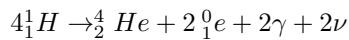


Cours

Le réacteur solaire

- L'origine de l'énergie solaire

Le Soleil est le siège de réactions nucléaires de fusion entre noyaux d'hydrogène. Ces réactions en chaîne, nécessitant une température minimale de 15 millions de kelvin, peuvent se résumer à l'équation bilan :



Lors de cette réaction, la somme des masses des produits est très légèrement inférieure à celle des réactifs. Ce défaut de masse Δm est à l'origine de l'énergie dégagée par le Soleil sous forme de rayonnement. Elle peut se calculer grâce à la fameuse relation d'Einstein :

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 \quad (\text{avec } \Delta E \text{ en J, } \Delta m \text{ en kg, et } c = 3,0 \times 10^8 m \cdot s^{-1})$$

- La température de surface du Soleil

- Le corps noir est un corps idéal qui absorbe toutes les radiations électromagnétiques qu'il reçoit (aucune réflexion n'est possible). La loi de Planck indique que lorsque ce type de corps émet un rayonnement, celui-ci ne dépend que de la température du corps.
- Le spectre du Soleil montre qu'il se comporte en première approximation comme un corps noir.
- Loi de Wien (propre aux corps noirs) : $\lambda_{max} \cdot T = 2,9 \times 10^{-3} m \cdot K$. Cette relation permet de déterminer la température de surface T du Soleil : connaissant grâce à son spectre la longueur d'onde d'émission maximale λ_{max} on accède à la valeur de T par le calcul.

La réception de l'énergie solaire sur Terre

- Une répartition variable dans le temps

- En un point donné, le rayonnement solaire reçu par la Terre varie dans le temps : plus grand le jour que la nuit et plus important en été qu'en hiver (dans l'hémisphère nord).
- La puissance radiative reçue du Soleil par une surface plane est proportionnelle à l'aire de la surface et donc dépend de l'angle incident.
- Ces variations temporelles en un même lieu sont dues respectivement :
 1. à la rotation de la Terre sur elle-même, ce qui modifie l'angle d'incidence des rayons solaires durant le jour ;
 2. à l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport au plan de révolution autour du Soleil, ce qui expose les hémisphères à des angles d'incidence variables suivant le moment de l'année. C'est l'origine des saisons.

- Une répartition variable dans l'espace

- Les moyennes annuelles de température au sol sont d'autant plus fortes que l'on se rapproche de l'équateur, et d'autant plus basses que l'on va vers les pôles. Ceci explique en grande partie les climats, zonés de façon latitudinale.
- En effet, en raison de la rotundité de la Terre, le rayonnement solaire frappe sa surface de façon oblique d'autant plus que la latitude est élevée, alors que le rayonnement atteignant l'équateur est perpendiculaire à la surface du sol.

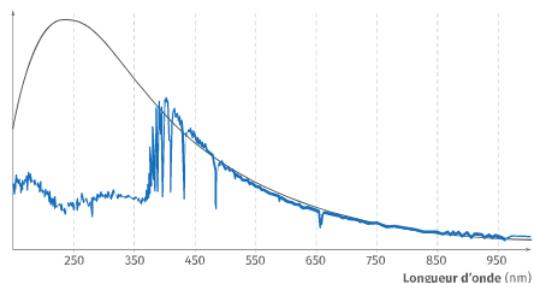
Exercices

Exercice 1

De par sa couleur et sa température, Sirius fait partie des étoiles dites de type A. On a représenté son spectre ci-contre en bleu. On a tracé en noir la courbe modélisant l'intensité d'émission en fonction de la longueur d'onde.

Données

$$\text{Loi de Wien : } \lambda_{\max} = \frac{2,9 \times 10^{-3}}{T} \text{ m}$$



Questions

- Repérez la longueur d'onde pour laquelle l'intensité lumineuse émise par Sirius est maximale pour chacune des courbes.
La courbe noire est celle qui permet de déterminer la température de l'étoile.
- À partir du résultat de la question précédente et de la loi de Wien, concluez sur la température approximative de la surface de Sirius.

Exercice 2

La loi de Stefan-Boltzmann permet de calculer la puissance surfacique émise par un astre en fonction de sa température de surface. Cette loi, accompagnée de la loi de Wien et de l'information du rayon de l'astre, permet aux astrophysiciens de calculer la puissance du rayonnement émis par les étoiles.

