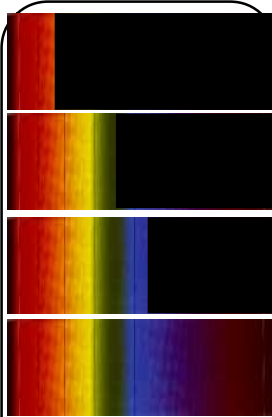


# LES SPECTRES

## MESSAGES DE LA LUMIERE DES ETOILES.

### 1. LES SPECTRES D'EMISSION.

#### 1.1. SPECTRES CONTINUS D'ORIGINE THERMIQUE.



Spectres d'émission successifs d'un corps porté à des températures croissantes. On assiste à la naissance progressive des couleurs: rouge, jaune, vert, bleu. Simultanément, l'intensité lumineuse du spectre augmente.

#### Dispositif.

On dispose d'un rétroprojecteur. Un rétroprojecteur comporte une ampoule dont on peut faire varier la température du filament à l'aide d'un variateur de tension.

On observe à travers un réseau, l'allure du spectre obtenu pour diverses températures du filament.

#### Observations.

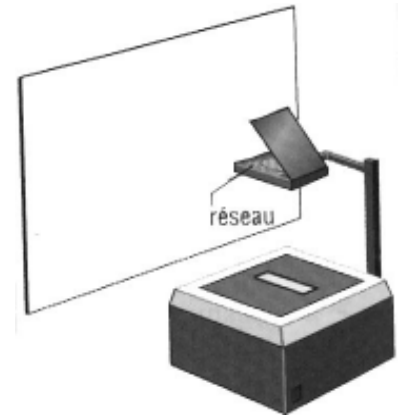
Lorsque la température du filament est faible, la lampe brille peu: le spectre continu est rouge-orangé. En augmentant l'alimentation de la lampe, nous élevons la température du filament: le spectre continu devient de plus en plus lumineux et s'enrichit de vert, de bleu, puis de violet.

#### Interprétation.

Un corps chaud (solide, liquide ou gaz sous haute pression) émet une lumière dont le spectre est continu. Ce spectre change avec la température.

Lorsque la température s'élève, le spectre continu d'émission devient de plus en plus lumineux et s'enrichit de couleurs verte, bleue et violette.

Un spectre continu nous renseigne sur la température de la source.



#### Pour aller plus loin.

La température du Soleil (et de toutes les étoiles) s'exprime donc dans son spectre. La couleur que nous percevons tient à ce que l'énergie lumineuse est distribuée selon une courbe en cloche:

- Dans le cas du Soleil qui est une étoile moyennement chaude (6 000°C en surface), le pic de la courbe est dans le vert et la couleur perçue est nettement jaune: ce n'est sans doute pas un hasard si nos yeux sont particulièrement sensibles à cette couleur.
- Une étoile plus chaude aura son pic de rayonnement dans le bleu (ou l'ultraviolet);
- Une étoile froide dans le rouge.

La longueur d'onde  $\lambda_m$  du maximum de la courbe d'intensité lumineuse est liée à la température par la relation dite de Wien:

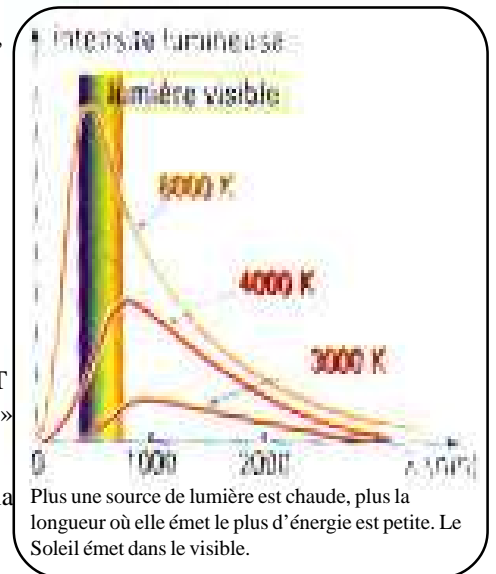
$$\lambda_m = \frac{2,9 \times 10^{-3}}{T}$$

où T représente la *température dite «absolue»*. Pour calculer la température absolue T (qui s'exprime en une nouvelle unité le Kelvin: K) à partir de la température «ordinaire» t (en degré Celsius: °C), on applique la relation **T = 273 + t**

La plus grande anarchie a régné, et règne encore, sur les différentes façons d'exprimer la température: elles sont presque aussi nombreuses que les unités de pression !!! Galilée avait pris comme zéro de son échelle la température de la cave de son laboratoire à Florence, au plus froid de l'hiver, ce qui n'est pas d'une grande précision. Les échelles Réaumur, Fahrenheit ou Celsius ne sont guère mieux définies puisque leur zéro est toujours arbitraire et qu'elles mènent toutes à parler de températures négatives. Imaginez-on une longueur, ou une masse négative ??? Pourquoi la température échapperait-elle à la règle ??

C'est l'ignorance de la nature réelle de cette grandeur physique qui empêchait de définir un véritable zéro. C'est aujourd'hui chose faite grâce au Kelvin, la seule véritable unité de température et la seule utilisable dans les formules de physique. Le zéro Kelvin, ou «zéro absolu», est tel que les molécules ont une vitesse nulle; à cette température, toute la matière est figée.

Le zéro absolu, un peu comme la vitesse de la lumière, est en réalité inaccessible, mais il est *a priori* possible de s'en approcher d'aussi près qu'on le souhaite (en payant de plus en plus cher!!). Le calcul montre que le zéro absolu se trouve à -273,15°C, et les expérimentateurs arrivent à quelques millièmes de degré de cette valeur.

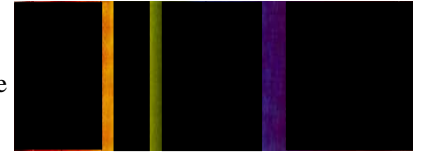




## 1.2. SPECTRES DE RAIES.

### Dispositif.

On dispose maintenant du spectrophotomètre numérique, relié à l'ordinateur. On dispose d'une lampe à Mercure.

