

I) Le ciel et l'univers

(Hervé Cottin) – 1h30

II) L'exploration du Système Solaire

(Hervé Cottin) – 4h30

III) Lumière et observations

(Antoine Jolly) – 4h30

A- Le ciel à différentes longueur d'onde - télescope spatiaux et terrestres

B- Corps noir et spectres de raies – classification des étoiles

C- Flux, magnitude et luminosité des étoiles- diagramme de Hertzsprung-Russel

IV) Vie et mort des étoiles

(Antoine Jolly) - 4h30

V) Origine de la vie sur la Terre /

(Hervé Cottin) – 3h

La vie ailleurs que sur la Terre ?

Corps noir et spectres de raies – Classification des étoiles

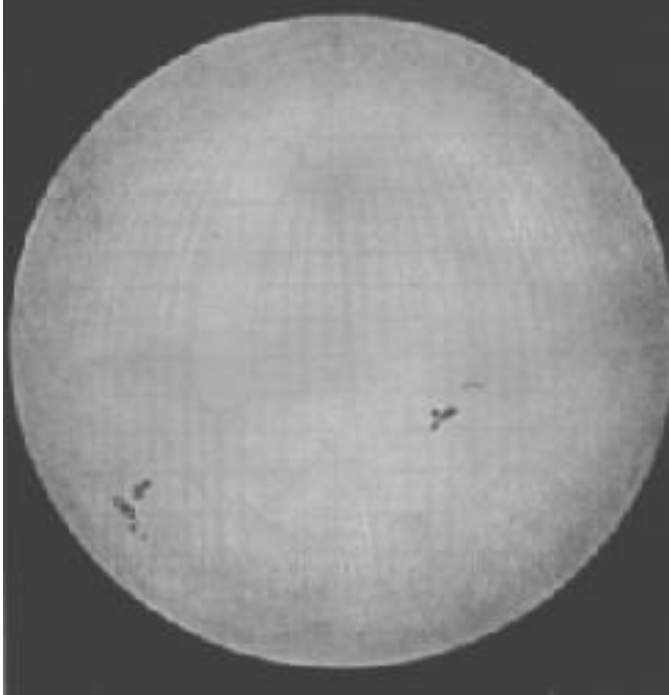
« If we were to go to the sun, and to bring away some portions of it and analyze them in our laboratories, we could not examine them more accurately than we can by this new mode of spectrum analysis. »

Warren De La Rue (1861)



C'est la naissance de l'**astrophysique** avec l'invention de la photographie et de la **spectroscopie** : la décomposition de la lumière en bandes de couleurs qui permet de déterminer la **composition chimique**

Utilisation de la photographie en astronomie



Daguerréotype du Soleil - Avril 1845

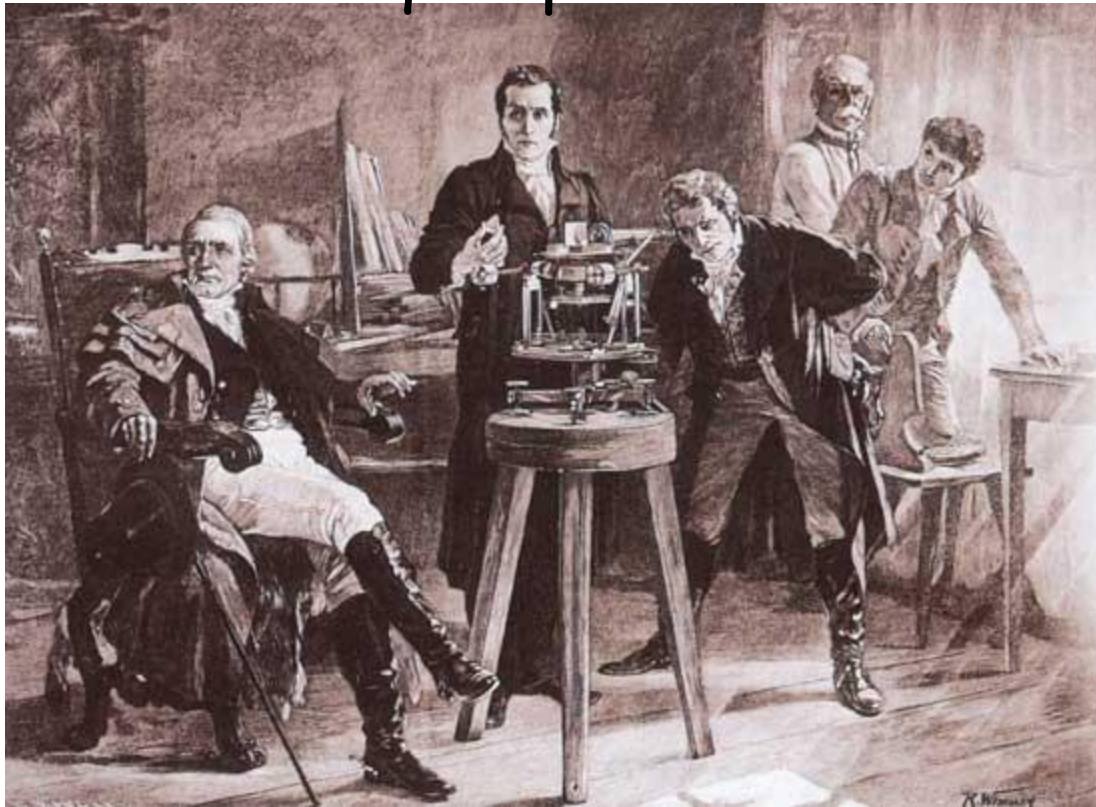


Photographie de la lune
Warren de la Rue (1860)