La loi de Stefan-Boltzmann s'écrit sous la forme :

$$P_{\text{surface}} = \sigma \cdot T^4 \text{ où } T \text{ est la température de surface en kelvin (K).}$$

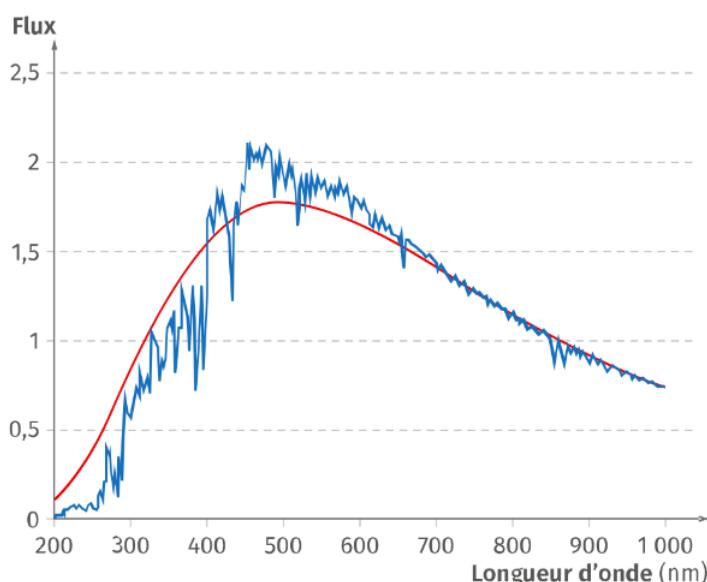
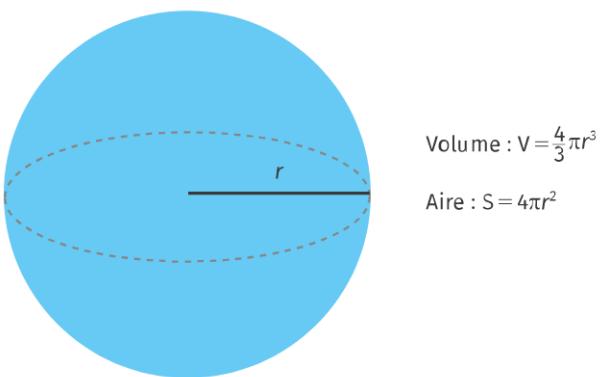
P est la puissance surfacique en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ et

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}.$$

On peut trouver la puissance de rayonnement de l'étoile en multipliant la puissance surfacique par la surface de l'étoile.

On rappelle la loi de Wien, s'appliquant à un corps noir de température de surface T et de longueur d'onde d'émission maximale λ_{\max} :

$$k_{\text{Wien}} = 2,898 \times 10^{-3} \text{ m}\cdot\text{K}$$



Données concernant le Soleil.

Rayon équatorial : $6,955 \times 10^5 \text{ km}$

Circonférence équatoriale : $4,379 \times 10^6 \text{ km}$

Masse : $1,989 \times 10^{30} \text{ kg}$

Densité : $1,409 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$

- En considérant le Soleil comme un corps noir, calculez sa température de surface.
- À l'aide de la loi de Stefan-Boltzmann, calculez la puissance surfacique du rayonnement solaire.
- Déduisez des calculs précédents et de l'énoncé la puissance du rayonnement solaire. Comparez la valeur obtenue avec celle donnée dans l'activité 1.

Exercice 3

Une éclipse totale de Soleil est un événement rare et impressionnant.

L'éclipse du 11 août 1999 est considérée comme celle ayant été suivie par le plus d'êtres humains dans toute l'histoire : en effet, elle a traversé des zones très fortement peuplées comme l'Europe et l'Asie. Une large partie de l'hémisphère nord a été plongée, à un moment de la journée, dans la pénombre. En revanche, seule une petite partie de la surface terrestre a été plongée dans une totale obscurité : une tache complètement noire se déplaçait sur Terre, donnant ainsi aux quelques chanceux sur place la sensation étrange d'observer la tombée de la nuit (puis le lever du jour) en quelques secondes à peine. C'est cette « tache d'ombre » qui va nous intéresser tout au long de cet exercice.



