CHAPITRE 4 LE RAYONNEMENT SOLAIRE

INTRODUCTION : CHOIX PÉDAGOGIQUES

Ce chapitre introduit le thème 2 : le Soleil, notre source d'énergie. Dans son cours de physique (1966, What is science?), Richard Feynman, prix Nobel de physique en 1965, décrit une expérience de pensée :

« [My father] would say, "[The toy dog] moves because the sun is shining,"[...]
I would say, "No. What has that to do with the sun shining? It moved because I wound up the springs."
"And why, my friend, are you able to move to wind up the spring?"
"I eat."
"What, my friend, do you eat?"
"I eat plants."
"And how do they grow?"
"They grow because the sun is shining." »

C'est cette pensée qui explique notre compréhension du programme : il s'agit d'identifier la source d'énergie primaire qui anime le climat terrestre et les activités humaines.

POUR COMMENCER

1. → **a.**
2. → **b.**

UNITÉ 1

La première unité identifie la fusion nucléaire comme étape de conversion d'énergie et met l'accent sur l'équivalence masse-énergie.
Il s'agit de s'appuyer sur les connaissances de l'année de seconde et du début de l'année de première (désintégration) concernant la radioactivité. On se limite évidemment au cycle du proton qui permet de simplifier la partie calculatoire.

Activité guidée

1. La variation de masse s'établit par différence.

$|\Delta m| = |m(^4\text{He}) + 2\,m(\text{e}^+) - 4\,m(^1\text{H})| = 4{,}218 \cdot 10^{-29}$ kg.

L'énergie libérée lors d'une fusion vaut alors :
$E = |\Delta m|\,c^2 = 3{,}791 \cdot 10^{-12}$ J.

2. Il faut utiliser la relation entre puissance et énergie.

$$P_{moyenne} = \frac{E}{\Delta t}$$

$E = P_{moyenne} \times \Delta t = 3{,}87 \cdot 10^{26} \times 1 = 3{,}87 \cdot 10^{26}$ J.

3. Il faut établir un tableau de proportionnalité puis réaliser un produit en croix.

Énergie libérée en J	Perte de masse en kg
$3{,}791 \cdot 10^{-12}$	$4{,}218 \cdot 10^{-29}$
$3{,}87 \cdot 10^{26}$ (à chaque seconde)	$\frac{3{,}87 \cdot 10^{26} \times 4{,}218 \cdot 10^{-29}}{3{,}791 \cdot 10^{-12}} = 4{,}31 \cdot 10^{9}$ kg par seconde

4. L'âge du Soleil est :
$\Delta t = 4{,}568 \cdot 10^{9}$ ans $= 4{,}568 \cdot 10^{9} \times 365{,}25 \times 24 \times 60 \times 60 = 1{,}442 \cdot 10^{17}$ s.

5. Il faut établir un tableau de proportionnalité puis réaliser un produit en croix.

Énergie libérée en J	Perte de masse en kg
$3{,}87 \cdot 10^{26}$ (à chaque seconde)	$4{,}31 \cdot 10^{9}$ kg par seconde
$5{,}58 \cdot 10^{43}$ (depuis la naissance)	$\frac{5{,}58 \cdot 10^{43} \times 4{,}31 \cdot 10^{9}}{3{,}87 \cdot 10^{26}} = 6{,}21 \cdot 10^{26}$ kg

La masse totale perdue par le Soleil depuis sa naissance vaut $6{,}21 \cdot 10^{26}$ kg.

UNITÉ 2

Cette unité aborde le rayonnement solaire. La loi de Wien et les applications numériques qui en découlent sont explicitement mentionnées dans le programme, pour établir le lien entre température et longueur d'onde de l'émission maximale. Nous avons choisi de mentionner la loi de Planck par une approche graphique : elle permet de lier l'intensité à la température ; mais surtout de présenter le spectre polychromatique du Soleil.

Activité guidée

1. Il s'agit d'une lecture graphique à l'échelle.
Sur le graphique, 1 000 nm sont représentés par 3,3 cm.
Il suffit de réaliser ensuite des produits en croix.

