

# Chapitre 3b

## Interaction lumière-matière



# Quantification de la lumière et de la matière

# Un peu d'histoire

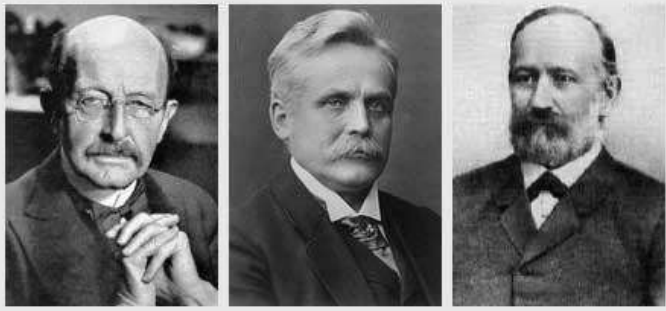


Max PLANCK (1858 - 1947)

Wilhelm WIEN (1864 - 1928)

Josef STEFAN (1838 - 1893)

[http://www.astro-rennes.com/initiation/corps\\_noir.php](http://www.astro-rennes.com/initiation/corps_noir.php)



Max PLANCK (1858 - 1947)  
Wilhelm WIEN (1864 - 1928)  
Josef STEFAN (1838 - 1893)

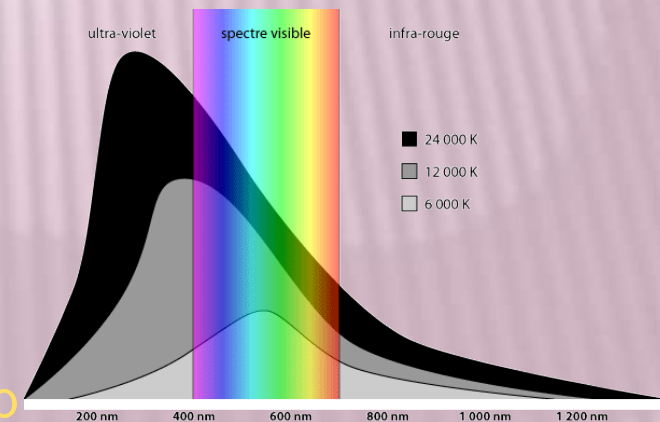
Le modèle ondulatoire de la lumière ne suffit pas à expliquer le rayonnement du corps noir.

M. Planck propose une **théorie des quanta d'énergie** (1900) et l'applique avec succès à l'explication du **rayonnement du corps noir**. Il suppose que l'**échange d'énergie** entre matière et rayonnement se fait de façon discontinue, c'est-à-dire par **quanta**.

Ces quanta ( $\epsilon$ ) sont proportionnels aux fréquences  $\nu$  du rayonnement et l'énergie échangée a pour expression :  **$\epsilon = h \nu$**

avec  $h$ , une constante de proportionnalité ou **constante de Planck** valant :  $6,62 \times 10^{-34}$  J·s.

La **loi de Planck** donne la distribution de l'énergie (et donc le maximum d'intensité lumineuse) selon la longueur d'onde (ou couleur)



Le modèle ondulatoire de la lumière ne suffit pas à expliquer le rayonnement du corps noir.

M. Planck propose une **théorie des quanta d'énergie** (1900) et l'applique avec succès à l'explication du **rayonnement du corps noir**. Il suppose que l'**échange d'énergie** entre matière et rayonnement se fait de façon discontinue, c'est-à-dire par **quanta**. Ces quanta ( $\varepsilon$ ) sont proportionnels aux fréquences  $\nu$  du rayonnement et l'énergie échangée a pour expression :  **$\varepsilon = h \nu$**  avec  $h$ , une constante de proportionnalité ou **constante de Planck** valant :  $6.62 \times 10^{-34}$  J.s.

La **loi de Planck** donne la distribution de l'énergie (et donc le maximum d'intensité lumineuse) selon la longueur d'onde (ou couleur)

### **Activité 1** : savoir exploiter un texte

- 1) Quel modèle atteint ses limites pour expliquer le rayonnement du corps noir ?
- 2) Comment se fait l'échange d'énergie entre matière et rayonnement ?
- 3) Quelles sont les unités des termes de l'expression  **$\varepsilon = h \nu$**  ?
- 4) Cherchez une définition pour le mot « quanta »
- 5) Ces quanta ont-ils toujours la même valeur ?

1) *Quel modèle atteint ses limites pour expliquer le rayonnement du corps noir ?*

C'est le modèle ondulatoire de la lumière

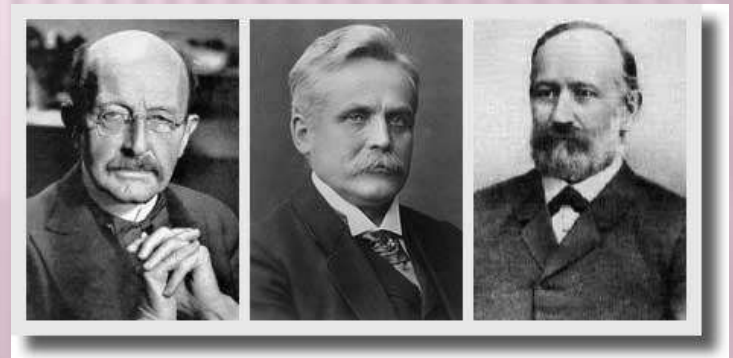
2) *Comment se fait l'échange d'énergie entre matière et rayonnement ?*

L'échange d'énergie entre matière et rayonnement se fait de façon discontinue, c'est-à-dire par quanta d'énergie