La tache d'ombre lors de l'éclipse de 1999.

- Le centre de la tache d'ombre est notamment passé au nord-est de Paris, à Reims. Cette tache de 112 km de diamètre se déplaçait d'ouest en est à une vitesse de 3 055 km·h⁻¹. Déterminez la durée pendant laquelle les Rémois (habitants de Reims) se sont retrouvés plongés dans l'obscurité.
- La puissance émise par le Soleil est interceptée par la Terre. Rappelez sur quelle surface cette puissance est interceptée, puis déterminez l'expression littérale et la valeur numérique de son aire.
- Déterminez la valeur numérique de l'aire de la tache d'ombre.
- Normalement, la Terre intercepte une puissance émise par le Soleil égale à $1,74 \times 10^{17}$ W.
À l'aide des questions précédentes, déterminez la puissance P_{ombre} que la Terre ne peut pas intercepter à cause de la présence de la tache d'ombre.
- Déterminez la valeur numérique de l'énergie que la Terre n'a pas pu intercepter à cause de la tache d'ombre pendant toute la durée où Reims s'est trouvée plongée dans l'obscurité.
- La consommation électrique annuelle rémoise s'élève à environ 4×10^5 MWh. Combien de temps faudrait-il aux Rémois pour consommer autant d'énergie que la valeur calculée à la question précédente ?

Exercice 4

La Lune, seul satellite naturel de la Terre, reçoit l'essentiel de sa puissance de la part du Soleil. On la modélise par une boule de rayon $R_L = 1\,737$ km. On considérera que la distance moyenne entre la Lune et le Soleil est égale à celle entre la Terre et le Soleil, soit $D = 149,6 \times 10^6$ km.

Questions

À l'aide d'un schéma, déterminez l'expression littérale de la proportion de la puissance émise par le Soleil reçue par la Lune.

Activité 1 : Le Soleil

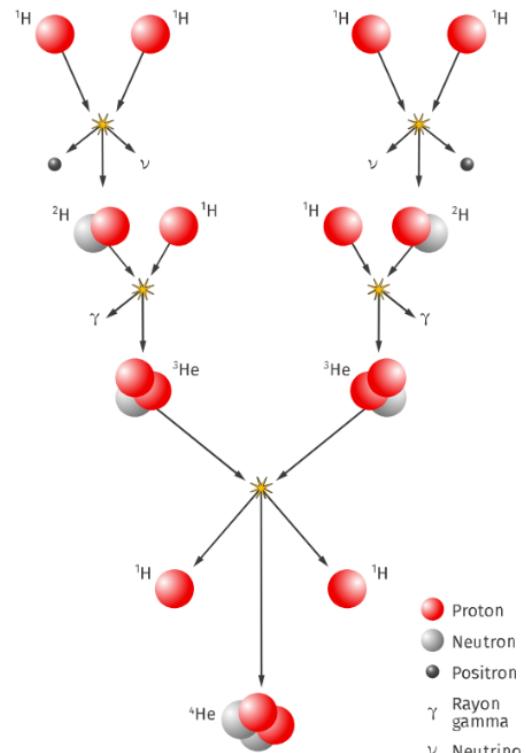
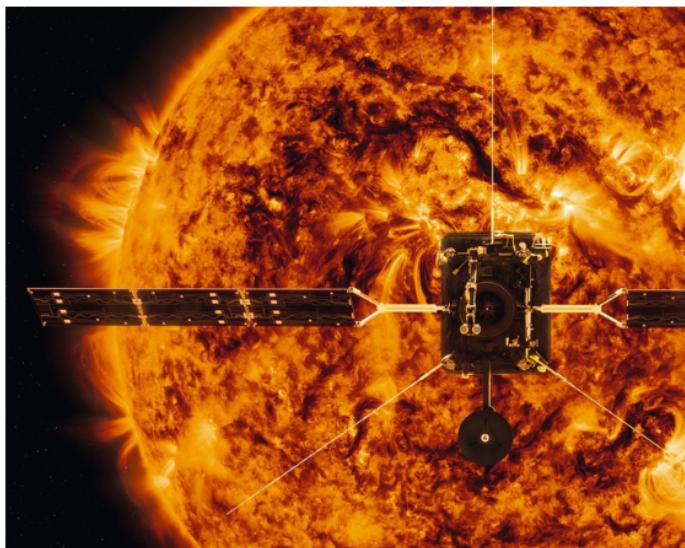
On sait depuis l'Antiquité que le Soleil est à l'origine de la vie telle qu'on la connaît sur Terre, mais ce n'est que depuis le début du XXe siècle que l'on peut expliquer son fonctionnement.

