10^{11} \text{ m}$ .

3- La constante solaire exprime la puissance émise par le Soleil que recevrait un mètre carré de la surface terrestre exposé directement aux rayons du Soleil si l'atmosphère terrestre n'existait pas, la surface étant perpendiculaire aux rayons solaires. Elle varie au cours de l'année. Sa moyenne annuelle est de  $1\,370 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ .

En s'appuyant sur le document 2 et la valeur de la constante solaire, calculer la puissance totale rayonnée par le Soleil.

4 - La Terre intercepte le rayonnement solaire sur une surface correspondant à un disque de rayon  $R = 6\,400 \text{ km}$ .

Calculer l'aire de cette surface, exprimée en  $\text{m}^2$ .

5 - Montrer par le calcul que la puissance solaire reçue par la Terre (en dehors de l'atmosphère) d'après ce modèle est voisine de  $1,77 \times 10^{17} \text{ W}$ .

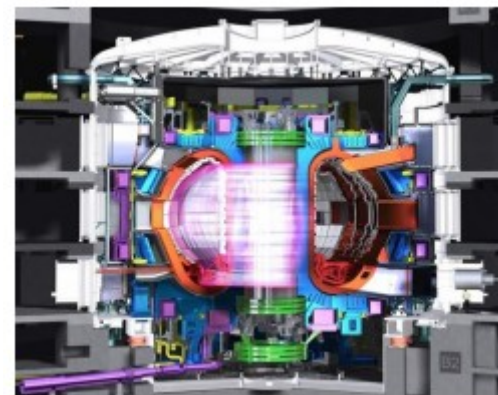
## Exercice 7

**Document 1 :** ITER, c'est quoi ?

ITER (en latin le « chemin ») est l'un des projets les plus ambitieux au monde dans le domaine de l'énergie.

En France, dans le département des Bouches-du-Rhône, 35 pays sont engagés dans la construction du plus grand tokamak jamais conçu, une machine qui doit démontrer que la fusion - l'énergie du Soleil et des étoiles - peut être utilisée comme source d'énergie à grande échelle, non émettrice de  $\text{CO}_2$ , pour produire de l'électricité.

Les résultats du programme scientifique d'ITER seront décisifs pour ouvrir la voie aux centrales de fusion électrogènes de demain



**Document 2 :** réaction de fusion

La réaction envisagée est la réaction entre un noyau de deutérium, noté  ${}^2_1\text{H}$ , et un noyau de tritium, noté  ${}^3_1\text{H}$  pour former un noyau d'hélium 4, noté  ${}^4_2\text{He}$  et un neutron noté  ${}_0^1\text{n}$

Réaction de fusion :  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$

**Document 3 :** Einstein et l'équivalence masse-énergie

$E = \Delta m \cdot c^2$  avec  $E$  l'énergie en joules (J),  $\Delta m$  la masse en kg et  $c$  la vitesse de la lumière dans le vide (en  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

### Données numériques

Masse du neutron :  $m\left({}_0^1n\right)=1,674927.10^{-27} kg$

Masse d'un noyau de deutérium :  $m\left({}_1^2H\right)=3,344497.10^{-27} kg$

Masse d'un noyau de tritium :  $m\left({}_1^3H\right)=5,008271.10^{-27} kg$

Masse d'un noyau d'hélium :  $m\left({}_2^4H\right)=6,646483.10^{-27} kg$

Célérité de la lumière dans le vide :  $c=3,00.10^8 m.s^{-1}$

1. Calculer la masse des réactifs de la réaction de fusion (doc.2)
2. Calculer la masse des produits de la réaction de fusion (doc.2)
3. Calculer la variation de masse  $\Delta m = \text{masse réactifs} - \text{masse produits}$
4. Que devient cette variation de masse ?
5. Calculer l'énergie libérée E par cette réaction de fusion