Température (K)	Longueur sur le graphique (cm)	λ_{max} (nm)
	3,3	1 000
3 500	2,7	$\frac{2{,}7 \times 1\,000}{3{,}3} = 818$
4 000	2,4	727
4 500	2,1	636
5 000	1,9	576
5 500	1,7	515

2. Le document 2 permet de trouver la couleur de l'émission maximale, le document 7 la couleur perçue du corps noir.

Température (K)	Couleur du maximum	Couleur perçue
3 500	Rouge	Orange
4 000	Rouge	Jaune
4 500	Orange	Blanc cassé (blanc-jaune)
5 000	Jaune	Blanc
5 500	Vert	Blanc bleuté

Couleur perçue et couleur de l'émission maximale sont différentes car la loi de Planck nous montre que le spectre est polychromatique et continu. De plus, l'œil ne perçoit pas tous les rayonnements.

3.

Température (K)	λ_{max} (nm) : Loi de Planck	λ_{max} (nm) : Loi de Wien
3 500	818	$\frac{2{,}989 \times 10^{-3}}{3\ 500} = 828$
4 000	697	725
4 500	636	644
5 000	576	580
5 500	515	527

Les résultats trouvés avec les deux lois sont cohérents. Le décalage est dû aux incertitudes de mesures.

4. Sur le document 6, 1 800 nm (2 000 – 200) sont représentés par 8,9 cm.
Le maximum d'émission se trouve à 1,4 cm soit :
$$\frac{1{,}4 \times 1\ 800}{8{,}9} = 283 \text{ nm du début du graphique,}$$
c'est-à-dire à $\lambda_{max} = 483$ nm.
D'après la loi de Wien, $T = \frac{2{,}898 \times 10^{-3}}{483 \cdot 10^{-9}} = 6{,}2 \cdot 10^3$ K.

5. Le spectre du Soleil est polychromatique et continu. L'œil ne perçoit que les radiations dans le domaine visible et le cerveau reconstruit une couleur perçue. L'atmosphère terrestre diffuse une partie du rayonnement dans le bleu et modifie ainsi la lumière qui parvient à l'œil.

UNITÉ 3

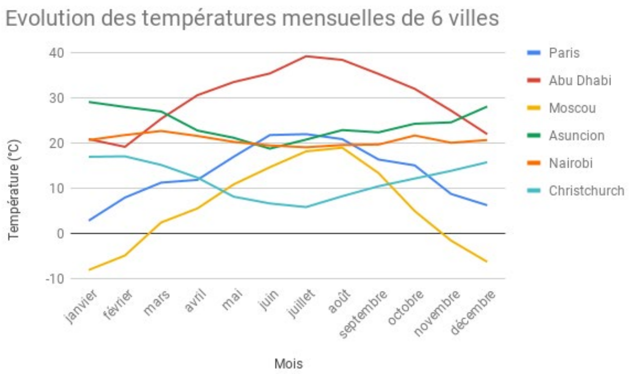
Cette unité est une transition avec le chapitre suivant relatif au bilan radiatif terrestre. Elle permet de quantifier l'énergie solaire reçue par unité de surface sur la Terre. Il est ainsi possible de modéliser simplement l'influence de l'heure, de la saison et de la latitude sur les variations de température.
L'expérience du document 1 peut être adaptée en ajoutant un luxmètre à la surface du globe.

Activité guidée

1. Les trois facteurs géographiques et temporels déterminant l'ensoleillement reçu par un lieu sur Terre sont :
– la latitude (doc 1) ;
– l'heure de la journée (docs 2 et 4) ;
– les saisons (doc 4), dues à la variation de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre.

2. Paris se situe dans l'hémisphère Nord. Les variations de l'inclinaison de l'axe de la Terre font que le Soleil est plus haut dans le ciel de l'hémisphère Nord en été qu'en hiver (docs 3 et 4). Ainsi, l'angle entre la normale au sol et le faisceau de rayon lumineux est plus faible en été qu'en hiver. La puissance solaire reçue par unité de surface est donc plus importante en été qu'en hiver, ce qui explique des températures plus élevées dans l'hémisphère Nord lors des mois d'été par rapport aux mois d'hiver.