Quel mécanisme est à l'origine de l'énergie émise par le Soleil ?

Doc. 1 La puissance rayonnée par le Soleil



Le Soleil est un objet incandescent : il émet de la lumière à cause de sa température. Cette lumière émise par le Soleil permet un transfert d'énergie jusqu'à la Terre. À partir de l'énergie reçue sur Terre, on peut calculer la puissance du rayonnement solaire (voir chapitre 5). En moyenne, la puissance surfacique du rayonnement solaire sur Terre est de $1\ 360\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, soit une puissance solaire $P_{\text{Soleil}} = 3,85 \times 10^{26}\ \text{W}$.



Doc. 3 La relation d'Einstein

C'est peut-être la relation mathématique la plus célèbre du monde c

$E = m \cdot c^2$ (avec E exprimée en joule, m en kilogramme et c en mètre par seconde). La relation d'Einstein établit une équivalence entre énergie et masse. La variation de masse observée lors d'une transformation nucléaire est proportionnelle à l'énergie libérée (ou absorbée) avec un facteur de proportionnalité c^2 . Réciproquement, l'émission d'énergie par un système peut se traduire comme une diminution de la masse de ce système.

1. Doc. 1 - Rappelez la relation permettant de calculer l'énergie transférée E en fonction de la puissance P et de la durée du transfert Δt .
2. Doc. 2 - Écrivez les équations de réaction nucléaire des trois réactions présentées.
3. Doc. 1, 3 - Quelle quantité d'énergie le Soleil rayonne-t-il chaque seconde ? À partir de la relation d'Einstein, déterminez la diminution de masse à laquelle cette énergie émise correspond.

Doc. 2 Les réactions nucléaires au sein du Soleil

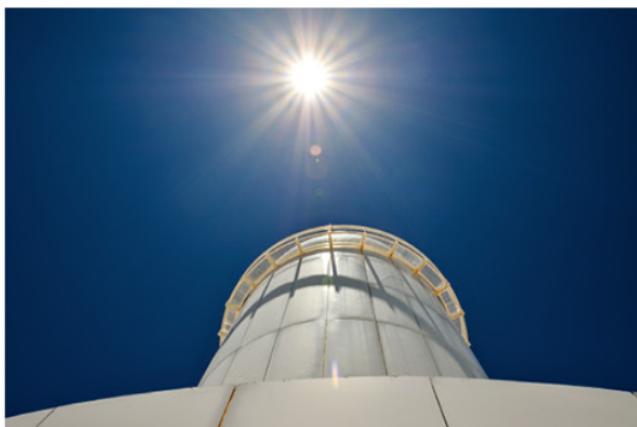
Dans le Soleil, les conditions de pression et de température permettent aux noyaux d'hydrogène ${}^1\text{H}$ d'effectuer des réactions de fusion nucléaire pour former à terme des noyaux d'hélium ${}^4\text{He}$. Ces fusions nucléaires libèrent une grande quantité d'énergie.

Activité 2 : Le rayonnement solaire

DOC

1

La constante solaire

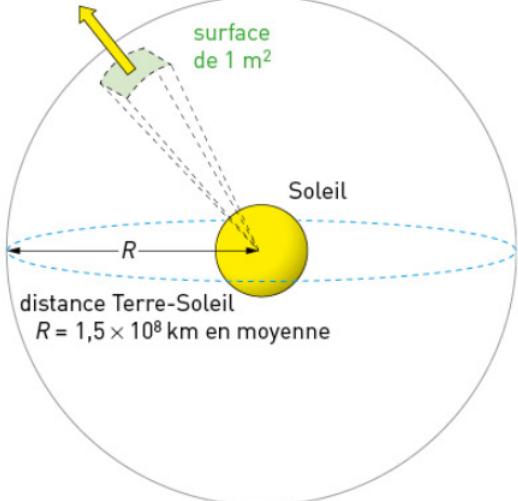


a Un télescope d'un observatoire astronomique.