3) *Quelles sont les unités des termes de l'expression  $\epsilon = h \nu$*

$$\epsilon = h \times \nu$$

$$\text{J} \quad \text{J.s} \quad \text{Hz}$$

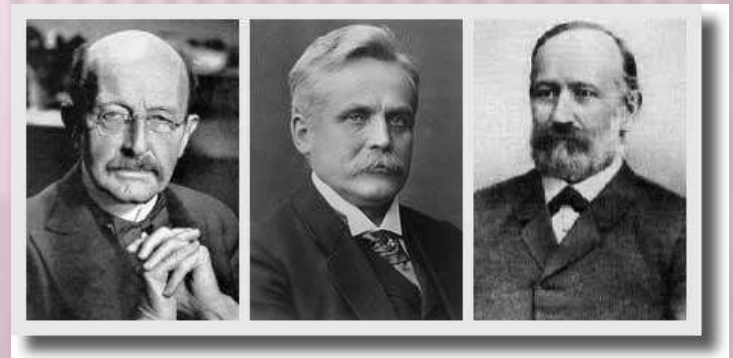


#### 4) *Définition du mot « quanta »*

Des quanta sont des quantités d'énergie échangées prenant des valeurs prédéfinies car proportionnelles à la fréquence  $\nu$  de rayonnement

#### 5) *Ces quanta ont-ils toujours la même valeur ?*

Étant donné que la fréquence  $\nu$  varie, la valeur de  $\epsilon$  peut prendre des valeurs différentes



# Le quantum d'énergie



En 1900, Max Planck affirme que l'énergie d'un rayonnement de fréquence  $\nu$  est **quantifiée**.

Cela signifie que cette énergie est proportionnelle à  $\nu$ ,  $h$  ou **constante de Planck** étant le coefficient de proportionnalité :

$$E = h \nu$$

$E$  représente le quantum d'énergie et s'exprime en joule (J)

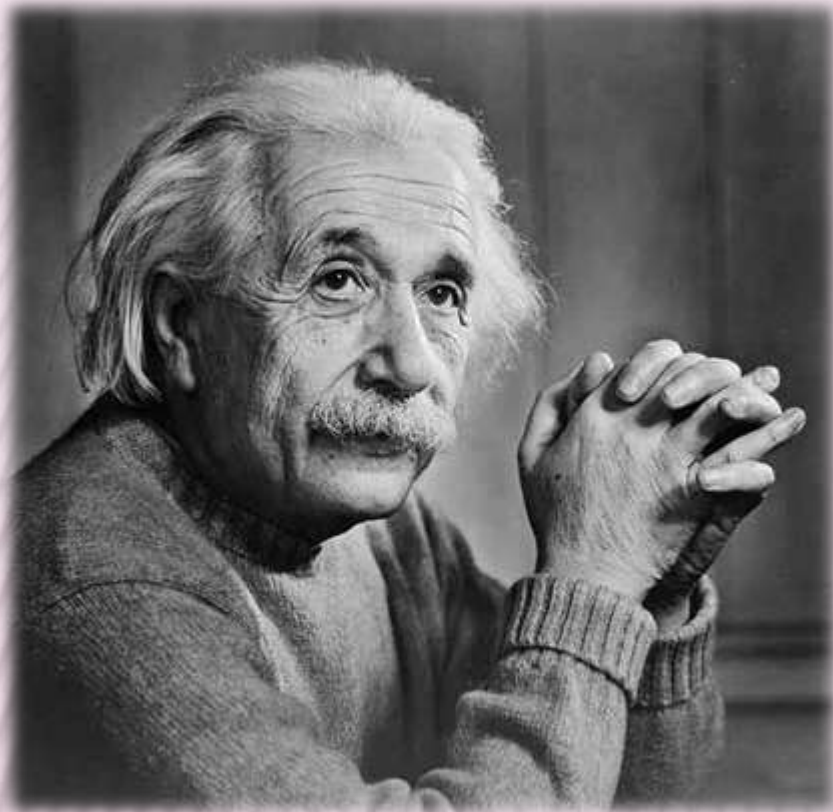
$$h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

$\nu$  : fréquence du rayonnement en hertz (Hz)

**Un rayonnement monochromatique ne peut échanger que des énergies multiples du quantum d'énergie  $h\nu$ .**



**Attention ! Comme la fréquence  $\nu$  varie, les quanta d'énergie peuvent prendre différentes valeurs !**



Albert Einstein (1879 - 1955)

En 1905, Albert Einstein va plus loin dans cette réflexion et introduit la notion de

**quantification de la lumière.**

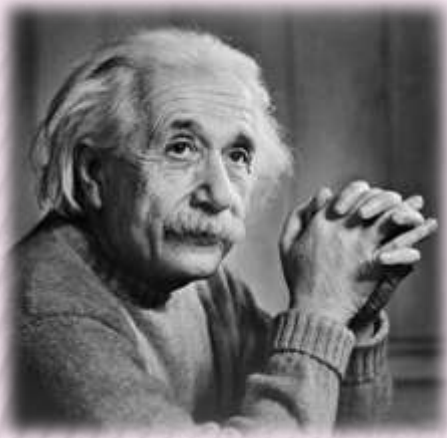
Il crée un nouveau concept : celui du **grain d'énergie** ou **photon**.

Lors de son émission ou son absorption, **l'énergie échangée par le photon est un quantum d'énergie** d'expression :  $\epsilon = h \nu$

**Activité 2** : savoir exploiter un texte

- 1) À quel phénomène physique Albert Einstein étend-il la théorie des quantas ?
- 2) Quel nouveau concept met-il en avant ?

[http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/physique-1/d/la-matiere-noire-des-amas-de-galaxies-pas-une-necessite-pour-john-moffat\\_13545/](http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/physique-1/d/la-matiere-noire-des-amas-de-galaxies-pas-une-necessite-pour-john-moffat_13545/)



Albert Einstein

En 1905, Albert Einstein va plus loin dans cette réflexion et introduit la notion de **quantification de la lumière**.

Il crée un nouveau concept : celui du **grain d'énergie** ou **photon**.

Lors de son émission ou son absorption, **l'énergie échangée par le photon est un quantum d'énergie** d'expression :  $\epsilon = h \nu$

*1) À quel phénomène physique Albert Einstein étend-il la théorie des quantas ?*

Il étend cette théorie à la lumière.

*2) Quel nouveau concept met-il en avant ?*

Il avance l'existence de grains ou corpuscules de lumière ou photons.