On peut employer le spectroscopie représenté ci-contre, et faire venir voir les élèves.



Cliquer sur FICHIER.  
Puis cliquer sur OUVRIER  
Choisir «Emis raies intens . spd»  
Cliquer sur l'icône de la caméra.   
Cliquer sur l'icône du spectre d'émission continu   
Orienter le capteur de lumière vers la lampe de Mercure.  
On doit visualiser le spectre de raies d'émission du Mercure.



### Observations.

Le spectre de la lumière émise par chacune de ces lampes est constitué de quelques raies fines colorées, se détachant sur fond noir. Les deux spectres sont différents.

### Interprétation.

Les spectres sont discontinus. Ils sont constitués d'un nombre limité de radiation.

### Conclusion.

Un gaz, à haute pression et à température élevée, émet une lumière constituée d'un nombre restreint de radiations: on obtient un spectre de raies d'émission.

A chaque raie correspond une radiation monochromatique de longueur d'onde dans le vide bien déterminée.

Un spectre de raies d'émission permet d'identifier une entité chimique (atome ou ion); c'est la «signature» de cette entité chimique.

### Remarque.

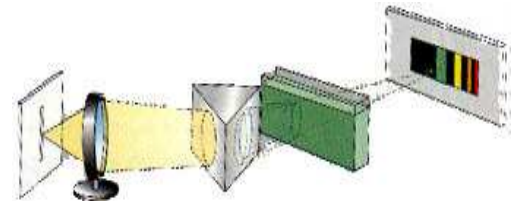
On ouvre d'avantage la largeur de la fente. On observe que les deux raies orange et verte se superposent pour donner une couleur jaune. On retiendra ainsi qu'à toute longueur d'onde correspond une couleur, mais qu'à chaque couleur ne correspond pas forcément la bonne longueur d'onde.

## 2. LES SPECTRES D'ABSORPTION.

### 2.1. SPECTRES DE BANDES D'ABSORPTION.

### Dispositif.

On dispose du rétroprojecteur dont on visualise le spectre d'émission continu sur l'écran à travers le réseau. On intercale sur le chemin de la lumière une cuve remplie d'une cuve de solution violette de permanganate de potassium.



### Observations.

Le spectre présente non plus une raie, mais une bande sombre dans le bleu et le vert.

### Interprétation.

Ce spectre de bandes d'absorption est caractéristique de la solution de permanganate de potassium.



### Conclusion.

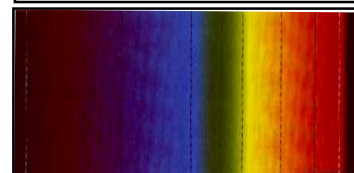
Lorsqu'une solution colorée est traversée par de la lumière blanche, le spectre de la lumière obtenue présente des bandes noires sur le fond coloré du spectre de la lumière blanche: c'est un spectre de bandes d'absorption.

Un spectre de bandes d'absorption est caractéristique de la substance dissoute.

### Remarque.

On peut visualiser ce spectre d'absorption pour diverses solutions colorées, à l'aide du spectroscopie numérique relié à l'ordinateur.

Cliquer sur FICHIER.  
Puis cliquer sur OUVRIER  
Choisir «Emis continu intens . spd»  
Mettre la cuve d'eau distillée dans le receptacle.  
Cliquer sur l'icône de la caméra.   
On doit visualiser l'écran 1.  
Cliquer sur l'icône de la cuve.   
Choisir «Fermer courbe active à l'écran».  
On doit visualiser l'écran 2.  
On remplace par une cuve de permanganate et on visualise l'écran 3.

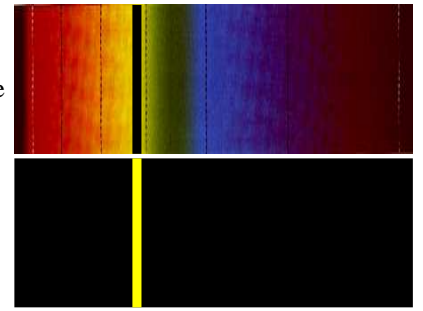


## 2.2. SPECTRES DE RAIES D'ABSORPTION.

Il est facile maintenant de comprendre, qu'il existe aussi des spectres de raies d'absorption. Lorsqu'un gaz à haute pression et à basse température est traversé par de la lumière blanche, le spectre de la lumière transmise est constitué de raies noires se détachant sur le fond coloré du spectre de la lumière blanche: c'est un spectre de raies d'absorption.

Le gaz absorbe les radiations qu'il serait capable d'émettre s'il était chaud.

Ces raies d'absorption permettent d'identifier les entités chimiques (ions ou atomes) présentes dans le gaz.



### COMMENT CELA MARCHE ?? (Hors Programme).

On fait appel au modèle simple de l'atome, avec un noyau entouré de couches concentriques sur lesquelles se répartissent les électrons.

Tout commence par l'excitation d'un atome sous l'effet d'un choc ou de la température. Un atome reçoit de l'énergie; il est excité: un de ses électrons «saute» sur une couche supérieure.

L'atome se désexcite: l'électron revient sur sa couche initiale... et l'atome réémet, sous forme de lumière, l'énergie qu'il avait emmagasinée.

Admirable petit mécanisme, capable de transformer un simple choc en lumière !!! Il est à l'oeuvre dans nos lampes (où des électrons heurtent les atomes du filament), dans toutes les étoiles...

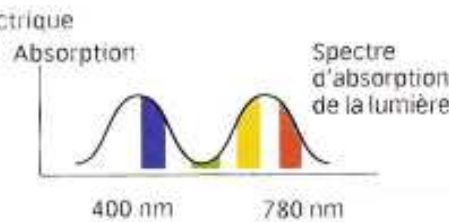
La couleur de la lumière obtenue dépend très précisément de l'écart entre les deux couches de l'atome visitées par l'électron. Plus cet écart est grand et plus la longueur d'onde produite est courte.