En cosmologie, on considère que le Soleil, notre étoile, produit sans interruption une quantité d'énergie constante sous forme d'ondes électromagnétiques. Pour évaluer cette quantité d'énergie, les scientifiques ont défini la constante solaire (b). Elle correspond à la puissance moyenne du rayonnement qui atteint une surface imaginaire de 1 m^2 , perpendiculaire aux rayons du Soleil et située à la limite de l'atmosphère terrestre.

Cette quantité d'énergie n'est pas rigoureusement constante malgré le nom qui lui a été donné. En effet, l'orbite de la Terre étant elliptique, l'intensité du rayonnement solaire qui arrive jusqu'à nous varie dans l'année. On considère donc une valeur moyenne annuelle de $1\,368 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

constante solaire
 $F = 1\,368 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$



b La constante solaire.

DOC

2

Carte d'identité du Soleil

Âge : 4,6 milliards d'années

Diamètre :

1,4 million de kilomètres (plus de 100 fois celui de la Terre)

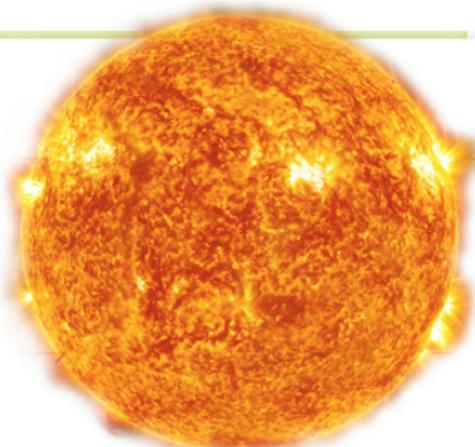
Composition chimique :

73 % d'hydrogène ; 25 % d'hélium ; 2 % autres

Température : 6 000 K à la surface

Masse : 2×10^{27} tonnes

Distance Terre-Soleil : en moyenne 150 millions de kilomètres



doc

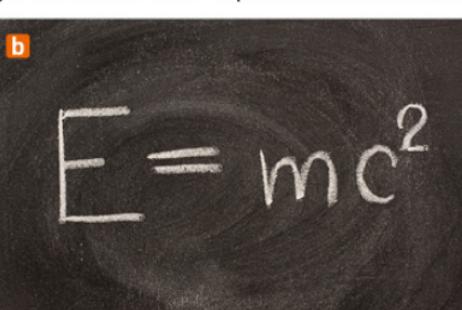
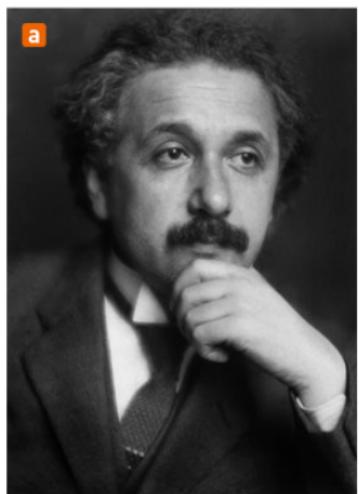
3 Équivalence masse-énergie

Le physicien Albert Einstein (1879-1955) formula en 1905 la célèbre formule $E = mc^2$ reliant la masse et l'énergie (**a** et **b**).

Cette équation, d'écriture assez simple, énonce que l'énergie E d'un système (exprimée en joule, J) est égale à sa masse m (exprimée en kilogramme, kg) multipliée par le carré de la vitesse de la lumière c qui est égale à $3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Elle a pourtant révolutionné la physique de l'époque en montrant qu'énergie et masse sont équivalentes. Ainsi, la masse n'est pas seulement une

grandeur liée à la quantité de matière présente dans un objet mais aussi à la quantité d'énergie de cet objet. Un objet peut donc voir sa masse baisser soit en perdant de la matière, soit en perdant de l'énergie.

a

doc

4 Surfaces et volumes

	Cube	Parallélépipède rectangle	Sphère	Cylindre
Surface	$S = 6a^2$	$S = 2L\ell + 2Lh + 2\ell h$	$S = 4\pi R^2$	$S = 2\pi Rh + 2\pi R^2$
Volume	$V = a^3$	$V = L\ell h$	$V = \frac{4}{3}\pi R^3$	$V = \pi R^2 h$

Pistes de travail

Pour évaluer la masse perdue par le Soleil en une seconde :

- 1 Évaluer la puissance rayonnée par le Soleil dans toutes les directions de l'espace en utilisant la constante solaire.
- 2 En déduire l'énergie rayonnée par le Soleil en une seconde.
- 3 Calculer la variation de masse correspondante en exploitant l'équivalence masse-énergie.
- 4 Commenter le résultat obtenu.