# **Le modèle corpusculaire de la lumière**

En 1905, Albert Einstein affirme que la lumière elle-même est quantifiée et propose un modèle corpusculaire de la lumière : **la lumière est un flux de particules appelées photons, transportant chacun le quantum d'énergie  $h\nu$ .**

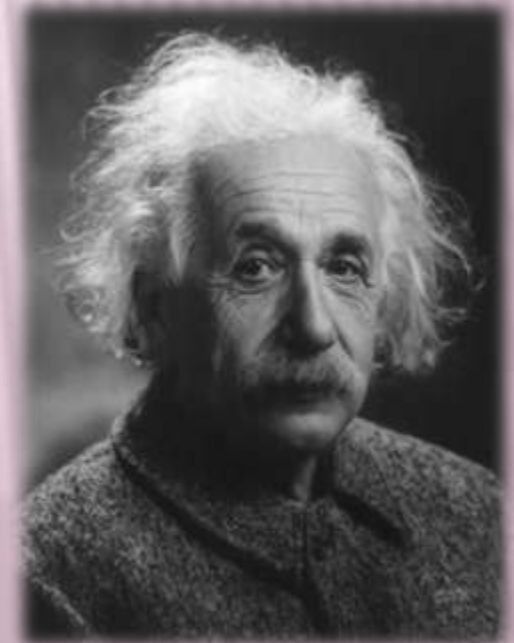
**Il existe une relation liant la fréquence  $\nu$  et la longueur d'onde  $\lambda$  :**  **$\nu = c / \lambda$**

$c$  : vitesse de la lumière dans le vide  $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

$\lambda$  : longueur d'onde de la lumière en m

**Expression de l'énergie d'un photon :**

**$$E = h \nu = h \times c / \lambda$$**



# Les niveaux d'énergie de la matière

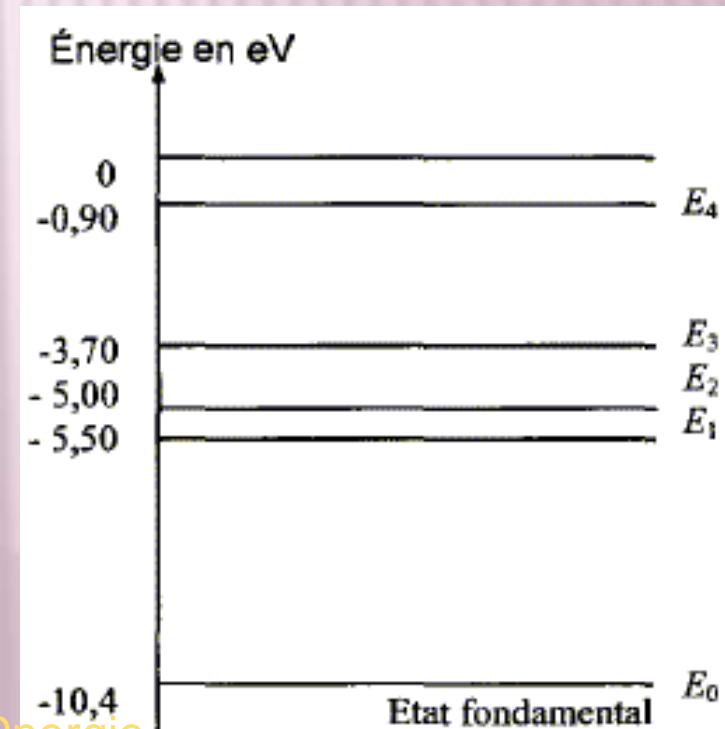
Le **diagramme d'énergie** d'un élément chimique, ancré dans la théorie des quanta, explique qu'un atome ne peut exister que dans certains états d'énergie bien définis.

Le diagramme d'énergie représente ces différents états par des lignes horizontales, numérotées de  $n = 1$  à  $n = \infty$ , avec, en ordonnée, les différents niveaux d'énergie auxquels elles correspondent.

**Activité 3** : savoir exploiter un texte

- 1) Que représentent les lignes horizontales du diagramme ?
- 2) Quelle est l'ordonnée du diagramme et son unité ? Quelle est l'unité courante de cette grandeur ?

**Diagramme du mercure**

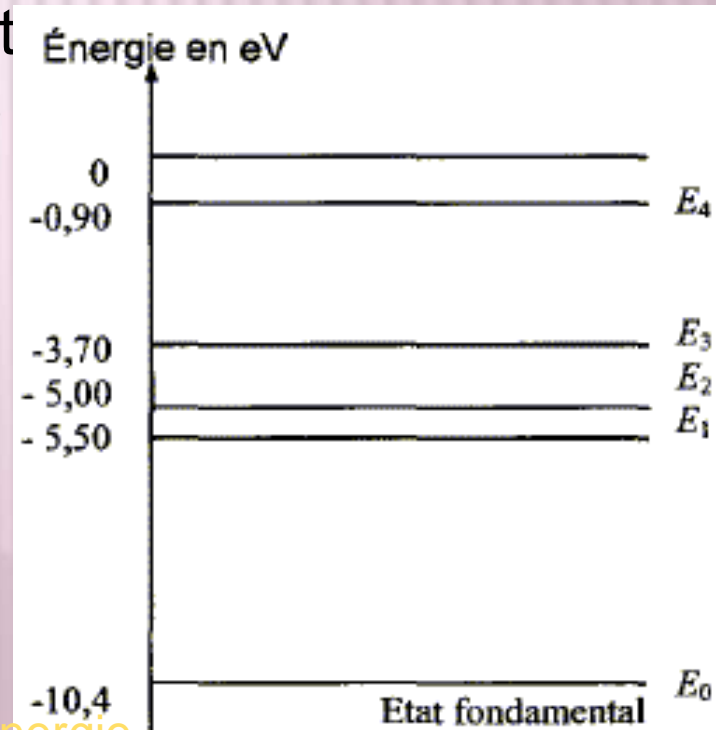


1) *Que représentent les lignes horizontales du diagramme ?*

Elles représentent les différents niveaux d'énergie de l'atome de mercure en partant de l'état fondamental vers des états de plus en plus excités.

2) *Quelle est l'ordonnée du diagramme et son unité ? Quelle est l'unité courante de cette grandeur ?*

L'ordonnée du diagramme est l'énergie des différents états de l'atome, elle est en eV pour électronvolt qui est une autre unité d'énergie que le Joule au niveau atomique





Un élément ne peut passer d'un état à un autre que si un photon lui apporte **la quantité exacte d'énergie** pour passer d'une ligne à une autre. Si la quantité d'énergie est différente, le photon n'aura aucun effet sur l'élément.