## Pourquoi le rubis n'est-il pas de la même couleur que l'émeraude ?

### Une affaire de champ électrique

Les couleurs de l'émeraude et du rubis sont dues à la présence en leur sein de chrome associé à de l'oxygène. Parce qu'il absorbe certaines longueurs d'onde de la lumière, ce complexe chrome-oxygène participe à la coloration des deux pierres. Mais les atomes des pierres étant différents, les champs électriques émis par les ions environnants (surtout des ions aluminium) le sont aussi: il est plus fort chez le rubis et c'est cette différence qui, *in fine*, explique la différence de couleur.



Les spectres d'absorption de la lumière sont légèrement décalés. L'émeraude transmet le vert et absorbe le rouge, tandis que le rubis absorbe le vert et transmet le rouge (il transmet également le bleu, mais notre oeil perçoit la teinte rouge dominante).



### Un outil met en lumière la matraite cachée.

A première vue, une simple lampe de poche. Associée à un logiciel d'analyse, elle permet de détecter les ecchymoses invisibles à l'oeil nu, qui constituent la moitié des coups portés lors de maltraitements ou d'agressions. Cet appareil fait appel à une méthode d'investigation appelée «diaphnoscopie forensique», qui sert à analyser les tissus par transmission d'ondes électromagnétiques. Il se compose d'une source de lumière constituée de diodes électroluminescentes et d'un objectif relié à un ordinateur. Lorsque des ecchymoses sont présentes sous la peau, une partie de la lumière est absorbée, ce qui conduit à une diminution ou une asymétrie spécifique du halo lumineux analysé par le logiciel. Cette méthode, en phase de validation, pourrait permettre, à terme, de faciliter le parcours médical et juridique des victimes.

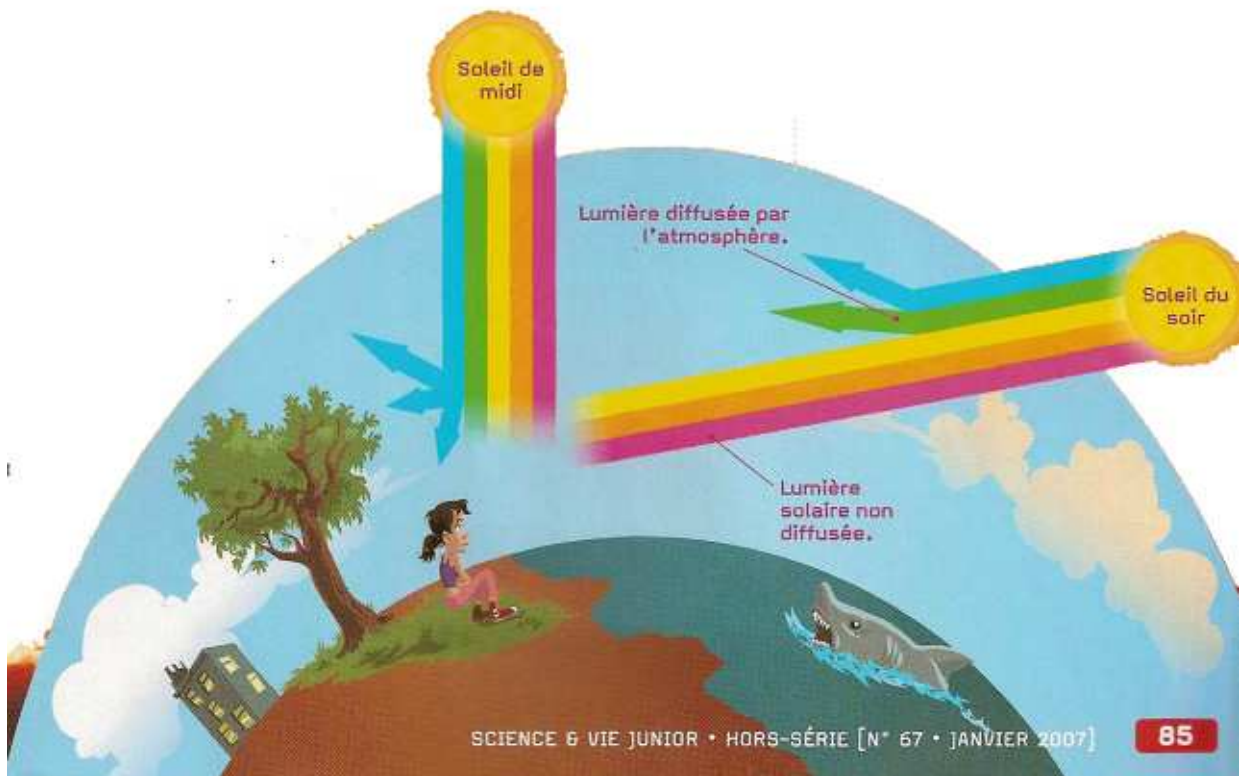
### Pourquoi le ciel nous paraît bleu ?

La lumière est diffusée par le gaz de l'atmosphère: au lieu de laisser passer en ligne droite, ils la dispersent dans tous les sens. Conséquence: une partie de la lumière solaire nous semble émise par l'atmosphère; le ciel est lumineux au lieu d'être noir comme en pleine nuit. A l'inverse, sur la Lune, dépourvue d'atmosphère, il fait «nuit» même e jour. Mais si la lumière du soleil est blanche, pourquoi le ciel est-il bleu ? En fait, il existe deux types de diffusion. Si la lumière bute sur un «gros» obstacle comme une poussière, la partie diffusée est effectivement blanche. Par contre, si l'obstacle est une petite molécule, comme celles de l'atmosphère, toutes les composantes de la lumière ne sont pas diffusées de la même manière: celles de petites longueurs d'onde, comme les bleues, le sont beaucoup plus que celles de grandes longueurs d'onde, comme les oranges et les rouges. Résultat: le ciel nous paraît bleu. En vérité, les ondes lumineuses les plus diffusées ne sont pas les bleues, mais les violettes, de longueur d'onde encore plus courtes. pas de chance, l'oeil humain est beaucoup moins sensible au violet qu'au bleu ...