Découverte de la spectroscopie

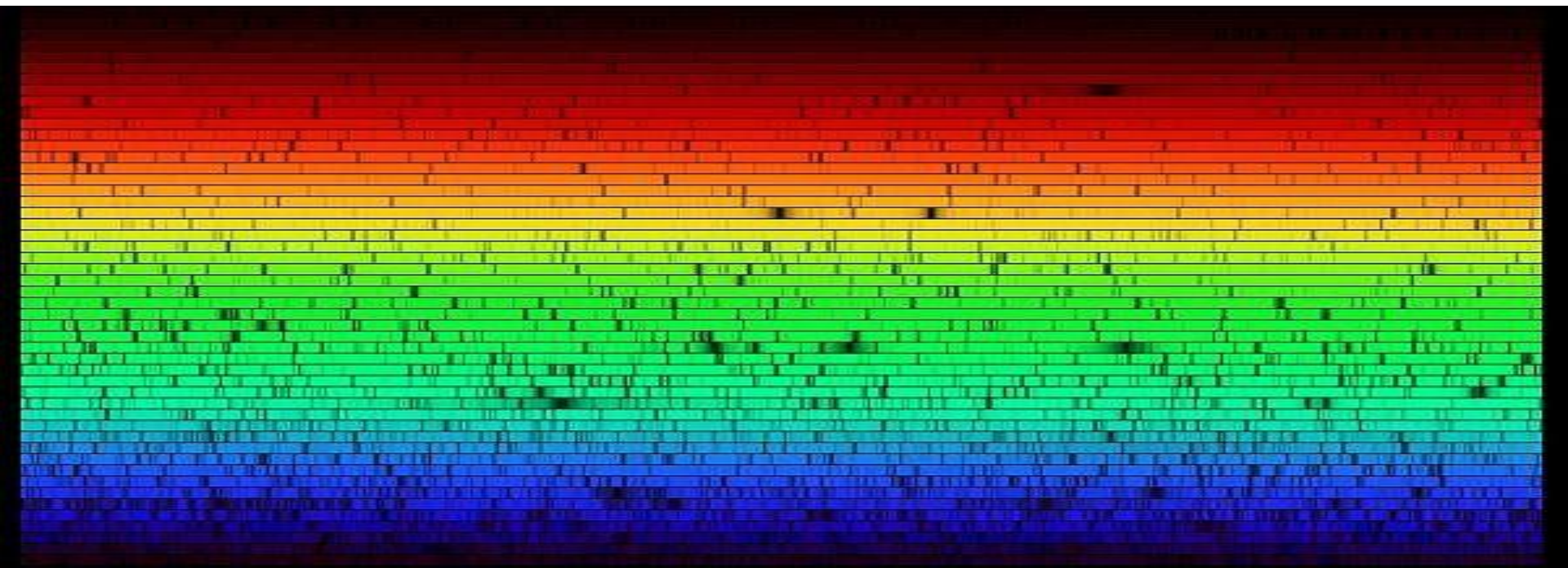
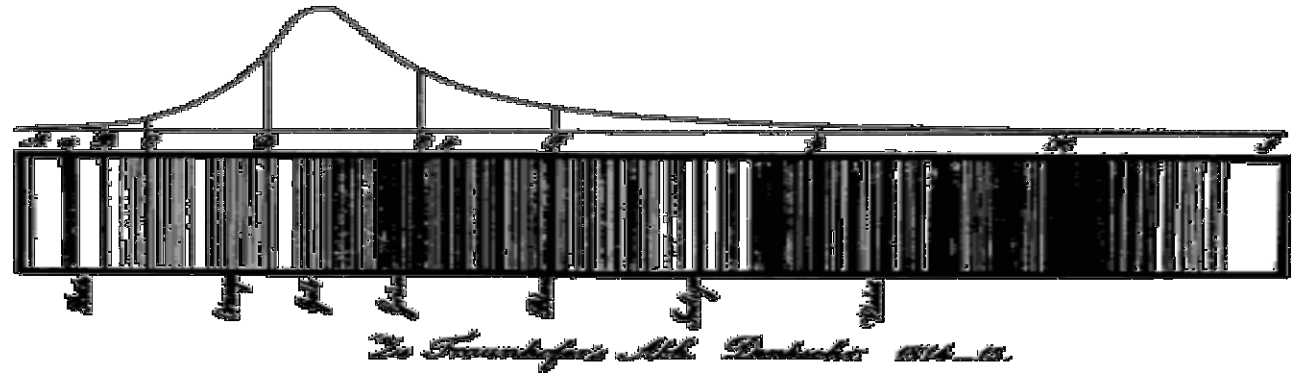
Joseph von Fraunhofer - physicien allemand
(1787/1826)

Fraunhofer utilise un spectroscope pour observer le spectre solaire. Il observe des raies d'absorption dans le spectre du Soleil. Cependant, il n'a aucune idée de ce qui pouvait bien les produire.



Le spectre du soleil

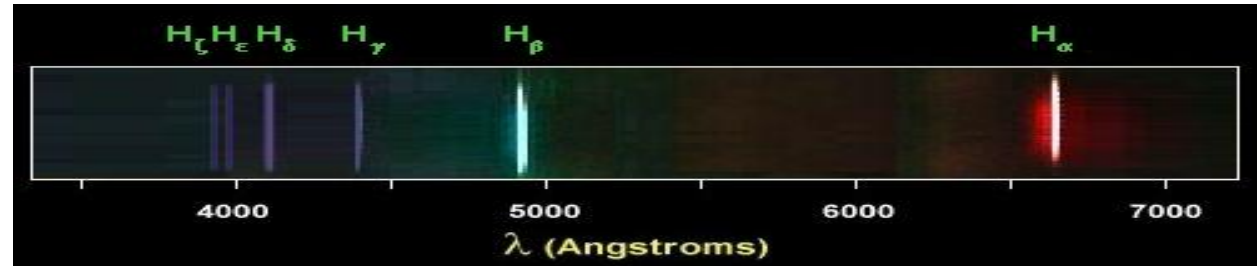
Fraunhofer, 1817



« Raies sombres »



« Raies lumineuses »

