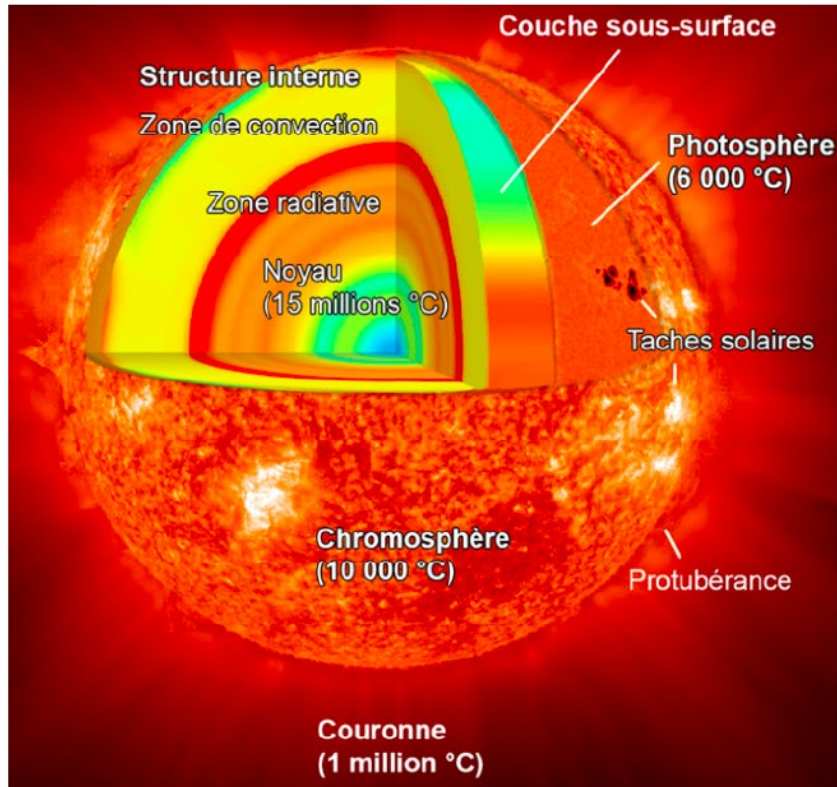


Chapitre 3

Le rayonnement solaire

I Origine de l'énergie dégagée par les étoiles

Le Soleil est le siège de réactions de fusion nucléaire qui consomme deux noyaux d'hydrogène pour produire un noyau d'hélium. Cette réaction s'accompagne de la libération d'une très grande quantité d'énergie. Elle permet au Soleil de conserver des températures très élevées.



Ainsi, la température à la surface du Soleil peut atteindre 5700 °C mais elle peut atteindre plusieurs millions de degrés au centre de l'étoile ou dans les couches les plus hautes de la couronne solaire. Pour des étoiles de faible masse comme le Soleil, l'ensemble des réactions de fusion se déroule dans le noyau de l'étoile.

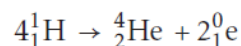
Pour calculer, l'énergie libérée lors d'une fusion thermonucléaire, on utilise la relation :

$$E = |\Delta m|c^2$$

Diagramme illustrant la relation d'Einstein $E = |\Delta m|c^2$:

- Energie (J)** : désigne le terme E à gauche de l'équation.
- Célérité de la lumière ($m.s^{-1}$)** : désigne le terme c à droite de l'équation.
- Perte de masse (kg)** : désigne le terme $|\Delta m|$ à droite de l'équation.

Lors de la réaction de fusion nucléaire dans le Soleil, il y a émission positons et de rayonnement gamma.