### Pourquoi le soleil rougit-il lorsqu'il se couche ?

Parce que la lumière traverse à ce moment là une plus large couche d'atmosphère. Les molécules d'air se mettent alors à diffuser, non seulement le bleu et le violet mais aussi une partie du vert. Privée de toutes ces longueurs d'onde, la lumière blanche, qui arrive tout droit du soleil jusqu'à notre oeil, paraît d'un beau rouge orangé.



### 3. APPLICATIONS AL'ASTROPHYSIQUE: LA LUMIERE DES ETOILES

On ne posera jamais de sonde spatiale sur les étoiles car elles sont trop chaudes et, hormis le Soleil, trop lointaines. Les missions réalisées sur la Lune (Apollo 11 en 1969) ou sur Mars, ne pourront pas être généralisées au Soleil ni à l'Etoile polaire.

En fait, il suffit de regarder (au spectromètre) une étoile pour tout savoir, ou presque, sur elle !

#### 3.1. LE SPECTRE DE LA LUMIERE SOLAIRE.

##### La structure du Soleil.

Le Soleil dont le nom vient du grec «sélas» (lumière, splendeur) est une énorme boule de gaz incandescents (son rayon est égal à  $10^9$  fois celui de la Terre et sa masse est égale à plus de 300 000 fois celle de notre globe).

On estime son âge à 5 milliards d'années environ. La température du Soleil est de 6 000°C en surface.

Si précieuse pour la Terre et ses habitants, ce n'est qu'une banale étoile parmi les cent milliards de soleils qui composent notre galaxie. Mais sa chaude lumière a permis l'émergence de la vie sur notre planète. Le Soleil rayonne chaleur et lumière autour de lui. La Terre en reçoit une infime partie. En l'absence de Soleil, la Terre serait plongée dans les ténèbres et sa température ne dépasserait pas - 250°C. La vie y serait impossible.

Paradoxalement, la lumière qui arrive du Soleil sur la Terre en 8 minutes met beaucoup plus de temps pour se frayer un chemin à l'intérieur du Soleil. Le coeur de l'astre est si dense que la lumière transportant l'énergie libérée par les réactions nucléaires met environ un million d'années pour parvenir à la surface du Soleil appelée *photosphère*.



Joseph Von Fraunhofer  
(1787-1826)

Physicien allemand, il a inventé le spectroscope (appareil permettant d'obtenir le spectre d'une lumière) et il a étudié le spectre solaire. On a donné son nom aux raies noires apparaissant dans ce spectre.



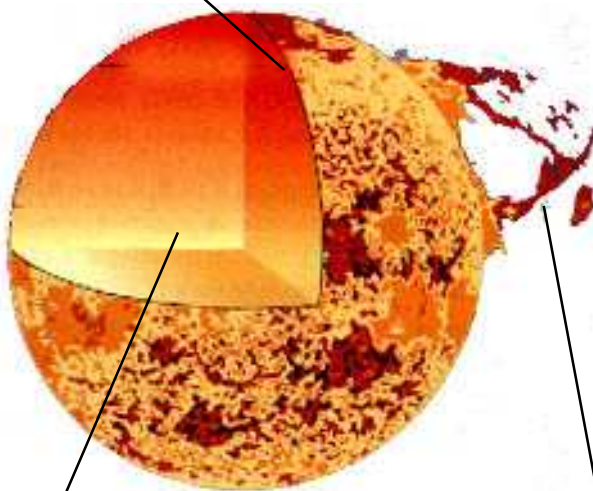
##### Un peu d'histoire.

En 1859, deux physiciens de Heidelberg, Robert Bunsen et Gustav Kirchhoff, chauffèrent du Sodium et examinèrent son spectre. Observant le spectre solaire, ils comptent 463 raies, qu'ils attribuent l'une après l'autre à des éléments chimiques connus.

Ainsi, comme Fraunhofer avant eux, ils observèrent deux raies claires aux positions repérées sur le spectre solaire par la lettre D. Puis ils firent passer des rayons solaires à travers des vapeurs de sodium: les raies D apparurent en noir; elles étaient même plus accentuées. Ils en conclurent que la vapeur de sodium absorbait les rayons provenant du sodium incandescent dans le Soleil, tandis qu'elle était transparente aux autres rayons.....



Surface du Soleil: photosphère  
(température de 6 000°C à 4 000°C)



Intérieur du Soleil  
(température de  $10^7$ °C à  $10^8$ °C)

Protubérance  
(température de  $4.10^4$ °C à  $5.10^6$ °C)

##### La photosphère.

La température de sa surface est de l'ordre de 6 000°C, mais le coeur est à plusieurs millions de degrés et est le siège de réactions thermonucléaires; le Soleil est à l'état gazeux.

Une fine couche de gaz de 350 km d'épaisseur, la *photosphère*, enveloppe le Soleil. Elle éblouit l'observateur car elle émet toute la lumière qui nous vient du Soleil. Sa température très élevée (6 000°C) justifie le spectre continu de la lumière solaire que nous observons.

La photosphère montre à l'observation un aspect granulaire dû aux différences de température entre les diverses parties de la surface. Tâches, éruptions, sont les manifestations de l'activité solaire.

Les tâches solaires apparaissent en sombre parce qu'elles ont une température inférieure d'environ 1 500°C à celles des régions voisines.

La durée de la vie des tâches, leur nombre, présentent une évolution périodique: deux maximums d'activité sont séparés de onze années en moyenne, ce qui définit le cycle solaire.

Le gaz de la photosphère est constitué principalement d'atomes d'hydrogène H, mais contient également les ions He<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>....

### La chromosphère.

Si le Soleil ne comportait pas d'atmosphère, le spectre de la lumière émise serait continu.

En 1814, le physicien allemand J. Fraunhofer observe, dans le spectre du Soleil, une multitude de raies noires.

L'existence de ces raies d'absorption est due à la présence d'une atmosphère autour du Soleil, appelée chromosphère, et s'étendant sur 2 000 km d'épaisseur environ.

Cette atmosphère est constituée de gaz sous faible pression avec des régions où la température peut atteindre 10<sup>4</sup>°C. Cette partie haute de la photosphère absorbe une partie de la lumière émise dans sa partie basse. Il en résulte des raies d'absorption, on en compte plus de 20 000 raies répertoriées.

