

Thème 2 : Le soleil, notre source d'énergie

IV. Le rayonnement solaire

Programme : Histoire, enjeux, débats

Repères historiques sur l'étude du rayonnement thermique (Stefan, Boltzmann, Planck, Einstein).

Le discours sur l'énergie dans la société : analyse critique du vocabulaire d'usage courant (énergie fossile, énergie renouvelable, etc.).

Distinction météorologie/climatologie.

 Quelques repères historiques sur l'étude du rayonnement thermique (Hatier page 74)

Stefan, Boltzmann, Planck, Einstein...

1. Le soleil, un réacteur à hydrogène

NB : il *ne faut pas* regarder le soleil à l'œil nu, même au cours d'une éclipse partielle ou totale !

a) Les réactions nucléaires

Savoirs : L'énergie dégagée par les réactions de fusion de l'hydrogène qui se produisent dans les étoiles les maintient à une température très élevée.

Du fait de l'équivalence masse-énergie (relation d'Einstein), ces réactions s'accompagnent d'une diminution de la masse solaire au cours du temps.

Comme tous les corps matériels, les étoiles et le Soleil émettent des ondes électromagnétiques et donc perdent de l'énergie par rayonnement.

Savoir-faire : Déterminer la masse solaire transformée chaque seconde en énergie à partir de la donnée de la puissance rayonnée par le Soleil.

Prérequis et limites : Les notions de base concernant l'énergie et la puissance, déjà connues, sont remobilisées.

Rappels (structure de l'atome) :

- Un **neutron** est une particule neutre (sans charge électrique) du noyau.
- Un **proton** est une particule chargée positivement du noyau.
- Un **élément chimique** X se note avec le symbole : ${}_Z^AX$, avec :
 - Z le **numéro atomique** : c'est le nombre de protons (donc de charges positives) : il caractérise l'élément chimique ;
 - A le **nombre de masse** = c'est le nombre de protons + de neutrons ; il permet de distinguer un isotope d'un autre.

Le soleil :

- est l'étoile de « notre » système solaire ;
- est surtout formé d'hydrogène ${}^1_1\text{H}$ (73%) ;
- son diamètre vaut 100 fois celui de la Terre, sa masse est plus de 300000 fois plus grande.

 Le livre scolaire doc. 2 page 68 (les petits soleils représentent les collisions)

- La pression et la température très fortes au centre de l'étoile (15.10^6 K) entraînent des réactions de **fusion nucléaire** : quatre noyaux d'hydrogène (${}^1_1\text{H}$) donnent un noyau d'hélium (${}^4_2\text{He}$).
- Ces réactions de fusion nucléaire :
 - libèrent une très grande quantité d'énergie sous forme d'**ondes électromagnétiques** et maintiennent le soleil à une température très élevée ;
 - consomment progressivement les « réserves de carburant » du soleil : on peut évaluer la masse solaire transformée en énergie en mesurant la puissance rayonnée.

❖ Activité 1 - dossier 1 : calculer la masse perdue par le soleil par seconde (« défaut de masse »)

Le calcul mobilise les notions suivantes :

- Relation énergie – puissance : $E = P \times \Delta t$, avec E l'énergie (en joule : J), P la puissance (en watt : W) et Δt le temps (durée en seconde : s). Si le temps est exprimé en heure, E peut l'être en Watt-heure.

- L'équivalence entre masse et énergie : $E = m \times c^2$ avec m la masse (kg) et c la vitesse de la lumière dans le vide (ou « célérité »)¹.
- La constante solaire (notée F), énergie solaire reçue par une surface de 1 m^2 perpendiculaire aux rayons lumineux. À une distance de 1 U.A. (soit au niveau de la Terre), cette constante solaire vaut 1368 W.m^{-2} .

b) La température de surface du soleil

Savoirs : Le spectre du rayonnement émis par la surface (modélisé par un spectre de corps noir) dépend seulement de la température de surface de l'étoile.

La longueur d'onde d'émission maximale est inversement proportionnelle à la température absolue de la surface de l'étoile (loi de Wien).