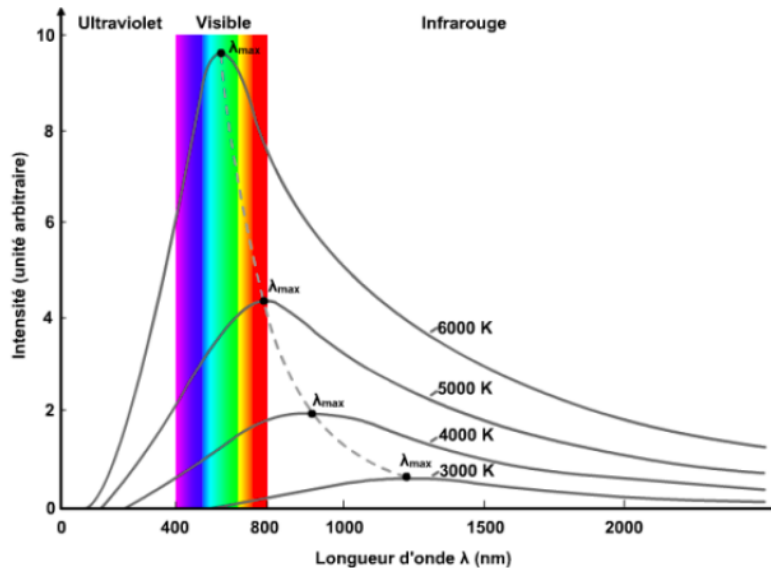
L'énergie E libérée par cette réaction est :

$$E = [4 \times m_H - (m_{He} + 2 \times m_{positon})] \times c^2$$

L'énergie libérée par les réactions de fusion nucléaire s'accompagne donc d'une diminution de la masse du Soleil au cours du temps.

II Le soleil, source d'ondes électromagnétiques

Le Soleil émet des rayonnements sur la totalité du spectre électromagnétique. Les rayonnements sont étudiés à partir de spectres représentant l'énergie rayonnée par le Soleil en fonction de la longueur d'onde.



L'analyse de ces profils spectraux est réalisée dans le cadre du modèle du corps noir qui indique que l'allure des spectres ne dépend que la température.

Propriété

Dans le cadre du modèle du corps noir, le spectre du rayonnement émis par le Soleil dépend uniquement de la valeur de la température à sa surface.

Tous les spectres présentent un maximum d'énergie rayonnée pour une certaine valeur λ_{max} de la longueur d'onde. A la fin du XIX^e siècle, le physicien allemand Wilhelm Wien montra la relation suivante.

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

Propriété

Dans le cadre du modèle du corps noir, la température de la surface du Soleil est inversement proportionnelle à la longueur d'onde d'émission maximale λ_{max} .

III Energie solaire reçue par la Terre

1 Constante solaire

L'énergie solaire reçue par la Terre est évaluée par la constante solaire. La constante solaire est la puissance que reçoit une surface plane de la Terre perpendiculaire aux rayons du Soleil et de la surface de 1 m². Elle s'exprime en watt par mètre carré (W.m⁻²) et vaut

$$\text{constante solaire} = 342 \text{ W.m}^{-2}$$

Propriété

Pour une surface plane perpendiculaire aux rayons du Soleil, la puissance solaire reçue est proportionnelle à l'aire de la surface.

2 Mouvements de la Terre et inégale répartition de l'énergie

La Terre est animée de deux mouvements appelés révolution et rotation.

- La **révolution** correspond au déplacement de la Terre autour du Soleil. Ce mouvement se fait dans un plan appelé plan de l'écliptique.
- La **rotation** de la Terre sur elle-même se fait autour d'un axe qui joindrait les pôles Nord et Sud. Cet axe est incliné par rapport au plan de l'écliptique.

Ces deux mouvements modifient l'angle avec lequel le rayonnement solaire atteint la surface de la Terre et donc la quantité d'énergie qu'elle reçoit.

Propriété

La puissance reçue du Soleil dépend de l'angle entre la normale à la surface et la direction du Soleil.

Cette configuration explique les variations de température, de saisons et de climat que l'on observe sur Terre.