L'atmosphère solaire est parfois secouée par des manifestations très violentes: les éruptions solaires, accompagnées d'émissions lumineuses très intenses.

Tâches, éruptions solaires sont révélatrices de la présence d'un champ magnétique.

## **3.2. LES ETOILES ET NEBULEUSES.**

Les étoiles sont des «soleils» producteurs d'énergie lumineuse.

Leur éclat dépend de leur dimension, de leur température, de la distance qui les sépare de la Terre. La magnitude d'une étoile indique son éclat. La magnitude est exprimée à l'aide d'un nombre, les étoiles de magnitude 1 étant 100 fois plus lumineuses que les étoiles de magnitude 6.

Les étoiles ont des volumes différents. Le Soleil, qui est une étoile moyenne, a un volume égal à 1 million de fois celui de la Terre. Il existe des étoiles géantes et d'autres qui ne sont que le  $\frac{1}{1\,000}$  du Soleil.

La température périphérique des étoiles varie de 3 000°C à 25 000°C (6 000°C pour le Soleil).

L'une des plus grandes étoiles connues, epsilon du Cocher, a un diamètre égal à 4 000 fois celui du Soleil.

Les densités des étoiles peuvent être hallucinantes: 80 000 pour l'étoile Wolf 457 c'est-à-dire qu'un centimètre cube de matière a une masse de 80 tonnes !

Les étoiles peuvent être classées ainsi:

- la température de leur surface (entre 4 000°C et 30 000°C);
- leur luminosité (certaines étoiles sont plus brillantes que d'autres);
- la composition chimique de leur enveloppe externe.

On constate que:

- plus l'enveloppe d'une étoile est chaude, plus on y trouve les éléments chimiques H et He.
- Les spectres des étoiles les moins chaudes montrent la présence de nombreux éléments chimiques métalliques (Ca, Fe...)

La couleur d'une étoile traduit sa température:

- les étoiles bleues sont les plus chaudes;
- les rouges, les moins chaudes;
- le Soleil est une étoile jaune de température intermédiaire.

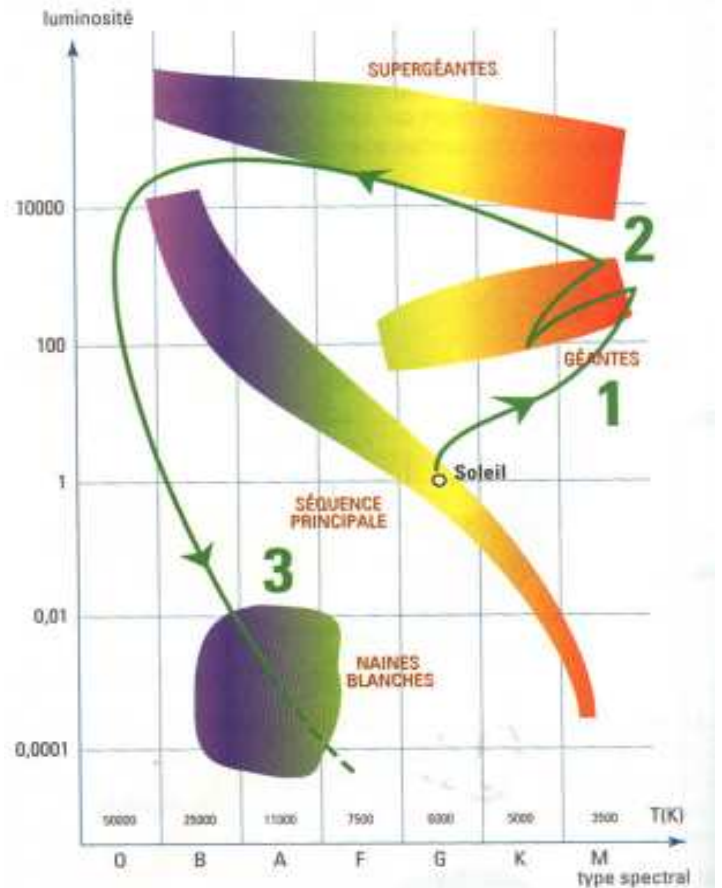
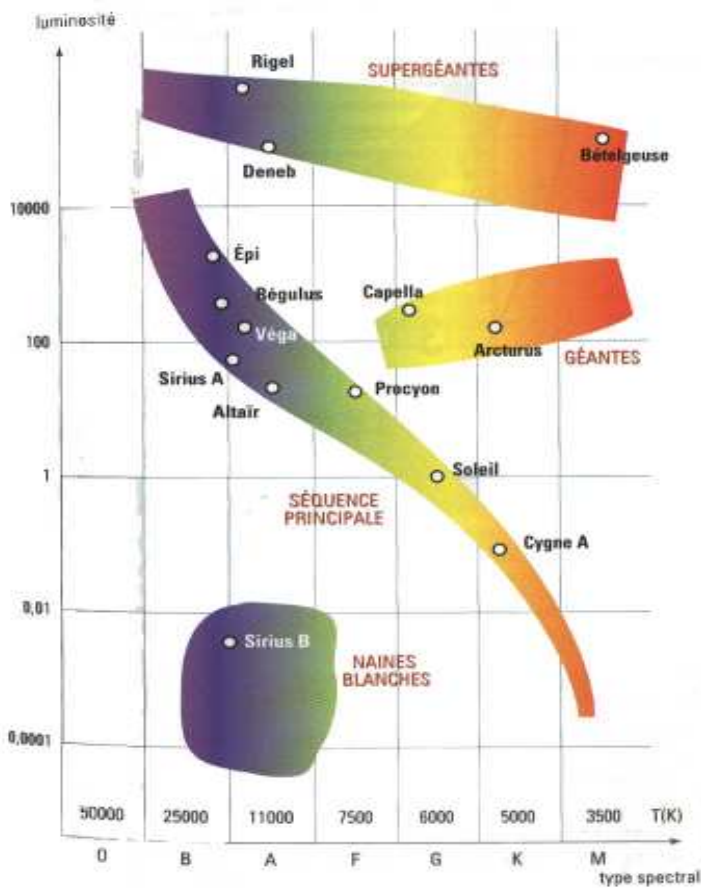
A noter que les températures des régions internes des étoiles sont bien évidemment très supérieures à leur température de surface.

température moyenne (°C)	3 000	5 500	8 000	>10 000
couleur	rouge orangé	jaune	blanche	bleutée
exemple	Bételgeuse	le Soleil	Sirius	Rigel

Les spectres d'étoiles sont aujourd'hui classés en diverses catégories selon la température ou l'allure du spectre. Le diagramme de Hertzsprung-Russel (ou H-R), par exemple, classe les étoiles en fonction de leur température de surface et de leur luminosité. (voir doc ci-contre).