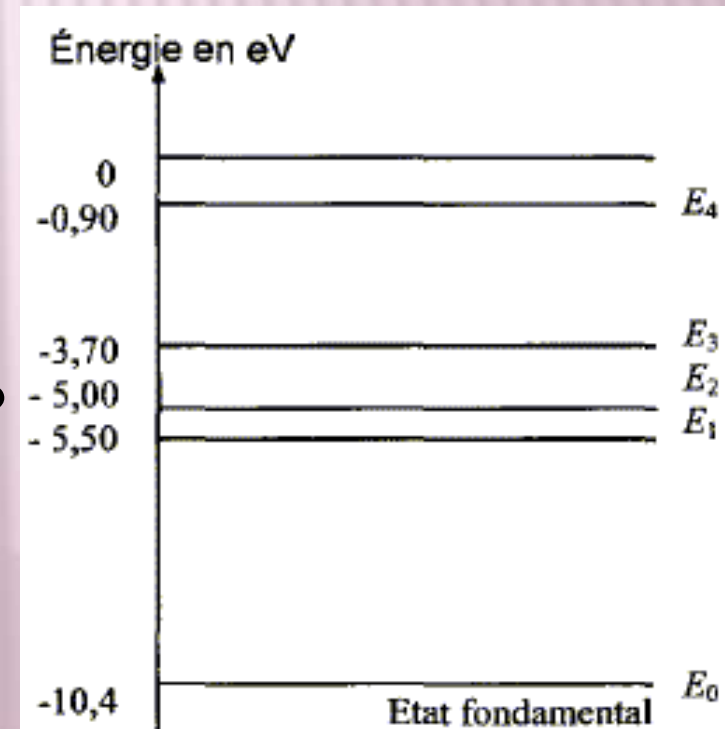
Le niveau  $n = 1$  est appelé **niveau fondamental**. Les autres sont des **états excités**. Le passage du niveau fondamental à un niveau excité se caractérise par une **absorption** d'énergie. La transition inverse est une émission lumineuse **monochromatique**

### Activité 3 : suite

3) Quel niveau représente l'atome dans son état le plus stable ?

4) Pour passer de  $E_0$  à  $E_1$ , l'atome doit-il absorber ou émettre un photon ?

5) Exprimez et calculez l'énergie  $E$  du photon permettant de passer de l'état  $E_0$  à  $E_1$ .  $E_1$  est-il un état excité ?



3) *Quel niveau représente l'atome dans son état le plus stable ?*  
C'est le niveau fondamental.

4) *Pour passer de  $E_0$  à  $E_1$ , l'atome doit-il absorber ou émettre un photon ?*

L'atome passe de l'état fondamental à un état excité, il doit donc absorber de l'énergie.

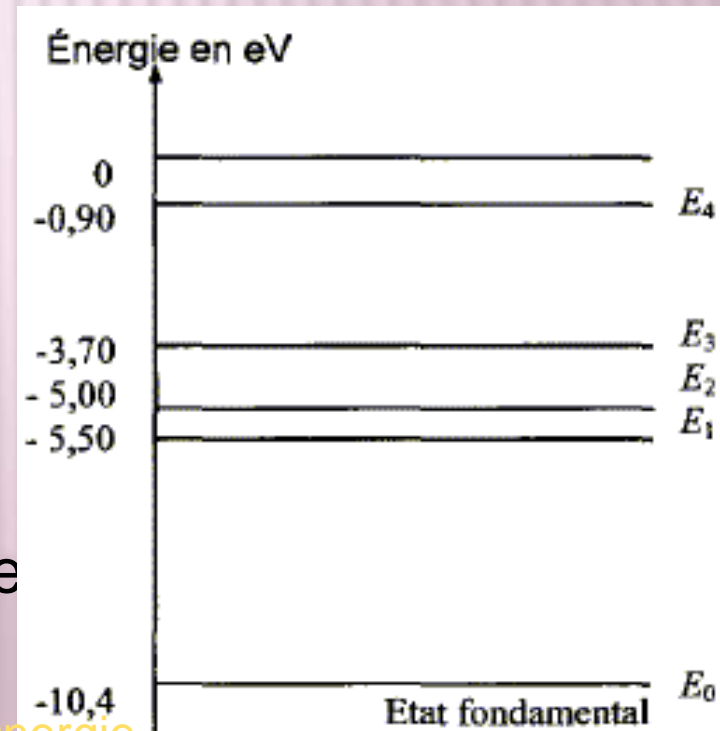
5) *Exprimez et calculez l'énergie  $E$  du photon permettant de passer de l'état  $E_0$  à  $E_1$ .  $E_1$  est-il un état excité ?*

$$\Delta E = E_1 - E_0 = -5,50 - (-10,4)$$

$$\Delta E = 4,9 \text{ eV}$$

D'où l'énergie du photon  **$E = 4,9 \text{ eV}$**

L'énergie de l'état  $E_1$  est supérieure à celle de l'état fondamental donc l'atome est dans un état excité en  $E_1$ .



En 1913, Niels Bohr suggère que l'atome ne peut exister que dans certains états d'énergie définis par leur niveau d'énergie.

Le niveau d'énergie le plus bas ou **niveau fondamental** est celui où la stabilité de l'atome est la plus grande. Sa valeur est  $n = 1$ . Pour  $n > 1$ , l'énergie est notée  $E_n$  et l'atome est dans un **état excité**.

Lorsque  $n$  tend vers l'infini, alors l'énergie est maximale et, pourtant, c'est pour cet état que, **conventionnellement, l'énergie est considérée nulle**. L'atome devient ionisé : il perd son électron.