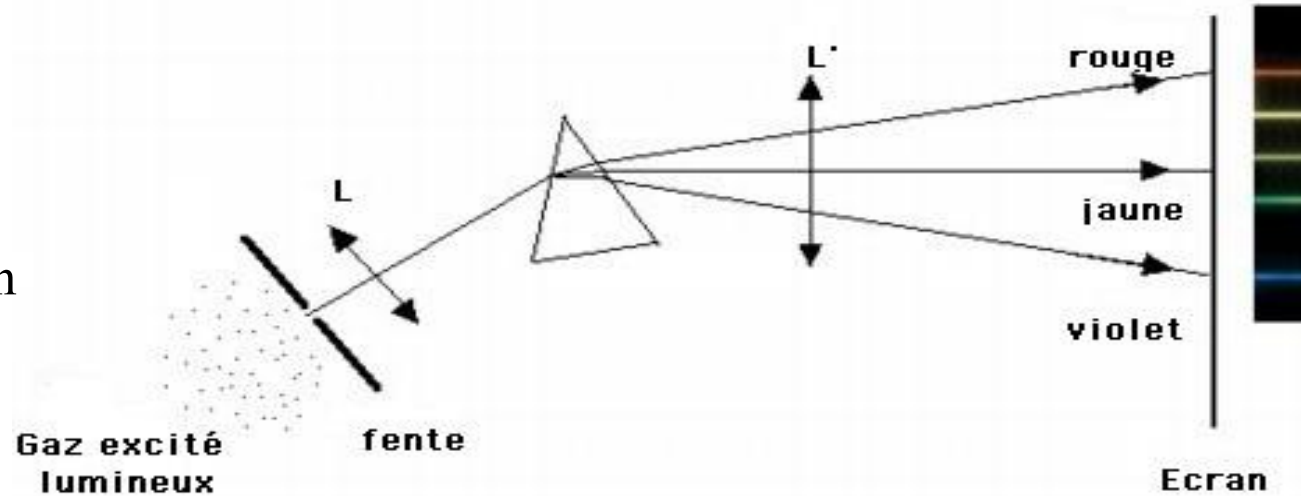


Les chimistes allemands, Robert Bunsen (1811-1899) et Gustav Kirchhoff (1824-1887) étudient les spectres de flamme ou d'étincelles produit par la lumière émises par des échantillons de sels hautement purifiés. Ils pensent qu'un élément chimique individuel, lorsqu'il est chauffé, produit une série de raies de lumière brillantes caractéristique de l'élément.

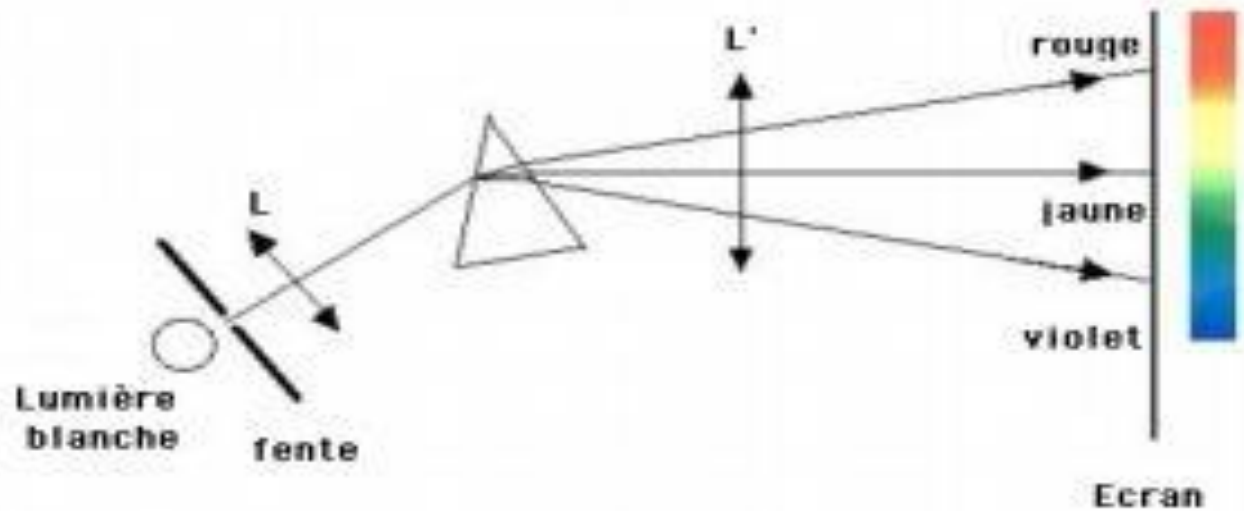
Kirchhoff observe aussi le spectre solaire et fait traverser des rayons de soleil à travers des flammes de sels. Il conclut cette expérience en expliquant que les raies sombres de Fraunhofer dans le spectre du soleil existent à cause de la présence, autour du soleil de la même substance qui dans le spectre de flamme produit les raies lumineuses à la même position".

