



Les spectres, messages de la lumière

La lumière est parfois le seul élément d'information dont nous disposons : c'est le cas pour les étoiles, y compris le Soleil. En y regardant de plus près, il y a plusieurs types de spectres lumineux, et ces derniers ne sont pas avares en informations.

1 – Spectres continus d'origine thermique

1.1 – Au laboratoire

A l'aide du spectroscopie, observer le spectre d'une ampoule à incandescence alimentée par un courant électrique plus ou moins intense.
Noter vos observations.



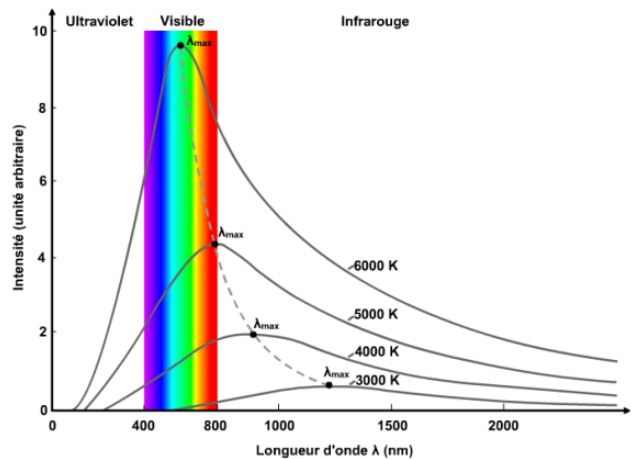
Comment fonctionne une ampoule à incandescence ?

Observer : [spectre continu thermique.mp4](#) sur le Repaire ou l'ENT.

1.2 – Un thermomètre pour les étoiles

Pour une température supérieure à 2 000°C, toutes les radiations visibles sont présentes dans le spectre, mais elles n'ont pas la même luminosité. La couleur dominante d'un spectre continu, c'est-à-dire la couleur la plus lumineuse, renseigne sur la température de la source : une dominante rouge correspond à une température de 3 000°C environ (fer en forge). Il faut atteindre plusieurs dizaines de milliers de degrés Celsius pour observer une dominante bleue.

En ce qui concerne notre Soleil, la lumière qu'il émet peut être considérée comme jaune ou blanche ; de toute façon, le Soleil est une boule de matière extrêmement chaude, dont la lumière contient toutes les radiations du violet au rouge, avec une dominante jaune (vers 560 nm).



Spectres de « corps noir »

La température est indiquée en kelvins (K), sachant que

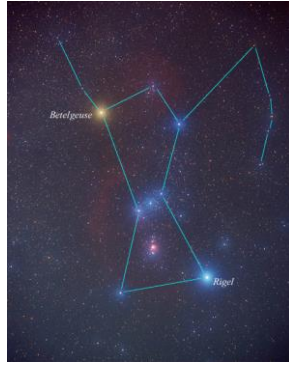
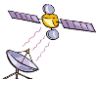
$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273$$



Le peintre hollandais Vincent Van Gogh écrivait en 1888 à sa sœur :

« Je veux maintenant absolument peindre un ciel étoilé. Souvent il me semble que la nuit est encore plus richement colorée que le jour, colorée des violets, des bleus et des verts les plus intenses. Lorsque tu y feras attention tu verras que certains étoiles sont citronnées, d'autres ont des feux roses, vers, bleus, myosotis. Et sans insister davantage, il est évident que pour peindre un ciel étoilé il ne suffit point du tout de mettre des points blancs sur du noir bleu. »

Peu après, il peignit, au bord du Rhône, en Arles, le premier de ses ciels étoilés (72,5x92cm, musée d'Orsay, Paris).