Savoir-faire : À partir d'une représentation graphique du spectre d'émission du corps noir à une température donnée, déterminer la longueur d'onde d'émission maximale.

Appliquer la loi de Wien pour déterminer la température de surface d'une étoile à partir de la longueur d'onde d'émission maximale.

Prérequis et limites : La loi de Planck n'est pas explicitée : toutes les analyses spectrales sont réalisées à partir de représentations graphiques.

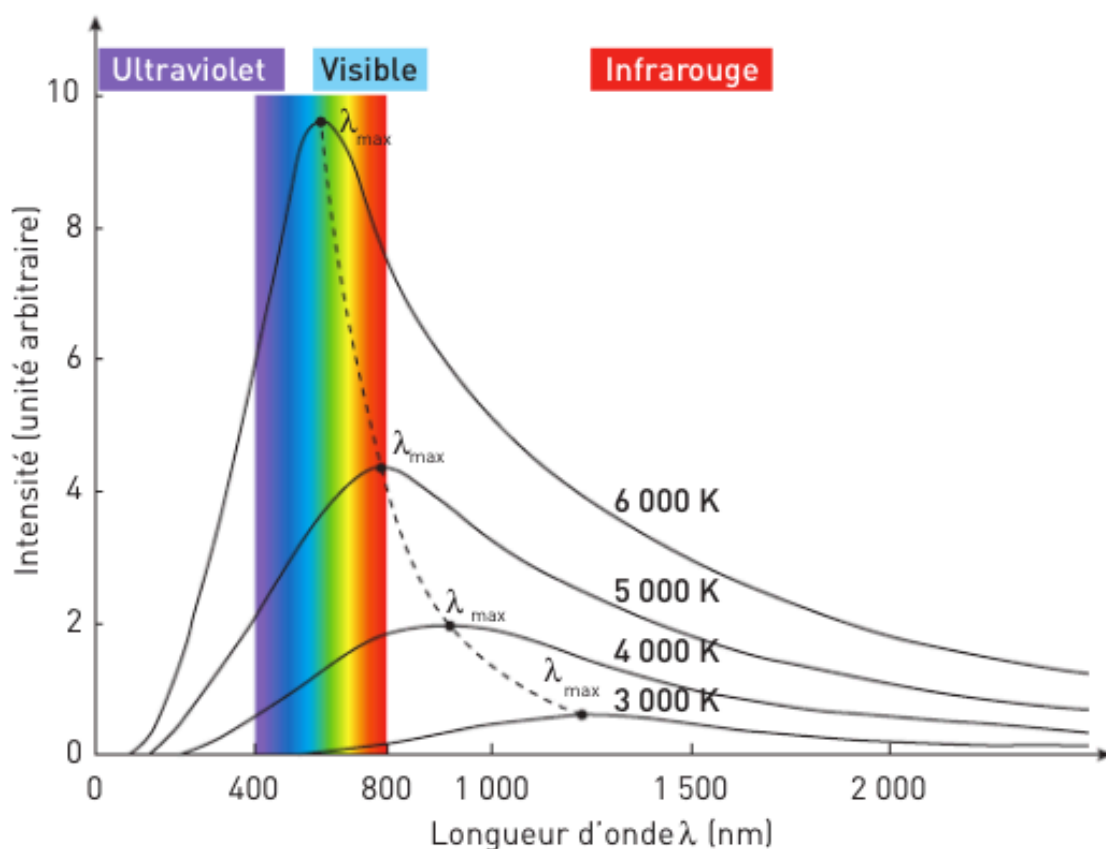
La relation entre la température absolue, exprimée en kelvin, et la température en degrés Celsius est fournie, ainsi que la loi de Wien.

❖ Activité 1 - dossier 1 : déterminer la longueur d'onde d'émission maximale à partir du spectre d'émission du corps noir à une température donnée

📖 Vidéos sur le corps noir (voir bilan)

- Un « **corps noir** », progressivement chauffé, émet une lumière dont la couleur change avec la température (on parle ainsi d'un métal « chauffé au rouge » ou « chauffé à blanc »...) : la longueur d'onde est inversement proportionnelle à la température du corps noir (elle diminue quand la température augmente).