Mesure de spectres en laboratoire

Spectroscopie d'émission



Spectroscopie d'absorption



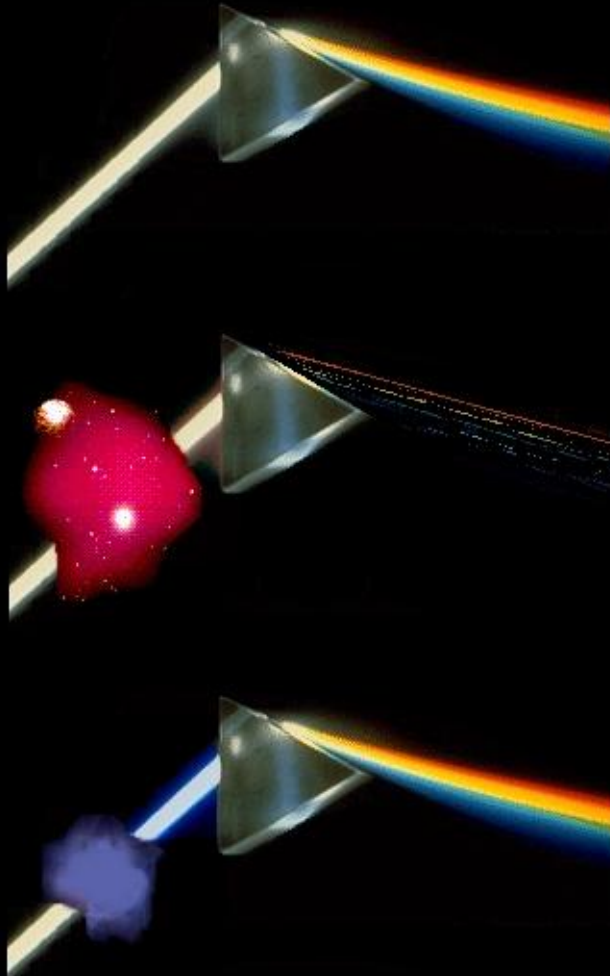
Les lois de Kirchhoff.

Un gaz, un solide ou un liquide à pression élevée, s'ils sont chauffés, émettent un **rayonnement continu** qui contient toutes les couleurs.

1. Un gaz chaud, à basse pression, émet un rayonnement uniquement pour certaines couleurs bien spécifiques : le spectre de ce gaz présente **des raies d'émission**.

2. Un gaz froid, à basse pression, situé après une source de rayonnement continu, en absorbe certaines couleurs, produisant ainsi dans le spectre **des raies d'absorption**.