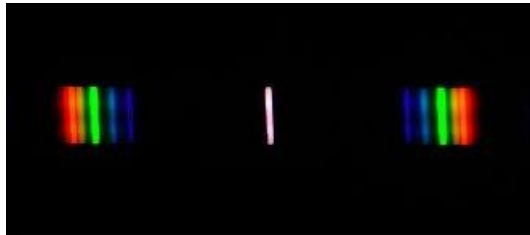
La belle constellation hivernale d'Orion, repérable entre mille par ses feux et son baudrier (trois étoiles alignées, Alnitak, Alnilam, Mintaka). Les plus brillantes sont la supergéante rouge alpha Orionis (Bételgeuse), en haut, et la supergéante bleue beta Orionis (Rigel), en bas.

Quelle(s) information(s) peut-on déduire de la couleur des étoiles ?

2 – Des spectres de raies

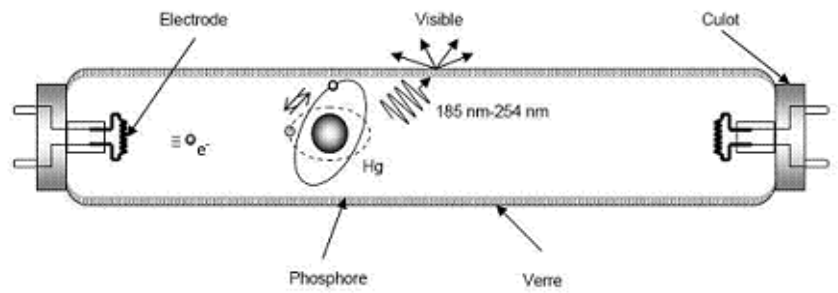
2.1 – Spectres de raies d'émission

Lampes dites « à économie d'énergie », « à basse consommation » ou encore « fluocompactes ».



Spectre d'une ampoule fluocompacte.

Vue en coupe d'un néon.



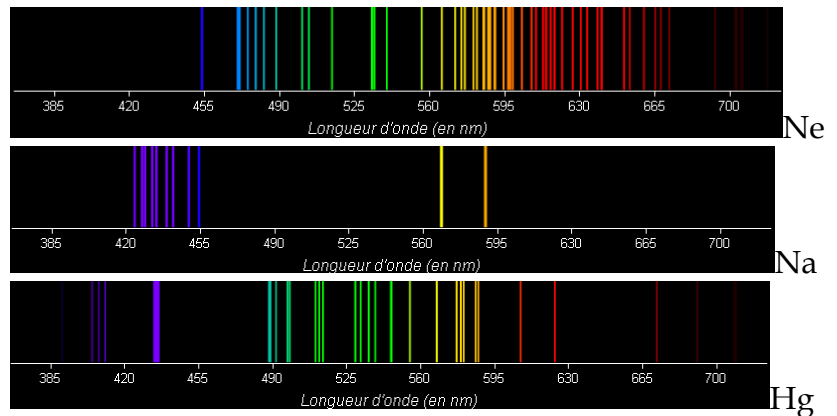
Qu'observe-t-on ?

Que contiennent ces ampoules ?

Pourquoi faut-il prendre soin de les recycler correctement ?

Le tube néon n'est aujourd'hui généralement plus rempli de gaz néon (qui générerait une lumière rougeâtre) ; on utilise des vapeurs de mercure et/ou de cadmium, mais on pourrait réaliser une lampe à partir de n'importe quel gaz : voir l'animation [spectres_emission.swf](#)

Comment se présente un spectre de raies d'émission ?



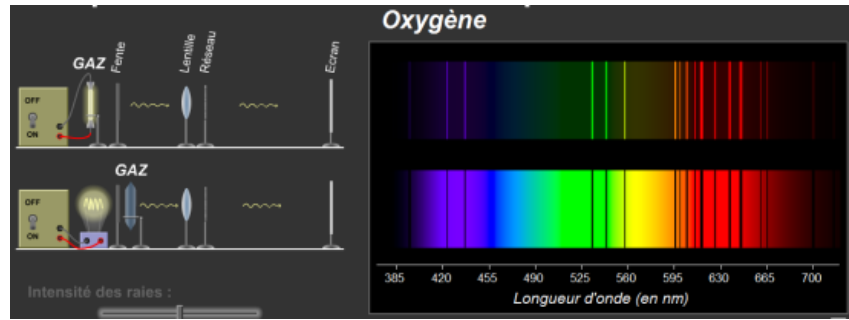
2.2 – Spectres de raies d'absorption

Si les gaz sont capables d'émettre de la lumière lorsqu'ils sont excités, ils peuvent également absorber en partie la lumière avec laquelle on les éclaire. Utilisons l'animation [spectres_abs_em.swf](#) pour mieux comprendre.