On sait prédire le futur du Soleil. Cette histoire est résumée sur le doc ci-contre:

- dans 4 milliards d'années, le Soleil va se dilater (et donc croître en luminosité) et rougir. Au stade de géante rouge il aura englouti Mercure, Vénus et la Terre;
- ensuite l'essentiel de sa masse se concentrera en une petite «naine blanche»



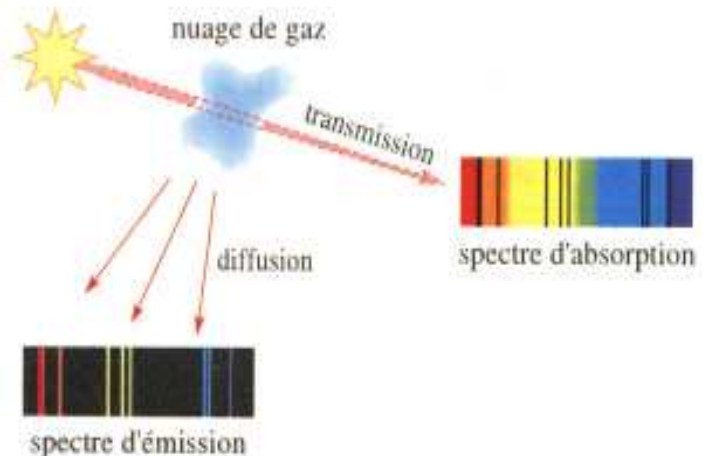
Les astronomes classent les étoiles en 7 catégories selon leur température de surface. Le classement qui précise la température d'une étoile utilise les lettres suivantes:

Type de l'étoile.	Analyse spectrale
O	Présence de raies caractéristiques de l'hélium neutre et ionisé, et de l'hydrogène.
B	Les raies de l'hydrogène sont également présentes mais plus intenses que dans le type O. De nouvelles raies caractéristiques de l'hélium neutre apparaissent, de même qu'une raies de l'ion Mg <sup>+</sup> .
A	Dominé par les raies de l'hydrogène qui atteignent leur maximum d'intensité, les raies de l'hélium ont disparu. Celles du calcium apparaissent.
F	Les raies de l'hydrogène sont encore intenses et certaines raies fines de métaux apparaissent.
G	Les raies du calcium dominent à la limite du violet. On eprçoit encore quelques raies de l'hydrogène. Celles du fer se sont nettement renforcées. On note la présence de très nombreuses raies fines de métaux.
K	Les raies de l'hydrogène ont pratiquement disparues. Les raies métalliques sont plus nombreuses et plus intenses.
M	Les raies du calcium atomique et ionisé sont intenses. On note également des bandes de raies caractéristiques de la présence de groupements moléculaires.

Les étoiles de classe O sont les plus chaudes (température supérieure à 30 000°C), le Soleil est de classe G et les étoiles les moins chaudes sont de classe M.

Il existe un moyen mnémotechnique pour mémoriser ces lettres *Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me*

Il existe de la matière dans l'immense espace vide séparant les étoiles: elle est constituée de gaz (hydrogène essentiellement) et de poussières. A l'aide d'un télescope, on observe apr exemple des nuages colorés appelés nébuleuses. Elles absorbent certaines radiations; les gaz sous très faibles pression sont excités et émettent une lumière colorée dont on peut observer latéralement le spectre lumineux.



### 3.3. L'AVENIR DE L'OBSERVATION DU CIEL.

Ce qui a été vu ici à propos de la lumière s'extrapole à l'étude de tous les rayonnements en provenance du cosmos, en particulier les rayonnements infrarouges et ultraviolets. Ces rayonnements étant absorbés par l'atmosphère qui enveloppe la Terre, de telles observations doivent être effectuées depuis des satellites artificiels. Le plus célèbre d'entre eux, Hubble, est un véritable laboratoire automatique observant le ciel. Il envoie aux astrophysiciens les informations nécessaires à une meilleure compréhension de l'Univers.

### 3.4. CALCUL DE VITESSES.

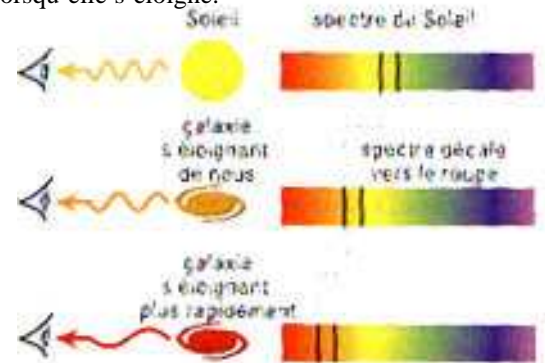
La plupart des spectres de galaxies lointaines sont décalées vers la partie rouge du spectre. Ce «décalage vers le rouge» (*redshift* en anglais) est dû à un phénomène physique appelé Doppler. Il se produit avec toutes les ondes et se traduit par une diminution de la longueur d'onde lorsque la source des ondes se rapproche et une augmentation lorsqu'elle s'éloigne.

Le même phénomène dans le cas particulier de la lumière se traduit ainsi:

- si une source lumineuse se rapproche de nous à très grande vitesse, son spectre est décalé vers les faibles longueurs d'onde (le bleu);
- si elle s'éloigne de nous, son spectre est décalé vers le rouge, de grande longueur d'onde.