3 Conséquences de l'inégale répartition de l'énergie

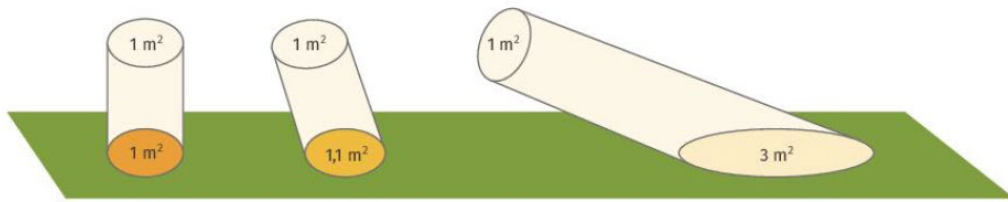
Propriété

La puissance reçue du Soleil par unité de surface dépend du moment de la journée, du jour de l'année (saisons) et de l'emplacement sur Terre (latitude).

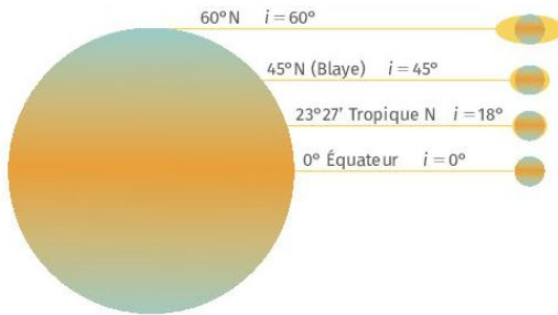
Le vocabulaire à retenir

- **Équivalence masse-énergie** : la libération d'énergie lors d'une réaction nucléaire s'accompagne d'une diminution de la masse de la source d'énergie.
- **Fusion nucléaire** : réaction se déroulant au cœur des étoiles, libérant une énorme quantité d'énergie et de lumière.
- **Loi de Wien** : relation qui permet de relier la température d'un « corps noir » à la longueur d'onde pour laquelle l'intensité du rayonnement émis est maximale.
- **Modèle du corps noir** : modèle théorique qui considère que le spectre d'émission d'un corps ne dépend que de sa température de surface.
- **Rayonnement** : propagation d'énergie électromagnétique émise par une source.
- **Variation diurne** : en un lieu donné, variation de la puissance reçue du Soleil au cours de la journée.
- **Variation saisonnière** : en un lieu donné, variation de la puissance reçue du Soleil au cours de l'année.
- **Zonation climatique** : répartition de climats différents sur la Terre.

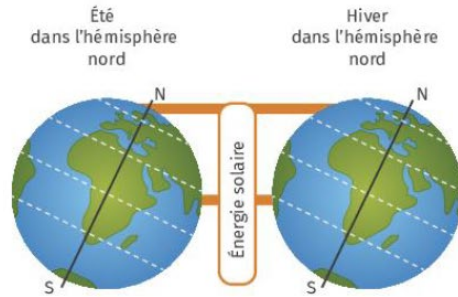
La réception de l'énergie solaire sur Terre



► L'angle d'incidence du faisceau lumineux joue sur la surface éclairée et donc sur l'intensité énergétique reçue.

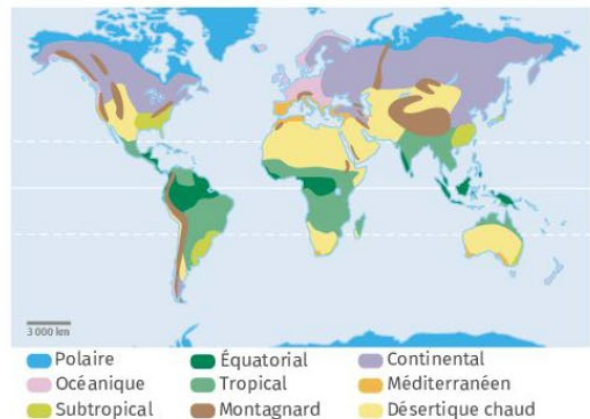
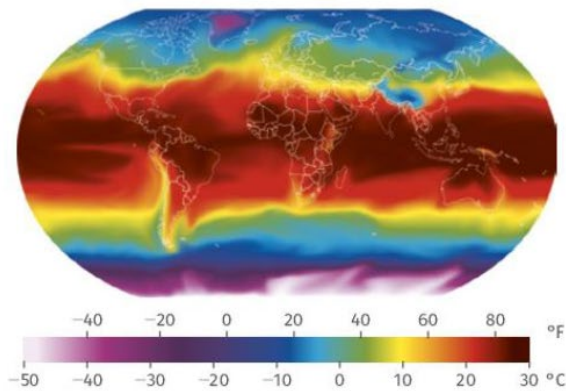