📖 Intensité lumineuse émise par le corps noir aux différentes longueur d'onde selon la température (Magnard page 68)



¹ C'est la « fameuse équation d'Einstein », même si l'auteur pourrait en être Henri Poincaré, un mathématicien et physicien français.

❖ Activité 1 - dossier 1 appliquer la loi de Wien pour déterminer la température de surface d'une étoile à partir de la longueur d'onde d'émission maximale

- La **loi de Wien** traduit cette relation entre la longueur d'onde ($\lambda_{\max}$) et la température (T) à laquelle le corps noir émet avec un maximum d'intensité lumineuse : $\lambda_{\max} = \frac{k}{T}$.
- Dans cette équation, $\lambda_{\max}$ est en m, T en kelvin² ; k est une constante qui traduit la proportionnalité inverse entre k et T.

NB : dans le symbole $\lambda_{\max}$, le maximum correspond à l'intensité lumineuse et non pas à la longueur d'onde.

📖 Le livre scolaire doc. 1 page 69 (« irradiance solaire spectrale » en fonction de la longueur d'onde)

- Le soleil et les autres étoiles se comportent, en première approximation, comme le corps noir : leur couleur ne dépend que de leur température de surface : vers le rouge pour les plus « froides » et vers le bleu pour les plus « chaudes » :
- La température de surface d'une étoile peut donc être déterminée à partir de sa couleur.
- Le profil spectral représente l'intensité du rayonnement en fonction de la longueur d'onde : on détermine sur ce graphique la longueur d'onde d'émission maximale puis on utilise la loi de Wien ;
- Avec ce calcul, on trouve une température de surface de 6000 K pour le soleil.³

❖ Exercice d'application (auto corrigé) : déterminer la température de surface de Sirius (lelivrescolaire ex. 2 page 77)

📖 Le livre scolaire doc. 2 page 69

- On classe les étoiles en fonction de leur spectre d'émission. À quelle classe appartient le soleil ?

2. Le rayonnement reçu par la Terre

a) Une petite planète assez proche de son étoile

Programme : Le soleil transmet à la Terre de l'énergie par rayonnement.

Savoirs : La proportion de la puissance totale, émise par le Soleil et atteignant la Terre, est déterminée par son rayon et sa distance au Soleil.

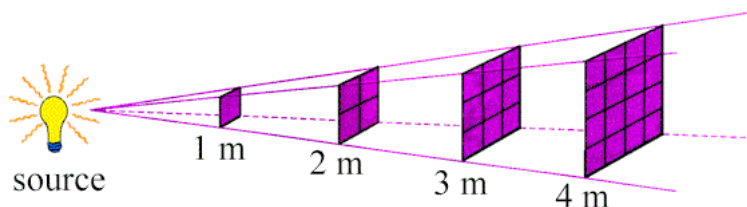
Savoir-faire : En s'appuyant sur un schéma, calculer la proportion de la puissance émise par le Soleil qui atteint la Terre.

- Les ondes électromagnétiques transportent de l'énergie : c'est pourquoi en plus d'éclairer, le soleil « chauffe » la surface terrestre (eau et sol).

❖ Activité 1 - dossier 2 : Influence de la distance entre la Terre et le soleil

📖 <https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/explication-temperature.xml>

- La fraction d'énergie solaire arrivant sur un astre dépend de sa distance à l'étoile : un astre située 2 fois plus loin du soleil qu'un autre reçoit 4 fois moins de lumière (l'éclairement est inversement proportionnel au carré de la distance).



- La fraction d'énergie solaire arrivant sur un astre dépend aussi de son diamètre : plus l'astre est grand et plus il reçoit de lumière.