Chose remarquable, l'absorption se fait exactement pour les longueurs d'onde qu'ils sont susceptibles d'émettre : spectres d'émission et d'absorption sont donc complémentaires, comme le montre l'exemple de l'oxygène ci-contre.

Comment peut-on obtenir un spectre de raies d'absorption ?



Comment ce type de spectres se présente-t-il ?

Ce phénomène d'absorption lumineuse est très courant : il permet notamment d'expliquer la couleur des liquides transparents.

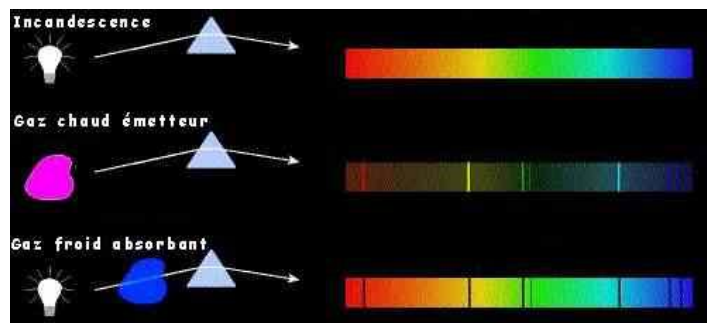
Quelle est la couleur de la solution de permanganate de potassium ?

Comment peut-on interpréter le spectre ci-contre, obtenu à l'aide d'un prisme et d'un rétroprojecteur ?

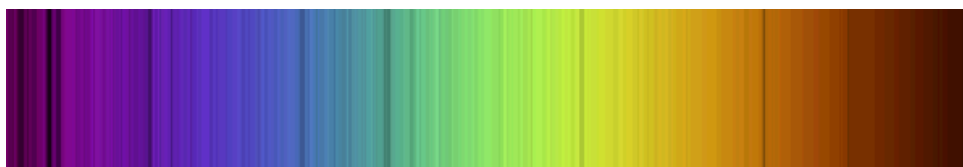


Que donnerait le spectre d'un sirop de menthe ?

2.3 – Applications en astrophysique



C'est Fraunhofer qui le premier observa des raies sombres dans le spectre du Soleil au XIX^{ème} siècle.



Spectre du Soleil (résolution moyenne)

1. Une étoile est-elle une source primaire ou secondaire de lumière ?
2. Le spectre d'une étoile est-il un spectre d'émission ou d'absorption ? Comment expliquer cela ?
3. A quoi sont dues ces raies sombres ?



Activité documentaire

A. Les débuts de l'astrophysique

En 1802, un chimiste britannique, William Wollaston, observe l'absence de certaines couleurs dans le spectre du Soleil. En 1814, à l'aide d'un spectroscope de son invention, le physicien allemand Joseph Fraunhofer observe des raies sombres dans le spectre continu du Soleil (Fig. 1b). Il fait une mesure précise de la position de plusieurs centaines de ces raies sombres en notant les plus intenses par des lettres.

En 1859, les physiciens et chimistes allemands Gustav Kirchhoff et Robert Bunsen mettent en évidence qu'un gaz chaud sous basse pression émet une série de raies et que celle-ci est propre à la composition chimique du gaz. Kirchhoff découvre ensuite que le spectre de la lumière blanche ayant traversé un gaz, à basse pression et à basse température, présente des raies sombres aux mêmes longueurs d'onde que celles émises par

le gaz lorsqu'il est chaud. Il fait alors le parallèle entre sa découverte et le spectre de Fraunhofer. Il en conclut que la lumière émise par la surface chaude du Soleil traverse une couche gazeuse relativement froide, l'atmosphère solaire, et que pour certaines longueurs d'onde, les radiations sont absorbées.

