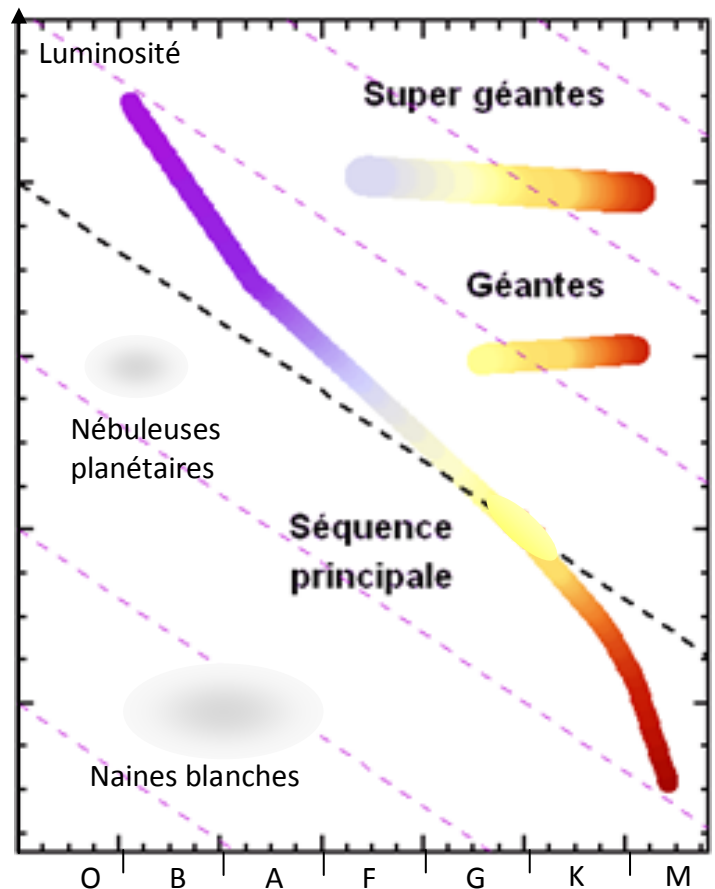


## Spectres d'absorption : application à l'astrophysique

### I. Document 1 : Classification spectrale des étoiles ; diagramme H,R

En classant les étoiles d'un même type spectral, Ejnar **Hertzsprung** (1873/1967) découvre en 1905 qu'il existe une relation entre **la luminosité** et la **température des étoiles**.

Le diagramme auquel il aboutit, perfectionné par Russel en 1913, est connu sous le nom de Diagramme de Hertzsprung-Russel ou Diagramme HR, et joue encore de nos jours un rôle fondamental en astrophysique stellaire pour déterminer l'évolution d'une étoile.



### II. Document 2 : Evolution d'une étoile peu massive ( $M < 8 \times M_{\text{Soleil}}$ ) : (<http://fr.wikipedia.org>)

Les étoiles se forment à partir de nuages interstellaires qui se contractent sous l'effet de la gravitation. Lorsque l'étoile en formation est suffisamment dense, la pression qui règne au cœur déclenche les premières réactions de fusion : on parle alors de proto-étoiles. Ces proto-étoiles naissent généralement dans des nuages capables de former des centaines d'étoiles en même temps (voir par exemple la nébuleuse d'Orion).

<http://hubblesite.org/gallery/album/pr2003030a/>

<http://hubblesite.org/gallery/album/pr2005012r/>

La séquence principale est la région du diagramme de Hertzsprung-Russell où la majorité des étoiles résident. Si la concentration d'étoiles y est si élevée, c'est parce que celles-ci y passent environ 90 % de leur vie en évoluant très peu, transformant l'hydrogène de leur cœur en hélium. La dispersion des étoiles autour de la séquence principale a plusieurs raisons. La composition chimique change légèrement la place de l'étoile sur le diagramme : plus celle-ci est riche en métaux, plus elle est froide et moins elle est lumineuse. De plus, les étoiles accroissent lentement leur luminosité et en température pendant leur phase sur la séquence principale. D'autres facteurs comme la rotation, la présence de compagnons proches ou de champs magnétiques peuvent également expliquer un placement un peu dispersé.