Ainsi, quand:

- une étoile se rapproche de nous, la longueur d'onde que nous percevons diminue (son spectre se décale vers le violet);
- quand elle s'éloigne de nous la longueur d'onde que nous percevons augmente: le spectre se décale vers le rouge.



La mesure de ce décalage permet de calculer avec une bonne précision la vitesse de la source par rapport à nous.

### 3.5. VERS LE BIG BANG.

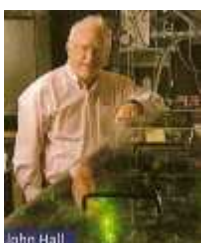
C'est justement en étudiant le «décalage vers le rouge» des galaxies que l'astronome américain Edwin Hubble a montré, dans les années 1920, que le décalage du spectre est d'autant plus grand que la galaxie est plus éloignée.... Ce fut le premier indice de l'expansion de l'Univers, et le premier pas vers l'hypothèse du Big Bang.



Mais c'est le cosmologiste britannique Fred Hoyle (1915 - 2001) qui inventa ce terme de Big-Bang en 1950 pour tourner en ridicule le scénario que, vingt cinq ans plus tôt, le Russe Alexandre Friedmann et le belge Georges Lemaître venaient de formuler sur la naissance de l'Univers. Ironie: il ne pouvait imaginer que sa trouvaille assurerait finalement la notoriété d'une théorie dont il était en réalité le principal détracteur.



### PRIX NOBEL 2005 PHYSIQUE.



John Hall de l'université du Colorado et Theodor Hänsch de l'institut Max-Planck de Munich, sont passés maîtres dans l'art de mesurer les fréquences atomiques comme celles émises par les étoiles. Cette spectroscopie laser a permis à John Hall d'améliorer les mesures de la vitesse de la lumière, contribuant ainsi au changement de définition du mètre désormais reliée à des longueurs d'onde atomiques. Il fut ainsi concurrent de son collègue dans le développement d'une nouvelle méthode de spectroscopie adaptée aux hautes fréquences, appelée peigne de fréquences. Cette technique, mise au point il y a moins de dix ans, devrait permettre d'améliorer la précision des horloges atomiques.



# COMMENT LA LUMIÈRE D'UNE GALAXIE TRAHIT SON MOUVEMENT

## 1 *L'image de la galaxie est fractionnée et focalisée.*

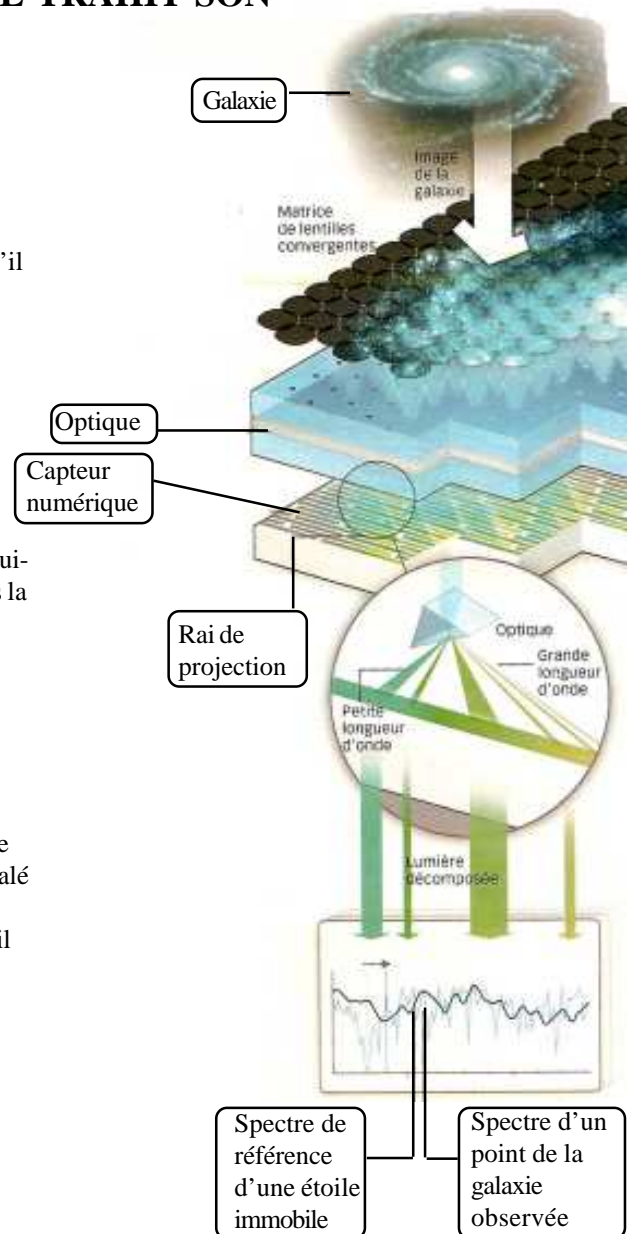
L'image de la galaxie est projetée sur une matrice de lentilles convergentes. L'image est ainsi morcelée en autant de points qu'il y a de lentilles. Et chaque point est focalisé en une minuscule tache. L'image devient alors un nuage de points très fins.

## 2 *La lumière est décomposée.*

Chaque point de lumière est projeté sur un système optique. Celui-ci décompose la lumière et l'étale sur le capteur numérique, sous la forme d'un rai aux multiples longueurs d'onde.