3. Voir tableau de données et courbe :
https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Uxke-nuCEdDt0KUb-li8iXSBp3WXQU-cqE1lkLEQJJ6Q/edit?usp=sharing



4. Pour les trois villes de l'hémisphère Nord, la température est maximale en juillet (courbes de Paris, Abu Dhabi et Moscou) alors qu'elle est minimale dans l'hémisphère Sud (Asuncion, Nairobi, Christchurch). C'est l'influence de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre qui explique cette situation, l'hémisphère Nord perçoit alors une puissance plus importante du rayonnement solaire.
Plus la latitude est élevée, plus la puissance perçue est faible. Ainsi, en juillet, il est possible de classer les températures comme l'inverse des latitudes : T(Abu Dhabi) > T(Paris) > T(Moscou).
De même en janvier, T(Nairobi) > T(Christchurch).

Tester ses savoirs

1 Vrai/faux

a. Faux, les réactions de fusion de l'hydrogène dans le Soleil s'accompagnent d'une diminution de sa masse.
b. Vrai.
c. Faux, la longueur d'onde du maximum d'émission d'un corps noir est inversement proportionnelle à la température absolue de sa surface.
d. Faux, l'ensoleillement dépend de l'heure de la journée.
e. Vrai.

2 QCM

1. a. Vrai.
b. Faux, l'énergie libérée par le Soleil provient de la perte de masse de celui-ci.
c. Faux.
2. a. Faux, le rendement du panneau solaire est maximal dans la 2e configuration (rayons du soleil perpendiculaires à la surface du panneau).
b. Vrai.
c. Faux.
3. a. Vrai.
b. Faux, la perte de masse d'une étoile, notée m, peut être calculée grâce à l'énergie produite par l'étoile $E = mc^2$. La relation proposée ici entre m et T est incorrecte.
c. Faux, la perte de masse d'une étoile, notée m, peut être calculée grâce à l'énergie produite par l'étoile $E = mc^2$. La relation proposée ici entre m et λ_{max} est incorrecte.
4. a. Faux, l'âge du système solaire (et donc du Soleil) a été déterminé grâce à des météorites.
b. Vrai.
c. Faux, l'âge du système solaire (et donc du Soleil) a été déterminé grâce à des météorites. L'âge d'autres étoiles ne renseigne pas sur l'âge du Soleil.

5. a. Faux, la surface terrestre éclairée par un rayon du Soleil est plus importante en hiver qu'en été.
b. Faux, la surface terrestre éclairée par un rayon du Soleil dépend de la latitude.
c. Vrai.
6. a. Faux, la couleur de la lumière d'une étoile dépend de la température de surface de l'étoile.
b. Vrai.
c. Faux.
7. a. Faux, les variations de la distance Terre-Soleil ne peuvent pas expliquer les saisons.
b. Faux, l'alternance des saisons s'explique par l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre.
c. Vrai.

3 Question de synthèse

Voir critères de réussite p. 76.

Objectif BAC

4 Calculer

1. La variation de masse s'établit par différence :
$|\Delta m| = m(^4\text{He}) + m(\text{n}) - m(^2\text{H}) - m(^3\text{H}) = 3{,}13500 \cdot 10^{-29}$ kg.
2. La relation d'Einstein établit l'équivalence masse-énergie :
$E_{\text{libérée}} = |\Delta m|c^2 = 2{,}81755 \cdot 10^{-12}$ J.
3. $E_{\text{mol}} = N_A E_{\text{libérée}} = 1{,}69617 \cdot 10^{12}$ J · mol^{-1}.