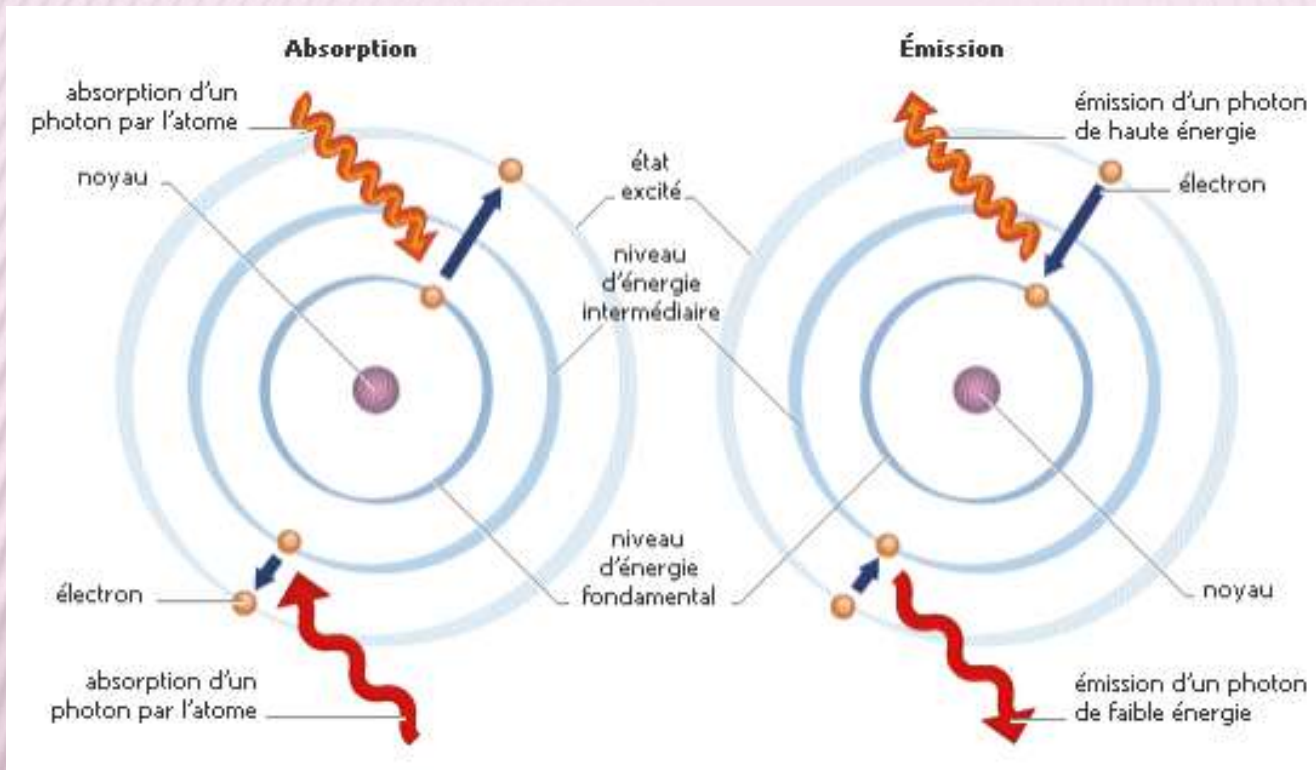
*Remarque : avec cette convention, les énergies  $E_n$  sont négatives.*

<http://www.counterbalance.org/media/bohr-body.html>



# **Interaction lumière-matière**

# Passer d'un niveau à un autre

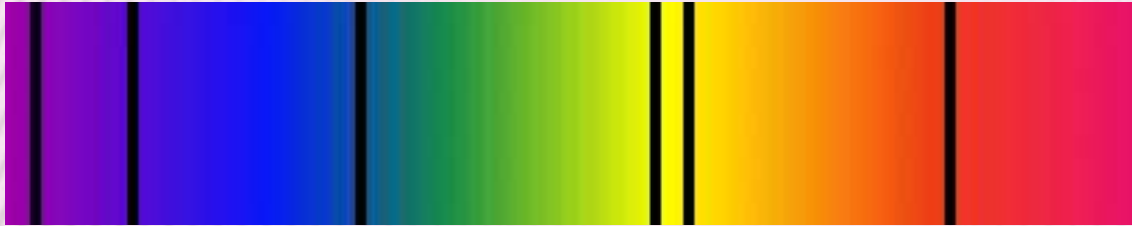


Observons le schéma ci-contre. Récapitulons ce qui produit un photon sur un atome et inversement

Un photon peut être **émis** ou **absorbé** par un atome ou un ion. Cela provoque un changement de niveau d'énergie appelé **transition**.

[http://light.physics.auth.gr/enc/wavelength\\_en.html](http://light.physics.auth.gr/enc/wavelength_en.html)

# Absorption d'un photon



<http://sciencesphy.free.fr/lycee/Seconde/QCSpectres.htm>

Voici un spectre d'absorption, expliquons avec l'intervention d'un photon l'existence des raies noires.

Lors de l'absorption d'un photon dont l'énergie  $E$  vaut l'énergie de transition  $\Delta E$ , l'atome passe d'un niveau d'énergie plus faible  $E_i$  à un niveau d'énergie plus élevé  $E_f$  ( $E_f > E_i$ ).

Cette absorption n'est possible que si  $E_f - E_i = \Delta E = E = h c / \lambda$

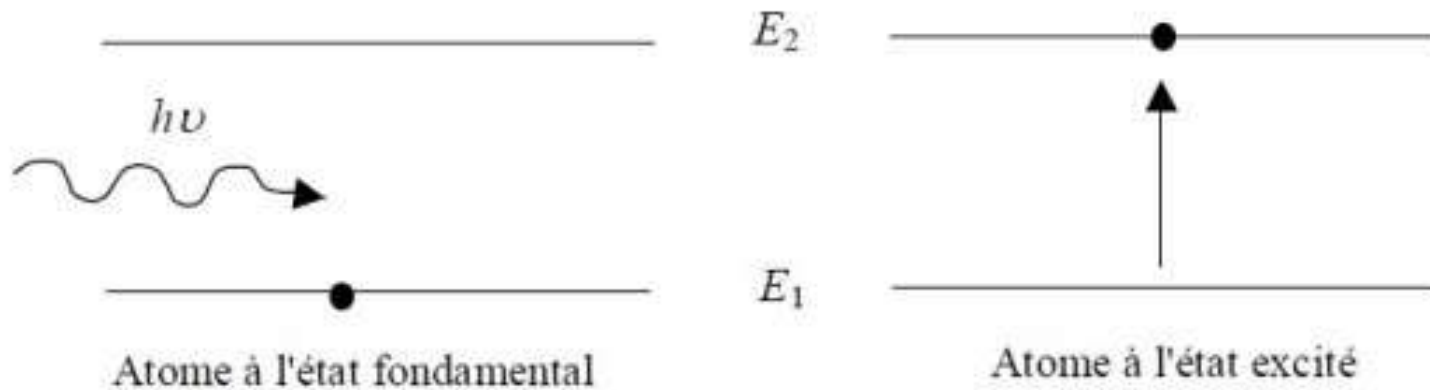
Dans un spectre d'absorption, on observera une raie noire d'absorption correspondant à cette transition pour la longueur d'onde  $\lambda = h c / E = h c / \Delta E$