Observation spectral astronomique



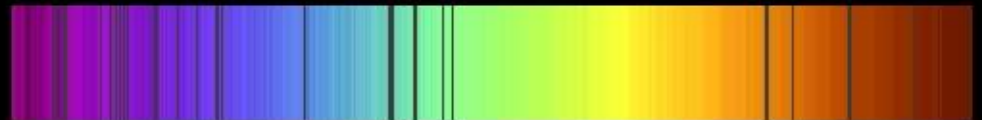
Spectre continu



Spectre d'émission

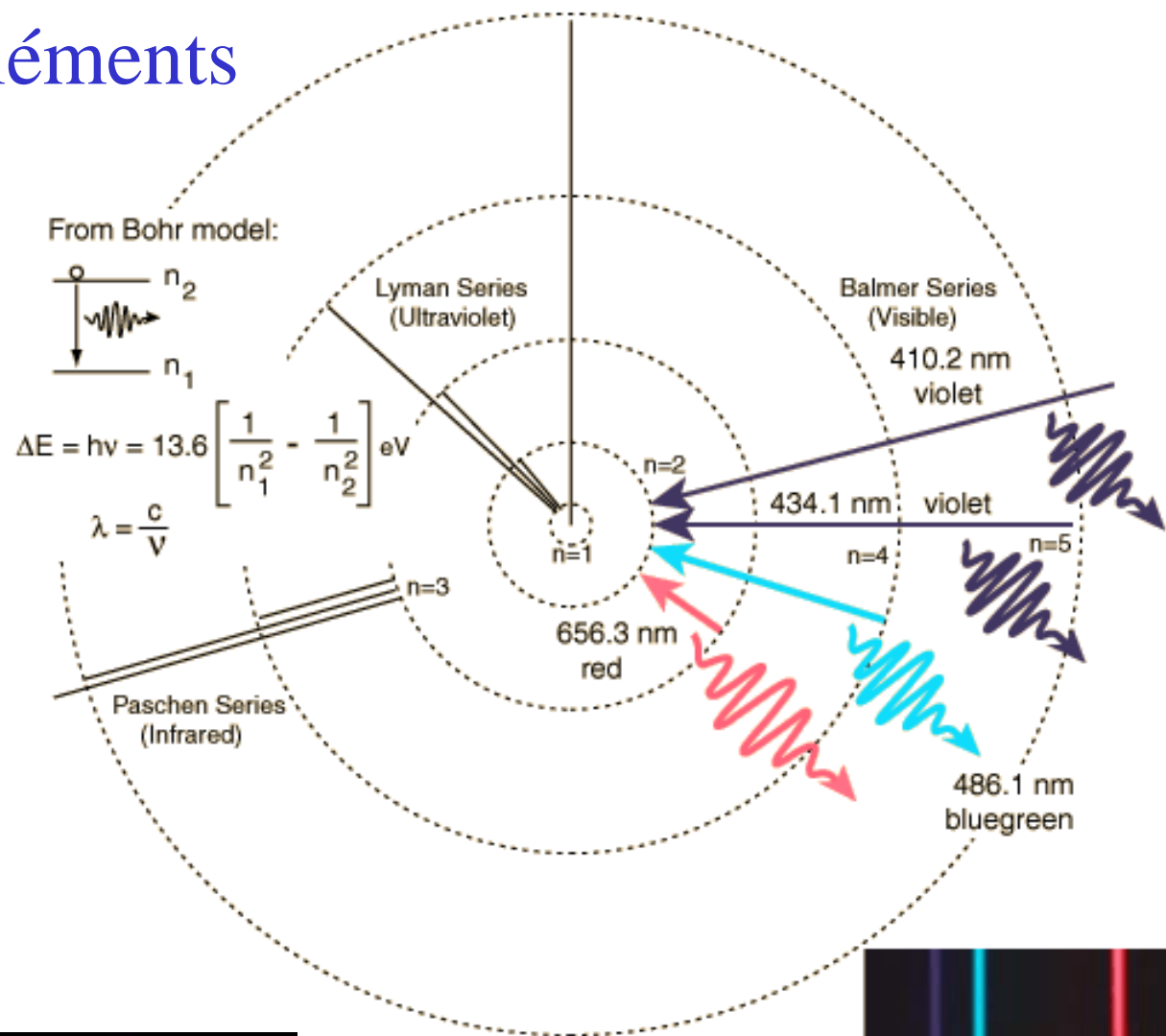


Spectre d'absorption

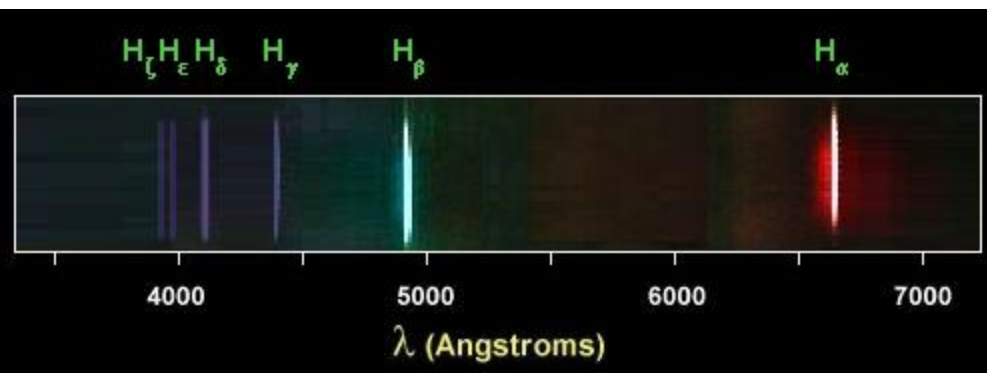


Identification des éléments

Hydrogène



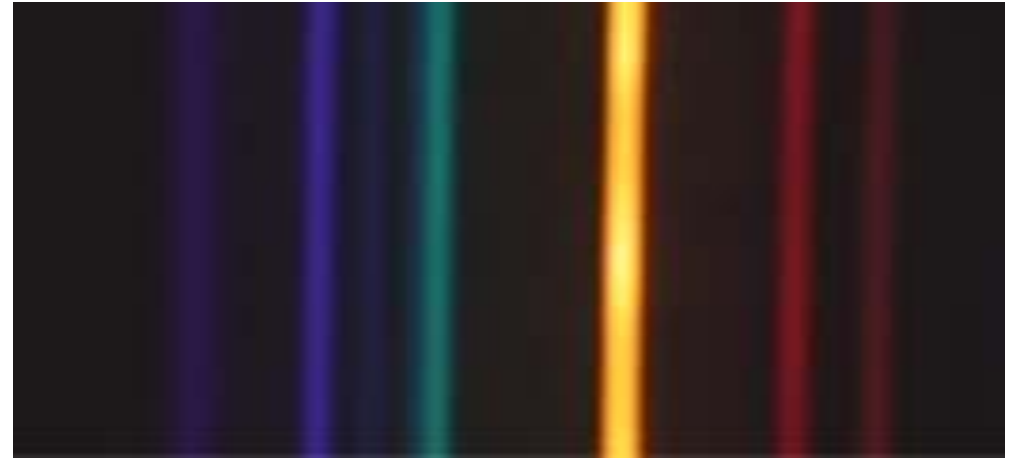
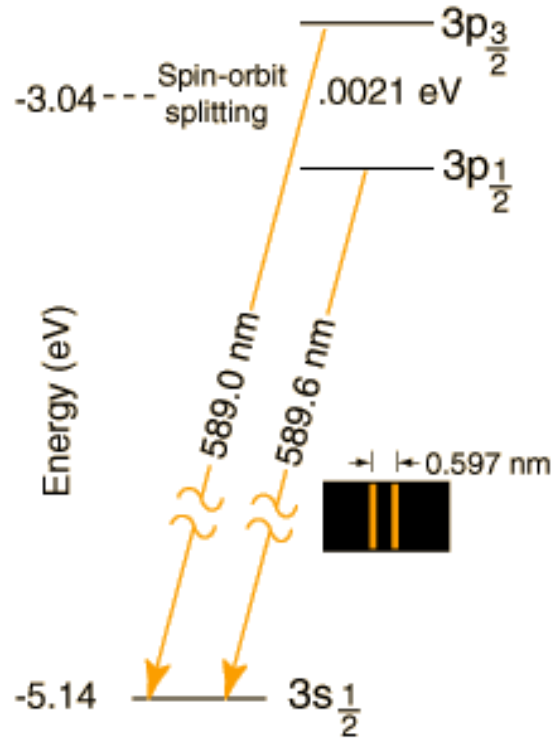
La série de Balmer



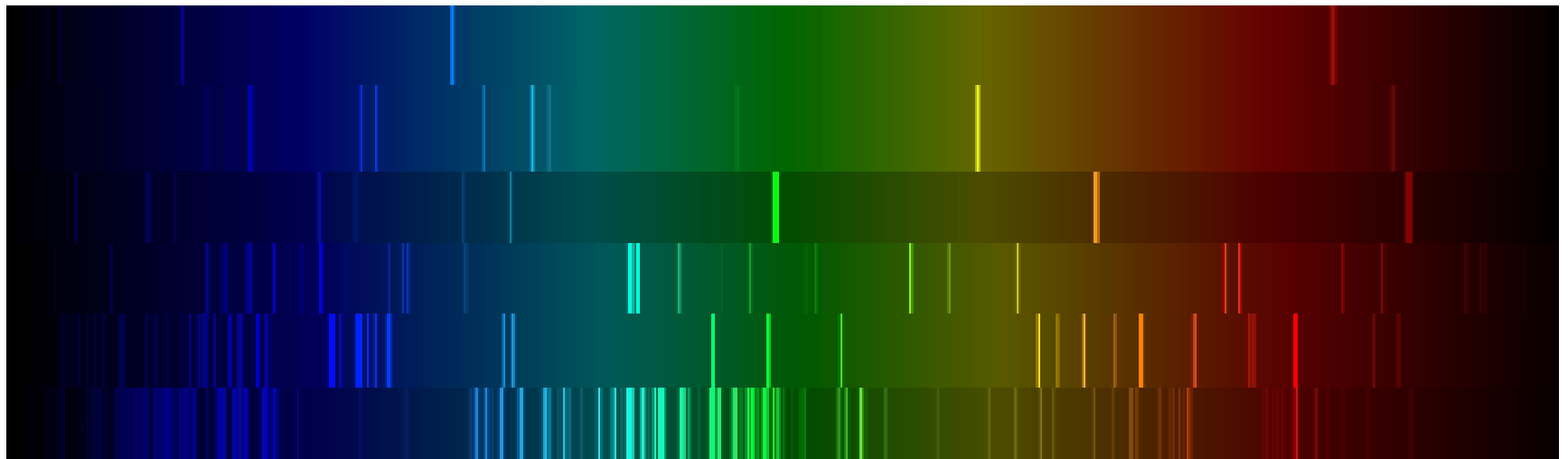
Sodium

Autres éléments

Helium



La découverte de l'Hélium (Janssen, 1868)