Activité 3 : La loi de Wien

Le Soleil comme tout corps matériel émet des ondes électromagnétiques. Ces dernières sont interceptées par la surface de la Terre.

Leur étude permet de déterminer la température de surface de notre étoile.

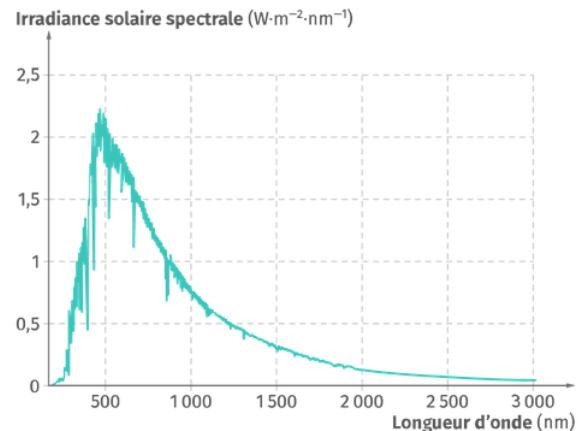
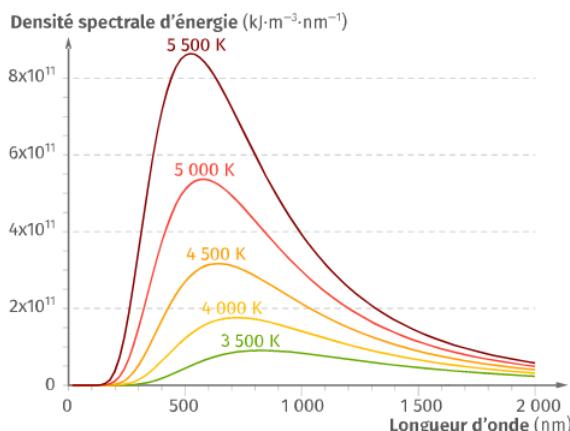
→ Comment l'étude du spectre d'émission du Soleil permet de déterminer sa température de surface ?

Doc. 1

Spectre d'émission d'un corps et loi de Wien

Lorsque l'on trace le spectre d'émission d'objets incandescents de différentes températures, comme présenté à gauche, on constate que plus l'objet est chaud, plus la longueur d'onde correspondant au maximum d'intensité est faible.

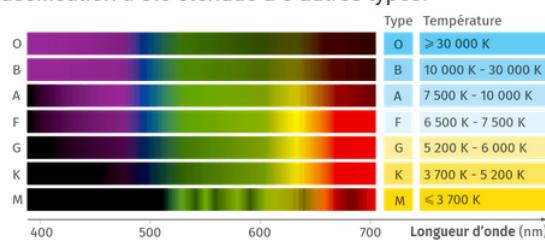
La loi de Wien permet de traduire cette observation. Cette loi s'écrit sous la forme : $\lambda_{\max} = \frac{k}{T}$, où T est la température en kelvin et k vaut $2,898 \times 10^{-3}$ m·K.



Doc. 2

Classification spectrale des étoiles

L'étude du spectre d'émission d'une étoile illustre le lien entre sa température de surface et sa couleur. La classification de Harvard, créée au XX^e siècle, organise les différentes étoiles selon leur spectre d'émission. Les principaux types spectraux sont notés O, B, A, F, G, K et M ; chaque type spectral possédant lui-même 10 sous-catégories. Au fur et à mesure de la découverte de nouvelles étoiles, la classification a été étendue à 8 autres types.



1. Doc. 1 Identifiez la longueur d'onde λ_{\max} pour laquelle le soleil émet le plus d'énergie.
2. Doc. 1 À partir de la question précédente, déduisez graphiquement la température de la surface du Soleil. Retrouvez cette valeur par le calcul.
3. Doc. 2 Déduisez-en le type d'étoile auquel appartient le Soleil selon la classification de Harvard.