Dans la zone de température des étoiles de type G et F à des luminosités au-delà de 50 fois celle du soleil, il y a quasi-absence d'étoiles. Un tel « trou » peut s'expliquer par l'instabilité de telles étoiles : les étoiles de masses intermédiaires ou très massives, après la séquence principale, deviennent géantes rouges très rapidement. Cette évolution est rapide et dure moins de 1 % de leur temps passé sur la séquence principale. L'étoile gonfle et prend une teinte rouge : les couches externes de l'étoile se dilatent ce qui a pour

conséquence de diminuer la température de la chromosphère de 5500 K à 3700 K alors que leur luminosité ne varie que très peu.

Il s'agit d'étoiles en fin de vie avec une fine couche d'hydrogène fusionne autour d'un noyau d'hélium. Au cœur de la majorité des géantes rouges l'hélium fusionne pour donner du carbone et de l'oxygène. La fusion de l'hélium est cependant beaucoup plus rapide que celle de l'hydrogène (qui a eu lieu pendant la séquence principale) ; on parle de « flash de l'hélium » au moment où la fusion de l'hélium commence.

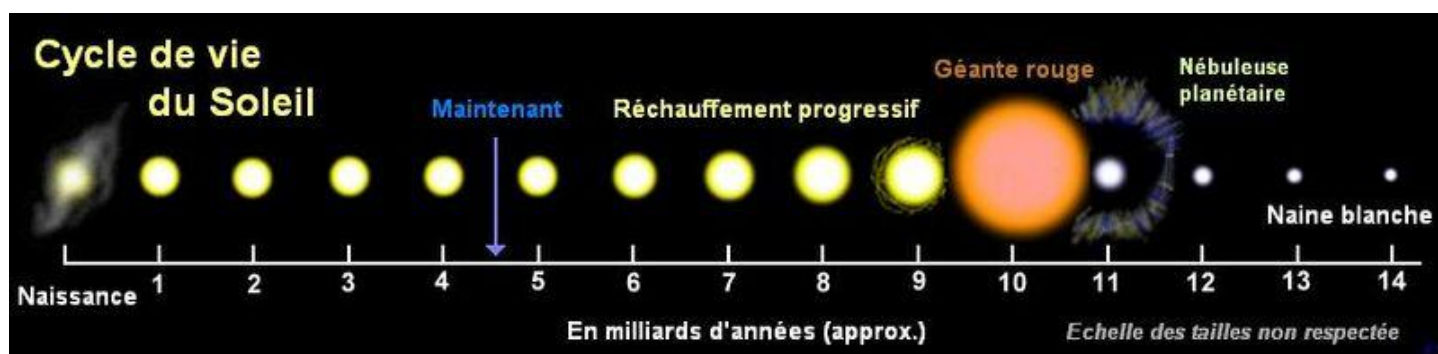
<http://hubblesite.org/gallery/album/pr2001039a/>

Lorsque la géante rouge arrive en fin de vie, ayant transformé ses réserves d'hélium et d'hydrogène son noyau se contracte tandis que les couches périphériques sont expulsées sous la forme d'un vent stellaire. La température de surface du noyau de l'étoile augmente jusqu'à 30000K : la nébuleuse planétaire apparaît. Cette nébuleuse est assez éphémère, il ne dure que quelque 10 000 années.

<http://hubblesite.org/gallery/album/nebula/planetary/>

Le noyau de l'étoile devient une naine blanche. Il s'agit d'étoiles très petites (de la taille de la Terre pour certaines) et très chaudes en surface. C'est le stade ultime des étoiles de masse inférieure à 8 masses solaires. Ces étoiles se refroidissent lentement pour devenir des naines noires, mais ce refroidissement prend plusieurs dizaines de milliards d'années, de sorte qu'aucune naine noire n'a été observée à ce jour. Contrairement aux autres étoiles, les naines blanches les plus lumineuses sont les moins massives, car le rayonnement d'une naine blanche diminue avec sa masse.