H
He
Li
N
O
Fe

Quel est le lien entre la température et la longueur d'onde ?

L'émission thermique du corps noir :

Beaucoup d'objets astronomiques sont des sources qui émettent un spectre de corps noir.

« Tout ce qui est chaud émet de la lumière »

....comme une ampoule ou le soleil !

Définition : Un corps noir est un corps absorbant toutes les longueurs d'ondes. Il émet un rayonnement thermique qui dépend de sa température.

Les corps « pas noir »

- Toutes les sources de lumière ne sont pas thermiques.
- Un corps transparent ou réfléchissant n'est pas un corps noir.
- Une lampe fluorescente n'est pas un corps noir

La loi de Planck : le rayonnement continu

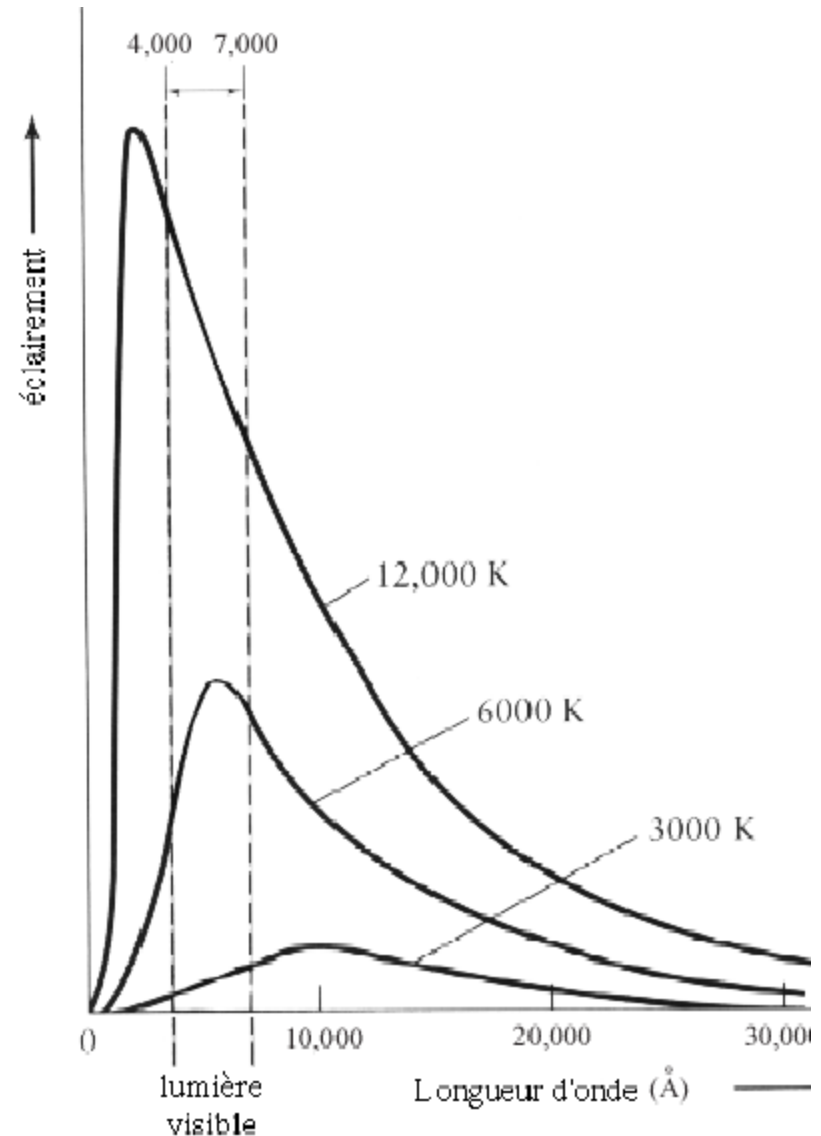
Le spectre du rayonnement thermique du corps noir est donné par la loi de Planck :

$$B(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

constante de Planck $h = 6.63 \cdot 10^{-34}$ J·s
constante de Boltzmann $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K