► Surface éclairée par un faisceau lumineux en fonction de la latitude (situation à l'équinoxe). Situation à l'équinoxe (et aussi en moyenne sur une année complète).

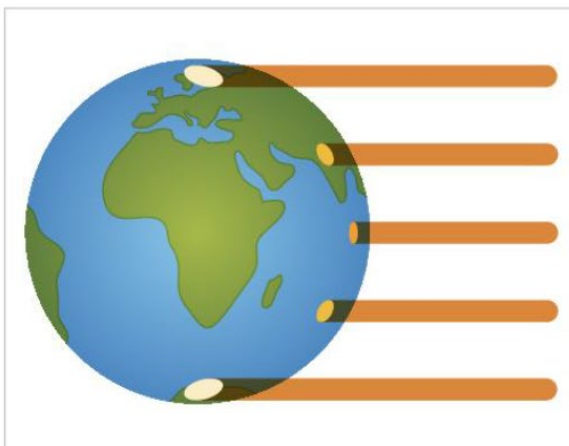


► Situation aux solstices d'été (à gauche) et d'hiver (à droite).

Doc. 6 Planisphère des températures moyennes sur les continents et carte des climats

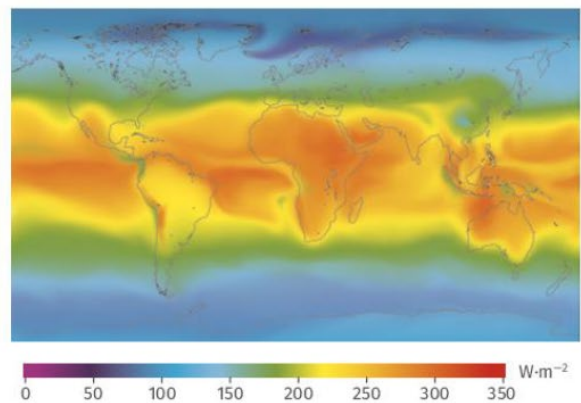


Doc. 7 Répartition d'une énergie incidente équivalente sur un objet sphérique



► Un même faisceau lumineux représente ici une même quantité d'énergie incidente.

Doc. 8 Carte mondiale de l'insolation terrestre



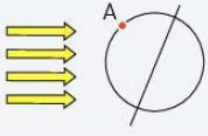
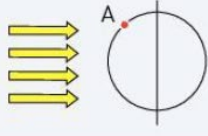
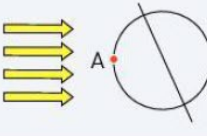
► Puissances surfaciques moyennes reçues sur une année.

Exercices

QCM

2 Questions à choix unique

Pour chaque question, choisir l'unique bonne réponse.

	1	2	3
A - Le Soleil est une boule :	d'énergie.	de feu.	de gaz à haute température.
B - La relation $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$:	traduit l'équivalence entre masse et énergie.	définit la vitesse de la lumière.	définit l'énergie cinétique.
C - La loi de Wien :	permet de connaître la composition des étoiles.	décrit le lien entre température et lumière émise par un corps chaud.	définit la température absolue.
D - La puissance reçue du Soleil est :	proportionnelle à la surface.	égale en tout point du globe.	la même pour toutes les planètes du système solaire.
E - La configuration qui permet au point A de recevoir la puissance la plus importante du Soleil est :			
F - En un point du globe, la puissance reçue du Soleil :	ne dépend pas de la saison.	ne dépend pas de l'heure.	ne dépend pas de la longitude.