[http://hubblesite.org/gallery/album/star/white\\_dwarf/](http://hubblesite.org/gallery/album/star/white_dwarf/)



**Evolution des étoiles de très faible masse (inférieure à 0,5 fois la masse du Soleil) :** pour des étoiles de masse inférieure à la moitié de la masse du Soleil, également appelées naines froides, il n'y a pas de fusion d'éléments plus lourds après la fusion de l'hydrogène. La durée de vie de ces étoiles sur la séquence principale est supérieure à l'âge actuel de l'Univers (environ 14 milliards d'années). Les modèles d'évolution stellaire prévoient que ces étoiles finissent en naines blanches d'hélium... mais il est encore trop tôt pour en observer.

**Evolution des étoiles massives (supérieure à 8 fois la masse du Soleil) :** À partir de la séquence principale, les éléments de plus en plus massifs fusionnent au cœur de l'étoile. Les éléments moins massifs continuent de fusionner en couches, enrichissant les couches plus profondes en produits de fusion. De forts vents stellaires sont observés.

Lorsque le noyau de fer dépasse une certaine masse, il s'effondre sur lui-même. Le vide créé aspire la matière de l'étoile qui rebondit et crée une onde de choc qui expulse violemment toutes les couches externes : c'est une supernova. Le résidu du cœur de fer effondré forme une étoile à neutrons ou un trou noir selon sa masse.

<http://hubblesite.org/gallery/album/star/supernova/pr2004009q/>

<http://hubblesite.org/gallery/album/star/supernova/pr1995011a/>

<http://hubblesite.org/gallery/album/star/supernova/pr2004029b/>

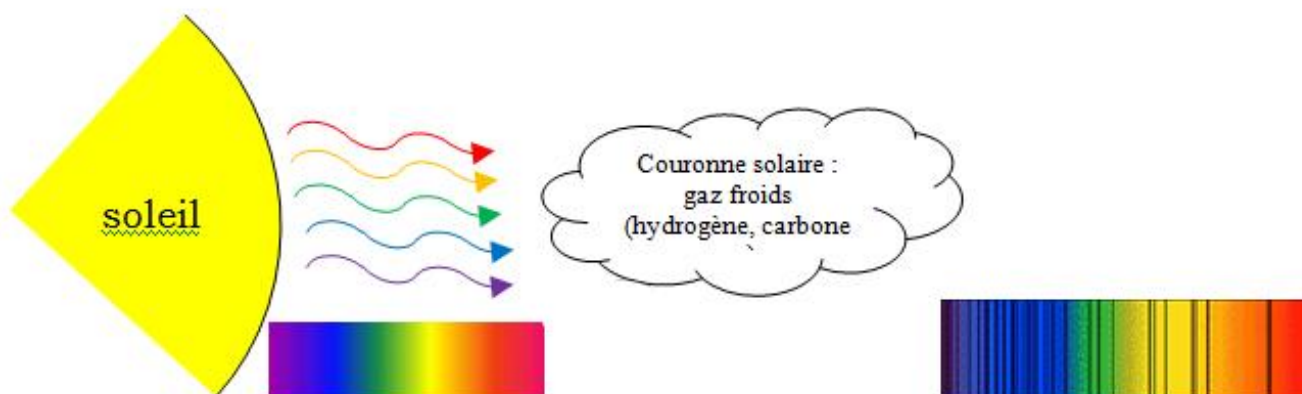
### III. Document 3 : Spectre d'absorption d'une étoile :

Dans le cas d'une étoile, la lumière émise par les réactions thermonucléaires qui règnent dans son coeur doit pour nous parvenir traverser l'atmosphère de l'étoile. Les atomes de cette atmosphère gazeuse très diluée et à faible pression absorbent des photons. Apparaissent alors les raies d'absorption dans le spectre de la lumière solaire.

Ainsi un astronome peut "lire" un spectre stellaire et déterminer précisément les éléments composant les zones superficielles de l'étoile.