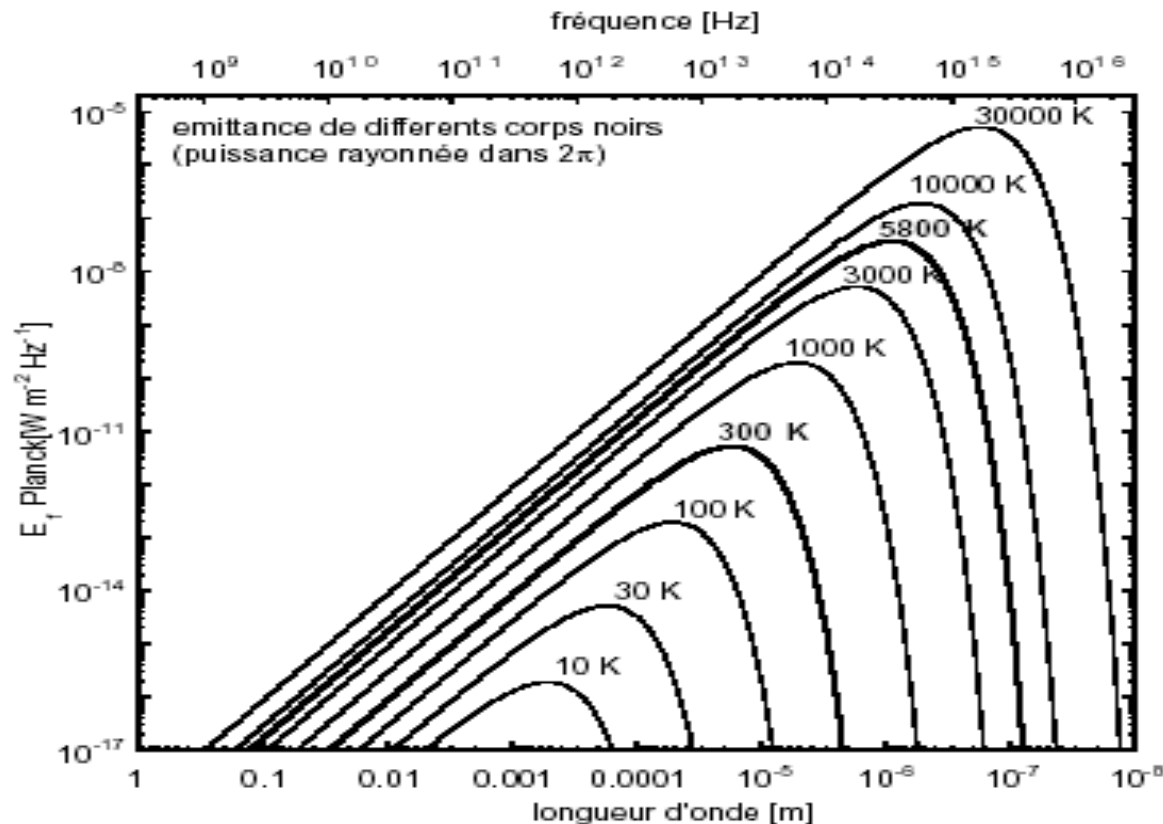
$B(\nu)$, la brillance

Unité : $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{Hz}^{-1}$

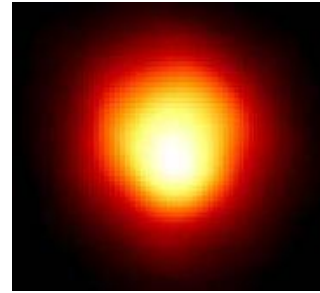


Lien entre la température et la longueur d'onde du maximum émis :

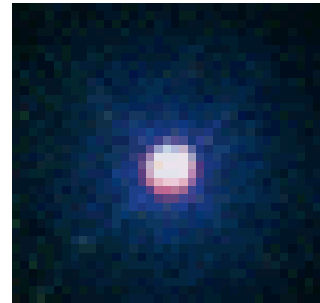
La loi de Wien :
$$\lambda_{max} = \frac{hc}{4,965 \cdot kT} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{T}$$



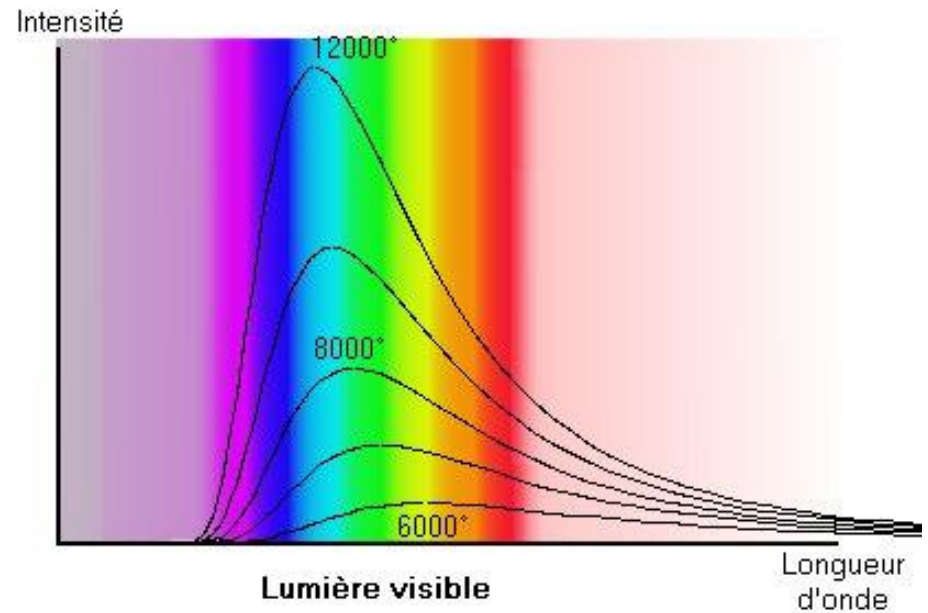
La couleur et la température des étoiles :



Betelgeuse (3600K)



Rigel (11000K)



Lien entre la température et la puissance totale du rayonnement :

La puissance P totale rayonné s'obtient en intégrant la brillance sur toute les longueurs d'onde sur toute la surface de l'objet de rayon R et dans toutes les directions. On obtient **la loi de Stefan-Boltzman** :