5 Calculer et raisonner

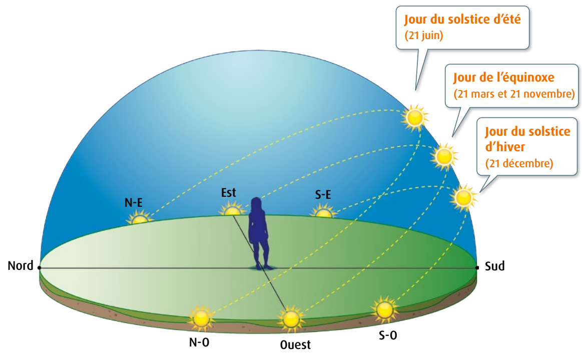
1. et 2. $\lambda_{max} = \dfrac{2{,}898 \cdot 10^{-3}}{T}$. Il suffit de remplacer les valeurs de températures dans l'équation.
On place ensuite la valeur sur le spectre coloré.
$\lambda_1 = 8{,}28 \cdot 10^{-7}$ m = 828 nm ; c'est l'infra-rouge (invisible) ;
$\lambda_4 = 6{,}76 \cdot 10^{-7}$ m = 676 nm ; c'est orange-rouge ;
$\lambda_3 = 4{,}77 \cdot 10^{-7}$ m = 477 nm ; c'est bleu ;
$\lambda_2 = 2{,}92 \cdot 10^{-7}$ m = 292 nm; c'est l'ultra-violet (invisible).
3. L'étoile 1 est Bételgeuse. L'étoile 2 est Sirius. L'étoile 3 est le Soleil. L'étoile 4 est Arcturus.
4. Le spectre de l'étoile est polychromatique. Repérer la longueur d'onde de l'émission maximale permet d'estimer la température, mais la couleur apparente c'est autre chose. Toutes ces étoiles apparaissent blanches, avec éventuellement selon leur température une tendance au rouge ou au bleu (cf. doc 7 de l'unité 2).

6 Analyser des données et calculer

1. Il faut que l'angle formé entre les rayons du Soleil et le panneau soit de 90° pour que la puissance perçue par unité de surface soit maximale : c'est le même problème qu'on a étudié avec la latitude.

2. La somme des angles vaut 180°.
Donc, en été, $64 + \alpha + 90 = 180$; $\alpha = 26$.
3. À la mi-saison, $42 + \alpha + 90 = 180$; $\alpha = 48$.
4. En hiver, $42 + \alpha + 90 = 180$; $\alpha = 73$.
5. $48° < 60° < 73°$; c'est un compromis pertinent pour couvrir l'ensemble de la saison.

7 Raisonner, schématiser et rédiger



Le Soleil parcourt le ciel à cause de la rotation de la Terre sur elle-même : l'observateur se trouve dans le référentiel terrestre. La hauteur maximale dans le ciel dépend de la saison et est donc liée à l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre : en été, l'hémisphère Nord est tourné vers le Soleil et le Soleil monte plus haut dans le ciel.

ÇA VOUS CONCERNE

– Nombre de logements individuels que l'on pourrait alimenter avec les panneaux de l'ISS.
La puissance fournie par EDF aux logements individuels est typiquement de 3, 6, 9 ou 12 kW. Si on prend en moyenne une puissance de 6 kW, les panneaux de l'ISS en produisant environ 100 kW, on pourrait donc chauffer environ 17 logements.

– Rendements des deux types d'ampoules et interprétation de l'emballage de la LED.
La puissance fournie pour allumer une ampoule à filament est donc l'aire sous la courbe rouge. En assimilant cette courbe à un triangle et en se souvenant que l'aire d'un triangle est égale à la moitié de sa base fois sa hauteur, on obtient (dans les unités du graphe), une aire de $\frac{1}{2} \times 1 \times 3 = 1{,}5$ (on peut imaginer que la courbe rouge retombe à 0 pour une longueur d'onde d'environ 3 µm). Par contre, la puissance lumineuse fournie correspond à la partie de l'aire sous la courbe rouge qui est contenue dans la bande visible (entre les deux traits verticaux pointillés). On obtient donc une aire de $\frac{1}{2} \times 0{,}8 \times 0{,}5 = 0{,}2$.
En ce qui concerne la LED, la puissance consommée et la puissance lumineuse sont identiques, puisque toute la courbe bleue se trouve dans la partie visible et l'aire sous cette courbe bleue est égale à $\frac{1}{2} \times 1 \times 0{,}4 = 0{,}2$.
On en conclut donc que les deux ampoules produisent la même puissance lumineuse, mais que l'ampoule à filament consomme 7,5 fois plus (1,5 contre 0,2).
Dit autrement, pour produire, avec une ampoule à filament, la même puissance lumineuse qu'une LED de 11 W, il faudrait une ampoule 7,5 fois plus puissante, donc effectivement une ampoule d'environ 75 W.