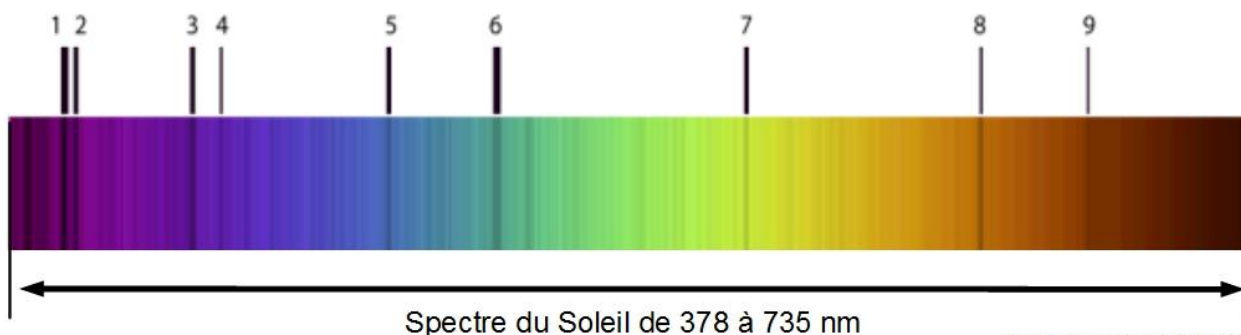


L'Etoile Mystérieuse



(Schéma : M. Beckrich)

### IV. Document 4 : Spectre du Soleil et principales raies d'absorption dues aux éléments présents dans son atmosphère.



Source : Observatoire de Paris / U.F.E

### V. Document 5 : Longueurs d'ondes des raies les plus intenses de quelques éléments chimiques

Élément chimique	Longueur d'onde en nm
H I (hydrogène neutre)	388,9 397,0 410,2 434,0 486,1 656,3
Na I (Sodium neutre)	589,0 589,6
Mg I (Magnésium neutre)	309,7 470,3 516,7 517,3 518,4
Ca I (Calcium neutre)	422,7 458,2 526,2 527,0 616,2 616,9 650,0
Ca II (Calcium une fois ionisé)	393,4 396,8
F I (Fluor neutre)	821,5
Fe I (Fer neutre)	389,9 404,6 423,4 425,1 426,0 427,2 438,3 452,9 459,3 489,1 491,9 495,7 501,2 508,0 527,0 532,8 536,7 536,9 543,0 543,4 544,7; 545,6 561,6 822,0
Mn I (Manganèse neutre)	403,6 403,1 402,1

Eu I (Europium neutre)	535,2
O <sub>2</sub> (Molécule de dioxygène présente dans l'atmosphère terrestre)	686,7
CH (molécule de méthylidyne)	430,5

## VI. Document 6 : Classe d'une étoile

Classe	Température de surface	raies d'absorption
O	60 000 - 30 000	azote, carbone, hélium et oxygène
B	30 000 - 10 000 K	hélium, hydrogène
A	10 000 - 7 500 K	Hydrogène
F	7 500 - 6 000 K	métaux: fer, titane, calcium, strontium et magnésium
G	6 000 - 5 000 K	calcium, hélium, hydrogène et métaux (Fer)
K	5 000 - 3 500 K	métaux et oxyde de titane
M	3 500 - 2 000 K	métaux et oxyde de titane

## VII. Document 7 : Luminosité d'une étoile

En astronomie, la luminosité représente la quantité totale d'énergie rayonnée (dans le domaine électromagnétique) par unité de temps par un astre. Elle représente donc la brillance réelle de l'astre, et non son éclat apparent qui lui dépend de la distance. Le Soleil est une étoile de luminosité moyenne, comparativement aux étoiles observables de l'univers qui nous entoure. On note généralement  $L_{\odot}$ .

## VIII. Travail à réaliser :

- On cherche à déterminer les longueurs d'onde des raies d'absorption du spectre du Soleil.  
En utilisant le logiciel SalsaJ et le fichier LibreOfficeCalc à votre disposition sur le site Pontonniers-physique.fr , déterminer les longueurs d'onde des raies d'absorption du spectre du soleil.
- Définir quels sont les éléments chimiques principaux correspondant à ces raies (plus l'élément est abondant dans l'atmosphère de l'étoile, plus nombreuses sont les raies correspondant à cet élément).
- A quelle classe d'étoile le Soleil appartient-il ?
- Placer approximativement le Soleil dans le diagramme HR.
- A partir de la position actuelle, tracer le chemin que suivra le Soleil dans le digramme HR.