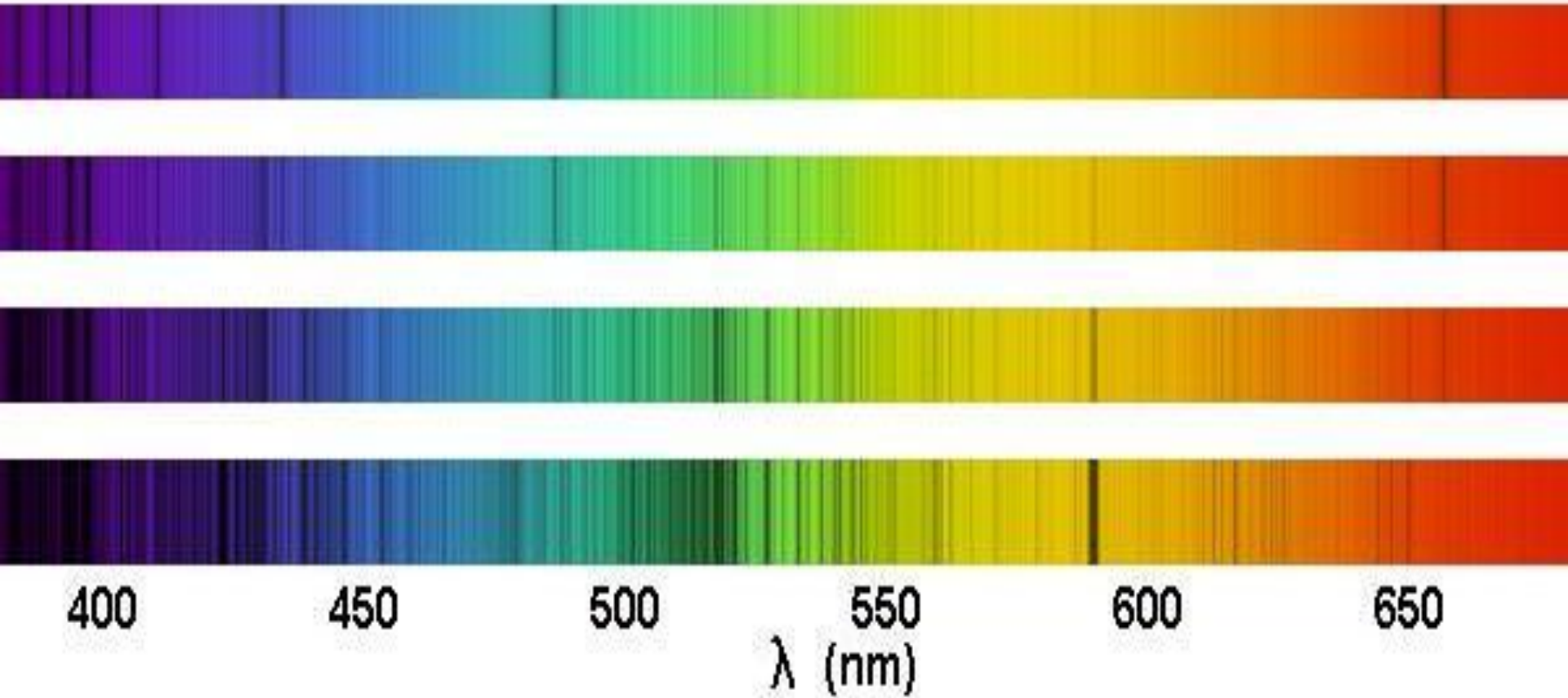
$$P = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

avec la constante de Stefan $\sigma = 5.669 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$

- A température égale, le plus gros objet rayonne le plus de puissance.
 - A puissance émise égale, une étoile dont le rayon R augmente voit sa température T.....?
- Et donc sa couleur

T diminue, l'étoile rougit

Les spectres de différentes étoiles



A 99 %, les étoiles ont toutes **la même composition**,.....mais **pas la même température**.

Comment se forment les raies d'absorption stellaires?

Les raies d'absorption se forment lorsque le rayonnement thermique de l'étoile est absorbé par les éléments présents en surface. L'absorption correspond au passage d'un électron d'un niveau d'énergie de l'atome vers un niveau supérieur. Pour chaque élément, il existe une température pour laquelle l'absorption est la plus intense.

Hydrogène : Au delà de 10000 K, l'hydrogène est ionisé et il n'y a donc plus d'électron et plus d'absorption possible ! En dessous de 6000 K, l'absorption de l'hydrogène faiblit car le niveau $n=2$ à l'origine des séries de Balmer n'est plus suffisamment peuplé.

La classification spectrale des étoiles

Annie Jump Cannon (1863-1941) a étudié au collège Wellesley puis a travaillé pour le Harvard College Observatory.

Classification de 400 000 étoiles par rapport à l'importance des raies de certains éléments comme H, He, Fe..

Après 40 ans de carrière, elle fut la première femme élu membre de la société américaine d'astronomie, docteur d'honneur de l'université d'Oxford.



La classification spectrale des étoiles

Classes spectrales

Etoiles O : raies de l'hélium ionisé

Etoiles B : raies de l'hélium neutre

Etoiles A : raies de l'hydrogène (série de Balmer)

Etoiles F : raies des métaux ionisés (Fe II, Cr II, ..)

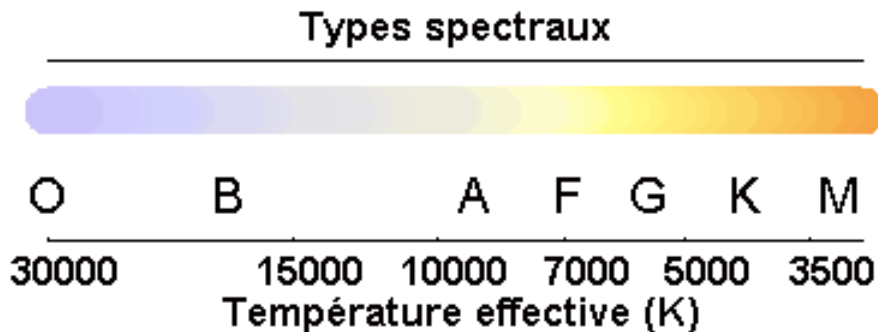
Etoiles G : raies des métaux ionisés et neutres

Etoiles K : raies des métaux neutres

Etoiles M : bandes moléculaires (TiO)

Etoiles R et N: bandes de molécules carbonées

Etoiles S: bandes moléculaires (ZrO)



Oh, Be A Fine Girl Kiss Me

Spectres d'étoiles de différents types