² T (en K) = θ (en °C) + 273

³ Comme l'atmosphère en absorbe une partie des rayonnements, la lumière nous semble plus jaune vue de la surface (mais blanche pour les astronautes !).

b) Une inégale répartition de l'énergie solaire

Savoirs : La puissance radiative reçue du Soleil par une surface plane est proportionnelle à l'aire de la surface et dépend de l'angle entre la normale à la surface et la direction du Soleil.

De ce fait, la puissance solaire reçue par unité de surface terrestre dépend :

- de l'heure (variation diurne) ;
- du moment de l'année (variation saisonnière) ;
- de la latitude (zonation climatique).

Savoir-faire : Sur un schéma, identifier les configurations pour lesquelles la puissance reçue par une surface est maximale ou minimale.

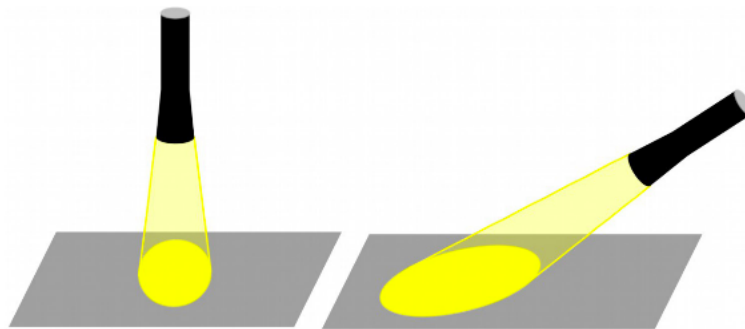
Analyser, interpréter et représenter graphiquement des données de températures. Calculer des moyennes temporelles de températures.

Comparer des distributions temporelles de températures.

❖ Activité 1 - dossier 2 : rappels du cours de Seconde (angle d'incidence, climats, saisons...)

On appelle **angle d'incidence** l'angle entre les rayons solaires et la normale (perpendiculaire) de la surface éclairée. L'énergie lumineuse reçue par une surface dépend de cet angle d'incidence : plus les rayons sont inclinés (donc plus l'angle est ouvert) et plus la lumière est dispersée sur une grande surface, donc moins elle éclaire et moins elle chauffe.

 https://cache.media.eduscol.education.fr/file/les_mathematiques_de_l_ES/34/6/RA19_Lycee_G_1_MATH_Enseignement-scientifique_RayonnementSolaire_1149346.pdf



L'angle d'incidence varie en fonction de l'heure, de la latitude et du moment de l'année :

- En fonction de *l'heure* car la Terre tourne sur elle-même (alternance jour/nuit) ;
 - Au lever et au coucher du soleil, l'angle d'incidence est maximal (90°), les rayons sont rasants (parallèles à la surface du sol) et par conséquent leur énergie est dispersée sur une grande surface : le soleil éclaire et chauffe peu. Comme ces rayons traversent une grande épaisseur d'atmosphère, une partie est absorbée et le soleil semble très jaune ;
 - En milieu de journée, lorsque le soleil est au zénith (au milieu de sa course dans le ciel, ce qui a lieu à l'heure du « midi solaire »), l'angle d'incidence est minimal (jusqu'à 0° si les rayons sont perpendiculaires à la surface du sol) et par conséquent leur énergie est concentrée sur une petite surface : le soleil éclaire et chauffe davantage.
- En fonction de la *latitude* (à un moment donné) car comme la Terre est ronde, l'angle d'incidence augmente de l'équateur vers les pôles : la température diminue donc de l'équateur vers les pôles. Ceci est à l'origine des **climats**, répartis en ceintures parallèles à l'équateur et symétriques de part et d'autre de celui-ci.⁴
- En fonction du *moment* de l'année (à un endroit donné) car la Terre est penchée⁵ et tourne autour du soleil. Ceci est à l'origine des **saisons** qui alternent entre les deux hémisphères (en juillet, c'est l'été dans l'hémisphère Nord et l'hiver dans l'hémisphère Sud, et l'inverse en décembre).

⁴ Si la Terre était plate, il y aurait partout le même climat ! (du latin *clima* « inclinaison du ciel »).

⁵ Il n'y aurait donc pas de saison si la Terre n'était pas penchée.