5 Exploiter les relations du cours

1. a. Écrire la relation d'Einstein exprimant l'équivalence énergie-masse en rappelant la signification de chaque terme et son unité.
- b. En supposant que le Soleil rayonne une énergie de $3,8 \times 10^{26}$ J en une seconde, calculer la valeur de la diminution de masse correspondante.
2. a. Donner la signification de chaque terme de la loi de Wien et l'unité associée.
- b. En supposant que la longueur d'onde correspondant

à l'intensité maximale du Soleil vaut 480 nm, calculer la valeur de sa température de surface.

Données :

- célérité des ondes électromagnétiques :

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- loi de Wien :

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = 2,90 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

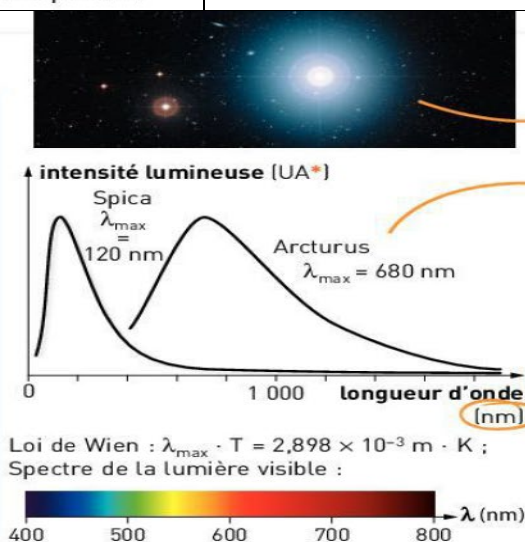
- conversion kelvin/degré Celsius :

$$T (\text{K}) = \theta (^\circ\text{C}) + 273$$

6 Couleurs d'étoiles

Dans le ciel de printemps, deux étoiles sont facilement identifiables : Arcturus (l'étoile la plus brillante de la constellation du Bouvier) et Spica la principale étoile de la constellation de la Vierge. Les allures de leurs profils spectraux ont été représentées ci-contre :

1. **Prévoir** laquelle de ces deux étoiles a la température de surface la plus élevée.
2. **Identifier** chaque étoile sur la photographie en exploitant le profil spectral.
3. **Évaluer** les températures de surface de ces deux étoiles et comparer à votre prévision initiale.



Les clés de l'énoncé

- La **couleur** des étoiles est liée à la **température** de leurs surfaces.
- Le **profil spectral** permet de mesurer la longueur d'onde pour laquelle l'intensité émise par l'étoile est la plus grande.
- La longueur d'onde exprimée en nm figure en **abscisse** des profils spectraux.



Les questions à la loupe

- **Prévoir** : anticiper une réponse à partir de ses connaissances.
- **Identifier** : reconnaître un élément en fonction d'une de ses caractéristiques.
- **Évaluer** : répondre en réalisant un calcul numérique.

9 Perte de masse du Soleil

La puissance rayonnée par le Soleil mesurée au sommet de l'atmosphère terrestre vaut environ $1,4 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$.

1. Expliquer pourquoi cette perte d'énergie par rayonnement s'accompagne nécessairement d'une perte de masse du Soleil.

2. a. Sachant que la puissance rayonnée couvre une sphère de rayon $R = 1,5 \times 10^{11} \text{ m}$, évaluer l'énergie libérée par le Soleil en une seconde.