B. Étude expérimentale de la lumière solaire

Sur la figure 1, le graphe a donne l'intensité lumineuse de chaque radiation émise par le Soleil en fonction de sa longueur d'onde. Sur le spectre visible du Soleil (b), les principales raies sombres sont repérées par les lettres données par Fraunhofer ; leur longueur d'onde λ est indiquée dans le tableau de la figure 2.

La figure 3 donne les raies spectrales de quelques entités chimiques présentes dans les étoiles.

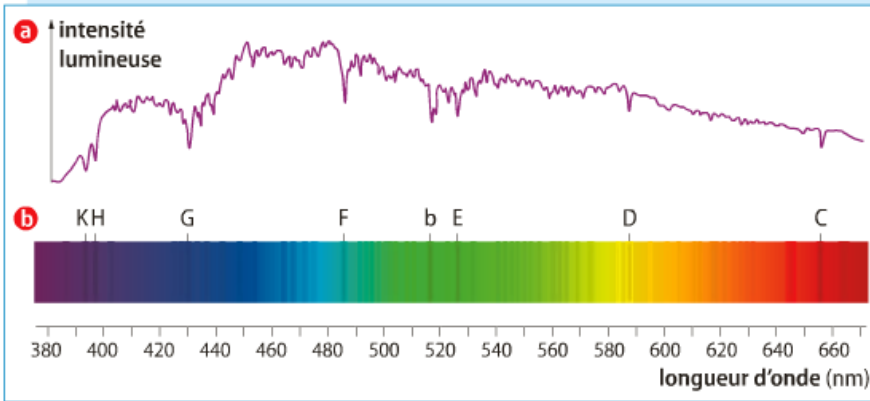


Fig. 1 Spectre de la lumière du Soleil (b) et graphe de l'intensité lumineuse de chaque radiation (a).

Raie	C	D	E	b	F	G	H	K
λ (nm)	657	589	527	517	486	430	397	393

Fig. 2 Principales raies sombres du spectre du Soleil.

Entité	Longueurs d'onde (nm)
H	657 – 556 – 486 – 434 – 410
Mg	517 – 470
Ca ⁺	397 – 393
Na	589
Fe	533 – 527 – 517 – 496 – 438 – 430 – 427

Fig. 3 Raies des spectres de quelques entités chimiques.

Conclusion : à quelle(s) information(s) le spectre d'une étoile – comme le Soleil – donne-t-il accès ??

Remarque : un pas vers la 1^{ère} S...

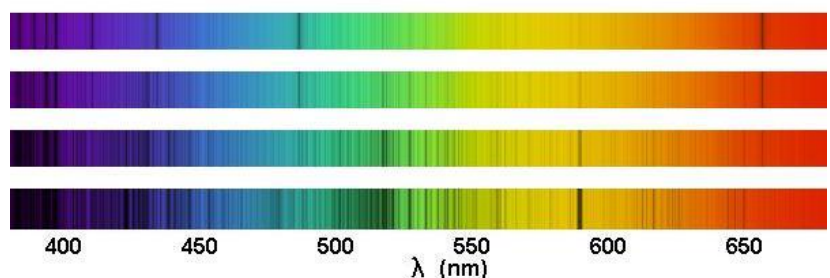
Il existe une relation simple, aujourd'hui appelée *loi de Wien* par les astrophysiciens, reliant la longueur d'onde d'intensité maximale λ_{\max} et la température T de la surface de l'étoile,