## 3 *Le mouvement est mesuré.*

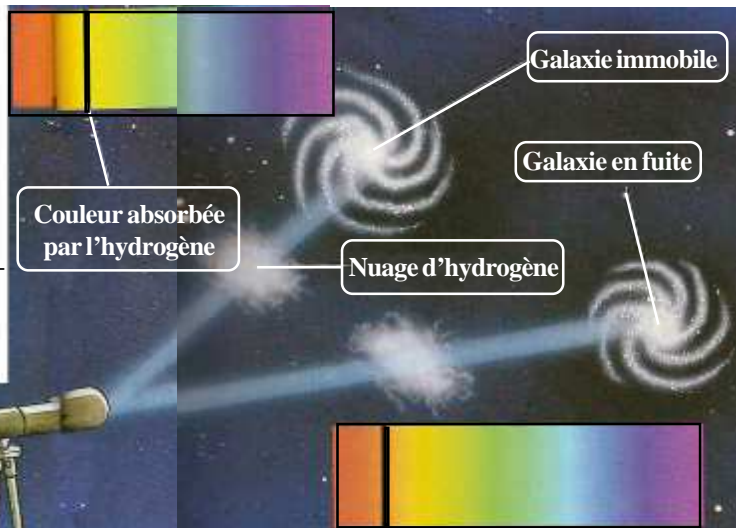
Si les étoiles situées en un point de la galaxie bougent, le spectre traduisant l'intensité des longueurs d'onde sera légèrement décalé par rapport à celui d'une étoile immobile. S'il l'est vers la droite (vers les grandes longueurs d'ondes), les étoiles s'éloignent; s'il l'est vers la gauche (plus petites longueurs d'ondes), elles se rapprochent.



## COMMENT ON SAIT QUE LES GALAXIES S'ÉLOIGNENT ?

### GALAXIE IMMOBILE.

Cette galaxie est immobile. Elle brille autrement dit, elle émet de la lumière. Cette lumière traverse un nuage d'hydrogène. Or, l'hydrogène a la sale manie de garder un peu de cette lumière. Cela saute aux yeux si l'on décompose la lumière qui ressort du nuage d'hydrogène, pour voir les couleurs dont cette lumière est composée (on appelle cela un «spectre»). Une bande noire apparaît à la place de la couleur dévorée. L'emplacement de cette bande sur le spectre est comme une signature. C'est infalifiable, la raie de l'hydrogène est toujours dans le spectre au même endroit.



### GALAXIE EN MOUVEMENT.

Recommençons l'expérience, cette fois la galaxie que nous observons est en mouvement. Comme dans l'exemple précédent, un nuage d'hydrogène est placé entre la Terre et la galaxie. Il absorbe à nouveau une partie de la lumière émise par la galaxie. Mais, cette fois, la raie est déplacée vers le rouge. Bizarre ... Les goûts de l'hydrogène auraient-ils changé ? Non ... L'hydrogène a absorbé le spectre au même endroit que dans le premier exemple. Mais le fait que la galaxie soit en mouvement a déplacé tout le spectre vers le rouge. Ainsi, la raie semble elle aussi déplacée vers le rouge. Ce curieux phénomène s'appelle l'effet Doppler. C'est grâce à lui que Hubble a découvert que les galaxies s'éloignent les unes des autres .....

### L'EFFET DOPPLER

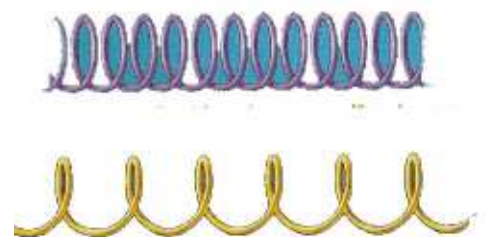
Pour comprendre, prenons l'exemple simplifié de deux ampoules. La lumière émise par ces ampoules est transportée sous forme d'onde dont la forme rappelle celle des vagues sur l'océan. Elles sont caractérisées par la distance séparant deux bosses: la longueur d'onde. Elle détermine la couleur de la lumière. Les grandes longueurs d'onde correspondent aux couleurs rouges, les petites aux couleurs bleues.

Lorsque l'ampoule est immobile (Fig 1), les 2 observateurs observent des ondes espacées de façon identique. Mais si l'ampoule est mise en mouvement (Fig 2), les observateurs ne voient plus la même chose. Comme l'ampoule avance vers la droite, la distance entre deux ondes émises dans cette direction est plus courte que précédemment. Elles semblent ainsi se tasser dans le sens du mouvement. La longueur d'onde est plus courte. Le spectre de la lumière est donc décalé vers le bleu. Inversement, à gauche, la distance entre deux vagues successives est plus importante puisque l'ampoule part vers la droite. La longueur d'onde étant plus grande, le spectre de la lumière est décalé vers le rouge.



### Peut-on me prouver facilement la réalité du big bang ?

Après le Big Bang, pendant en gros 400 000 ans, l'Univers était très dense et très chaud: c'était un gaz à plus de 3 000°C ! Qu'est devenue toute la lumière qui remplissait l'Univers à l'époque ? Réponse: comme tout le reste, elle a été étirée par l'expansion cosmique. La lumière est une onde, comme les ronds qui se propagent à la surface de l'eau quand vous y jetez un caillou. Lorsque sa longueur d'onde - la distance entre les crêtes de deux vagues successives - est comprise entre 400 et 800 nm, elle est visible. Les infrarouges, les ultraviolets ou les rayons X sont des ondes du même genre, avec des longueurs d'ondes plus grandes ou plus courtes que celles sur lesquelles sont réglées nos yeux. Comme la taille de l'Univers a été multiplié par 1 000 depuis l'époque où il était plein de gaz chaud, au lieu d'être rempli d'une belle lumière orange vif (une longueur d'onde d'environ 700 nm), l'espace bruisse de signaux de près d'un millimètre de longueur d'onde et ça, ce n'est plus de la lumière visible, mais des micro-ondes ! Vous ne les voyez pas, mais une antenne de télévision, si. C'est cette «lumière des origines», étirée par l'expansion, qui fait les parasites (la «neige») sur votre écran.



### **Si l'Univers est infini comment peut-il être en expansion ?**

Une grosse explosion, des bouts de matière et des galaxies qui se dispersent dans tous les sens: on a bien compris que l'Univers s'étend dans toutes les directions, depuis le Big-Bang ... mais s'il est déjà infini aujourd'hui, il s'étend dans quoi ? En fait, l'expansion de l'Univers signifie simplement ceci: si vous mesurez les distances entre toutes les galaxies aujourd'hui et que vous revenez dans 10 milliards d'années, vous constaterez qu'elles ont toutes été multipliées par deux. Il n'y a pas de centre à partir duquel se fait l'expansion: toutes les galaxies se fuient les unes les autres. Et il n'y a pas besoin d'espace autour pour faire de la place: deux fois l'infini, ça fait toujours l'infini !