Énergie du photon absorbé :  $E = \Delta E$

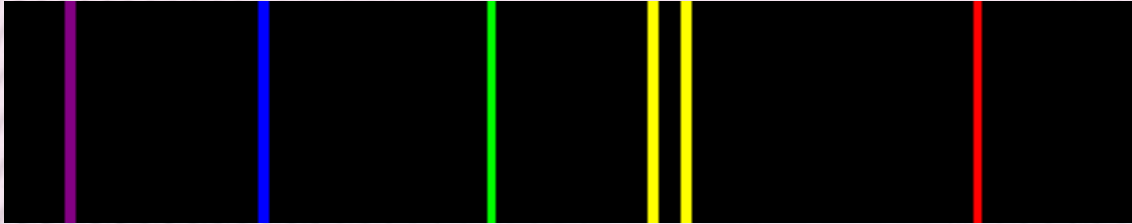
# Absorption d'un photon

Absorption d'un photon d'énergie

$$h\nu = E_2 - E_1$$



# Émission d'un photon



<http://sciencesphy.free.fr/lycee/Seconde/QCSpectres.htm>

Voici un spectre d'émission, expliquons avec l'intervention d'un photon l'existence des raies colorées.

Lors de l'émission d'un photon dont l'énergie  $E$  vaut l'énergie de transition  $|\Delta E|$ , l'atome passe d'un niveau d'énergie plus grand  $E_i$  à un niveau d'énergie plus faible  $E_f$  ( $E_f < E_i$ ).

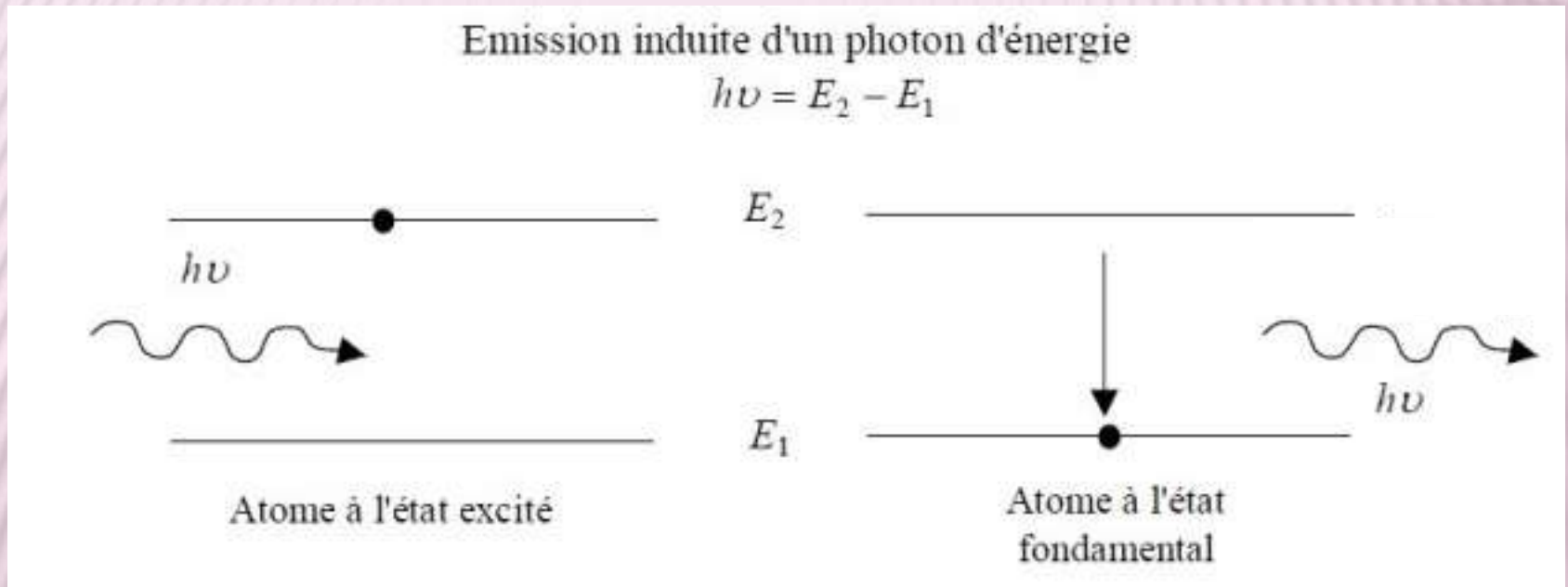
Cette émission n'est possible que si  $|E_f - E_i| = |\Delta E| = E = h c / \lambda$

Dans un spectre d'émission, on observera une raie colorée d'émission correspondant à cette transition pour la longueur d'onde  $\lambda = h c / E = h c / |\Delta E|$

Énergie du photon émis :  $E = |\Delta E|$



# Émission d'un photon



# Présentation de l'électronvolt

C'est une énergie parfaitement adaptée aux faibles valeurs d'énergie dans l'atome.