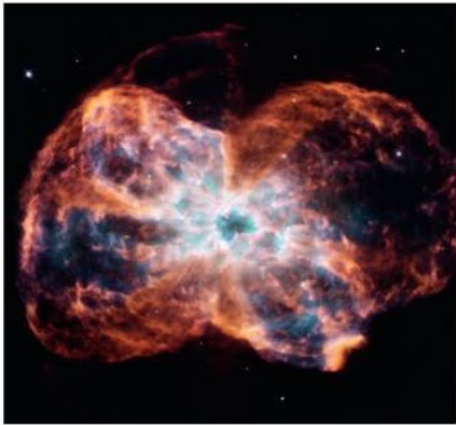
b. En déduire la variation de masse du Soleil transformée chaque seconde.

3. Calculer, en %, le rapport de la masse perdue sur la masse totale du Soleil. Commenter.

Données :

– surface d'une sphère de rayon R : $S = 4 \pi R^2$;

– masse du Soleil : $M_S = 2 \times 10^{27} \text{ tonnes}$.

10 Mort d'une étoile

La photographie ci-contre a été prise par le télescope spatial Hubble. Elle représente la nébuleuse planétaire NGC 2440 éjectée par une étoile centrale aujourd'hui mourante. Ses caractéristiques ont dû être très proches de notre Soleil et l'étude de cette disparition nous informe sur la fin de notre propre étoile.

• En supposant que la fin de notre étoile, le Soleil, soit uniquement due à sa perte de masse, évaluer l'ordre de grandeur de son espérance de vie.

Données :

– ordre de grandeur de la masse du Soleil : $M_S = 10^{27} \text{ tonnes}$;

– ordre de grandeur de l'énergie rayonnée par le Soleil dans toutes les directions par seconde : $E = 10^{26} \text{ J}$.

Prépa
BAC



CONTRÔLE CONTINU

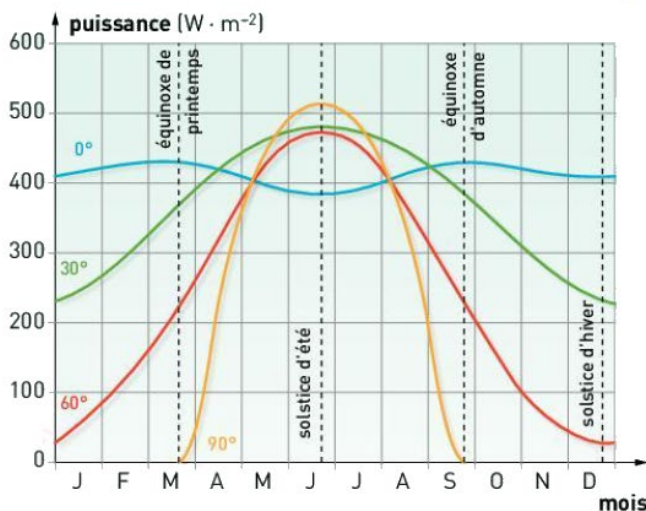
13 Puissance radiative, surface éclairée et température

Un globe terrestre a été éclairé avec une série de faisceaux parallèles de lumière. Deux zones éclairées ont été photographiées sur le globe et les aires correspondantes ont été mesurées.

1. Expliquer pourquoi les deux régions du globe ont des surfaces éclairées d'aires différentes.

2. a. En supposant que chaque faisceau lumineux transporte la même quantité d'énergie, identifier dans quel cas la puissance par m^2 est la plus grande.

Zone éclairée sur le globe		
Aire de la zone éclairée	12,4 cm^2	4,1 cm^2
Latitude de la zone éclairée	60° Nord	3° Nord



b. La réponse précédente est-elle cohérente avec la zone climatique observée dans ces deux régions ?

3. a. En utilisant le graphique ci-contre, estimer la valeur de la puissance par m^2 reçue annuellement dans la zone géographique du Cameroun.

b. En utilisant les aires des surfaces éclairées, en déduire la valeur approchée de la puissance par m^2 reçue dans la zone géographique de la Suède.

c. En déduire une saison possible correspondant à la position du globe lors de la prise des photographies.