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

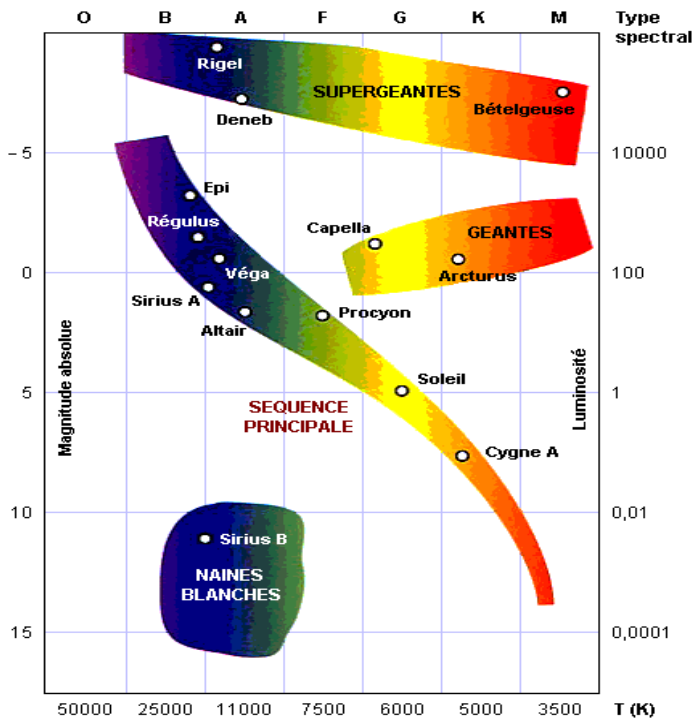
où T est la température absolue en kelvins ($T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273$).

- En déduire la température de surface du Soleil.
- Pour l'étoile Rigel, λ_{\max} est de 290 nm ; elle est de 1 200 nm pour Bételgeuse.
 - Dans quel domaine du spectre se situent ces longueurs d'onde ?
 - Donner la température de surface de ces deux étoiles.

quelques spectres d'étoiles



Voici d'autres spectres stellaires (Sirius, Procyon, Arcturus, Bételgeuse) et, ci-dessous, le diagramme Hertzsprung-Russel (HR).

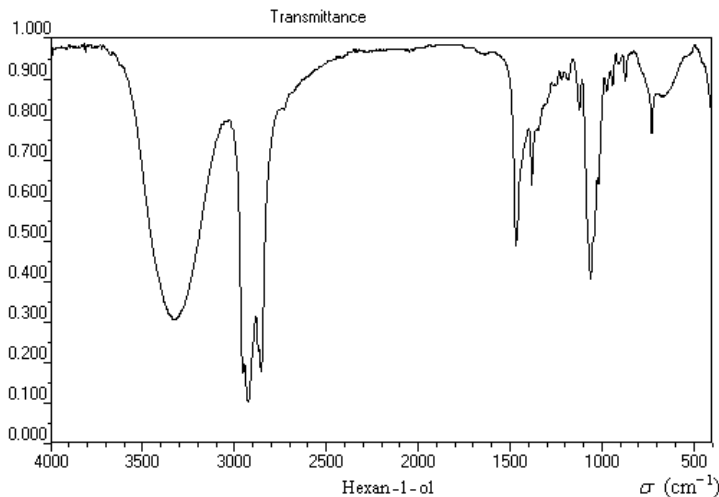


Commentaires

2.4 – Applications en chimie

<http://culturesciences.chimie.ens.fr/dossiers-structure-outils-article-IntroIR.html>

On représente fréquemment les études sous la forme suivante, appelée spectre d'absorption. La transmittance est d'autant plus faible que l'espèce chimique absorbe la lumière. Ci-dessous, le spectre de l'hexan-1-ol.



L'intensité lumineuse d'une radiation absorbée diminue brusquement : cela se traduit sur le spectre par un pic inversé au niveau de la radiation considérée.

Remarque : en abscisse, c'est le nombre d'onde σ qui est indiqué ; c'est par définition l'inverse de la longueur d'onde,

$$\sigma = \frac{1}{\lambda}$$

Pour la raie se situant aux alentours de $\sigma = 1500 \text{ cm}^{-1}$, nous avons

$$\lambda = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{1500 \cdot 10^2} = 7,000 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 7000 \text{ nm}$$

Nous sommes donc dans le domaine des infrarouges. Ce domaine est très utilisé en chimie organique, où les spectres IR permettent de caractériser les composés en présence.