**Conversion utile** :  $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$$\Delta E \text{ (J)} = \Delta E \text{ (eV)} \times 1,60 \cdot 10^{-19}$$

**Attention ! Si vous calculez une énergie en eV, vous devez ensuite la convertir en Joule pour calculer  $v$  ou  $\lambda$**

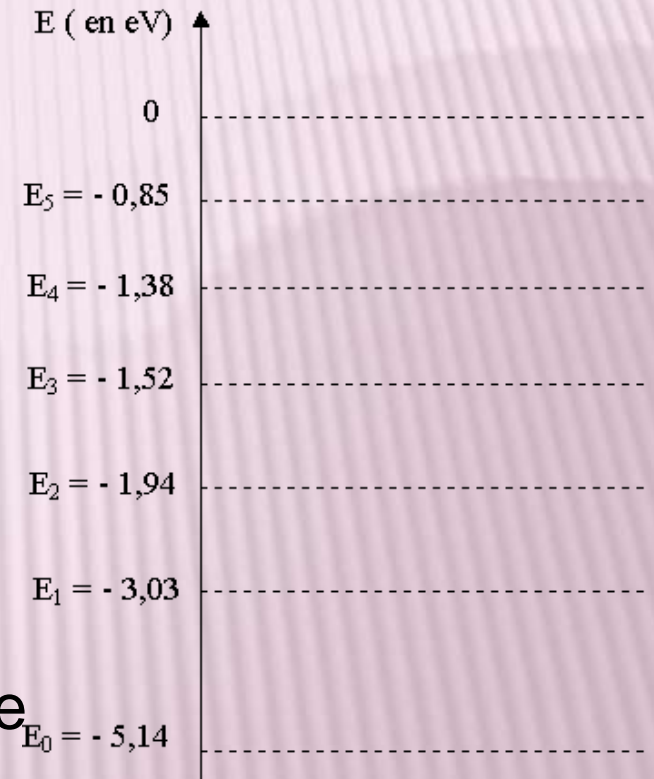


# Exploiter un diagramme d'énergie

Voici le diagramme d'énergie du sodium

## Activité 4 :

- 1) Que vaut l'énergie de l'atome de sodium à l'état fondamental ?
- 2) Exprimez et calculez le quantum d'énergie nécessaire pour passer de l'état  $E_1$  à  $E_0$  en eV puis en Joule.
- 3) Exprimez et calculez la longueur d'onde  $\lambda$  de la radiation absorbée lors de cette transition.
- 4) Dans quel domaine de couleur se situe cette raie ?



1) *Que vaut l'énergie de l'atome de sodium à l'état fondamental ?*

$$E_0 = - 5,14 \text{ eV}$$



2) *Exprimez et calculez le quantum d'énergie nécessaire pour passer de l'état  $E_1$  à  $E_0$  en eV puis en Joule.*

L'atome de sodium dans son état fondamental d'énergie  $E_i = - 3,03 \text{ eV}$  peut passer au niveau  $E_f = - 5,14 \text{ eV}$  s'il reçoit un quantum d'énergie

$$\Delta E = E_f - E_i = E_0 - E_1 = - 5,14 - (- 3,03) = - 2,11 \text{ eV.}$$

*Rq : Tout autre photon de quantum d'énergie différent de cette valeur ne sera pas absorbé*

$$\Delta E \text{ (J)} = \Delta E \text{ (eV)} \times 1,60 \cdot 10^{-19} = - 2,11 \times 1,60 \cdot 10^{-19}$$

$$\Delta E \text{ (J)} = - 3,38 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

3) Exprimez et calculez la longueur d'onde  $\lambda$  de la radiation absorbée lors de cette transition.

$$\lambda = h c / |\Delta E| = 6.63 \cdot 10^{-34} \times 3,00 \cdot 10^8 / 3,38 \cdot 10^{-19} = 5,88 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

ou **588 nm**



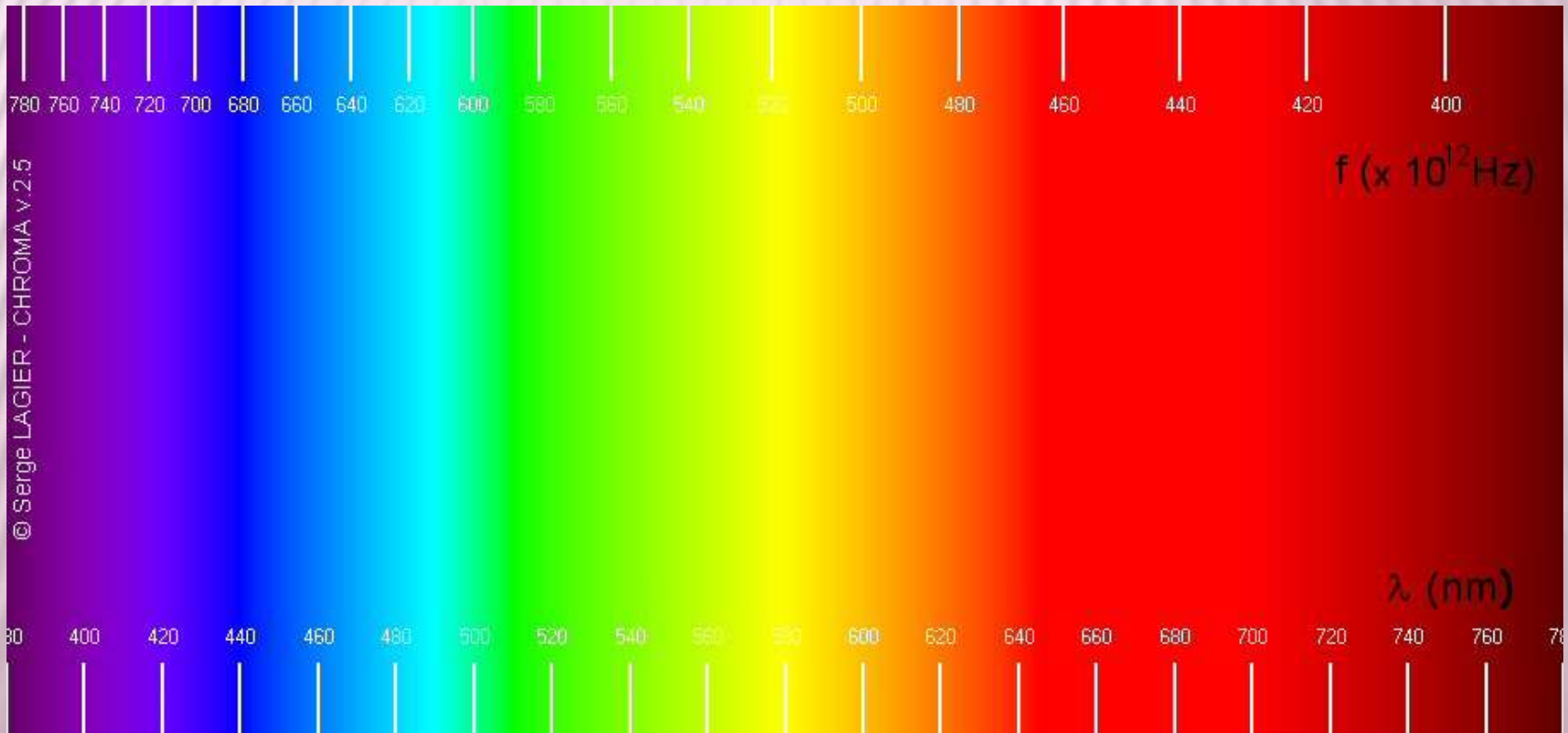
4) Dans quel domaine de couleur se situe cette raie ?  
Elle se situe dans le jaune

# Le spectre solaire

# Une source incandescence

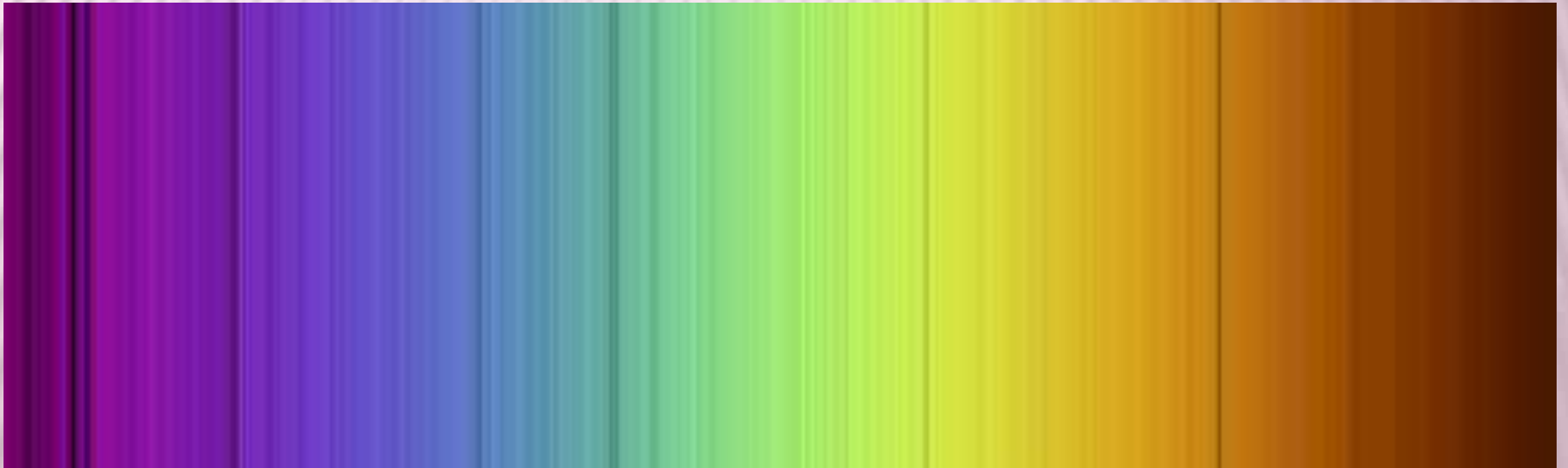
Le soleil peut être assimilé une boule de gaz très chaude sous haute pression entourée par une atmosphère gazeuse, plus froide et sous une pression plus faible.

Son cœur émet un **spectre continu contenant toutes les radiations du visible** (celui de la lumière blanche).



# Spectre d'absorption

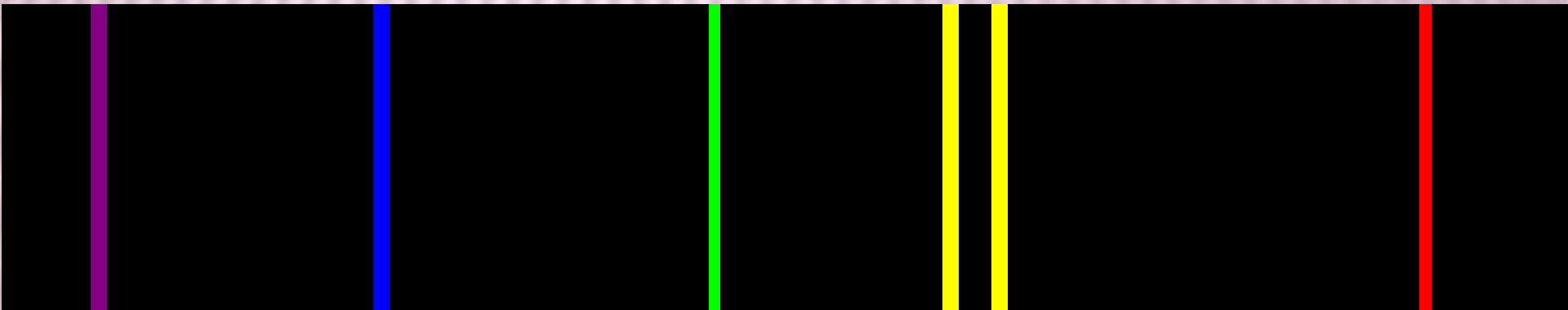
Le spectre d'absorption du solaire présente un grand nombre de **raies d'absorption**. Par comparaison avec les spectres d'émission d'éléments chimiques répertoriés, il est donc possible de **déterminer la composition de l'atmosphère du soleil** (chromosphère) (voir programme de 2°).







**Rappel :** Comme un corps ne peut émettre que ce qu'il absorbe, nous observons à la même position une raie noire dans le spectre d'absorption et une raie colorée dans le spectre d'émission.



# Chapitre 3b

## Interaction lumière-matière

A dramatic landscape featuring a range of dark, jagged mountains under a turbulent, dark blue sky. A bright, glowing light source, possibly the sun or moon, is positioned in the center of the valley, casting a strong, golden-yellow glow across the scene. The light creates a lens flare effect and illuminates the foreground, which appears to be a field of dry, golden-brown grass or a similar textured surface. The overall atmosphere is mysterious and awe-inspiring.

C'est fini...