

Chapitre 3

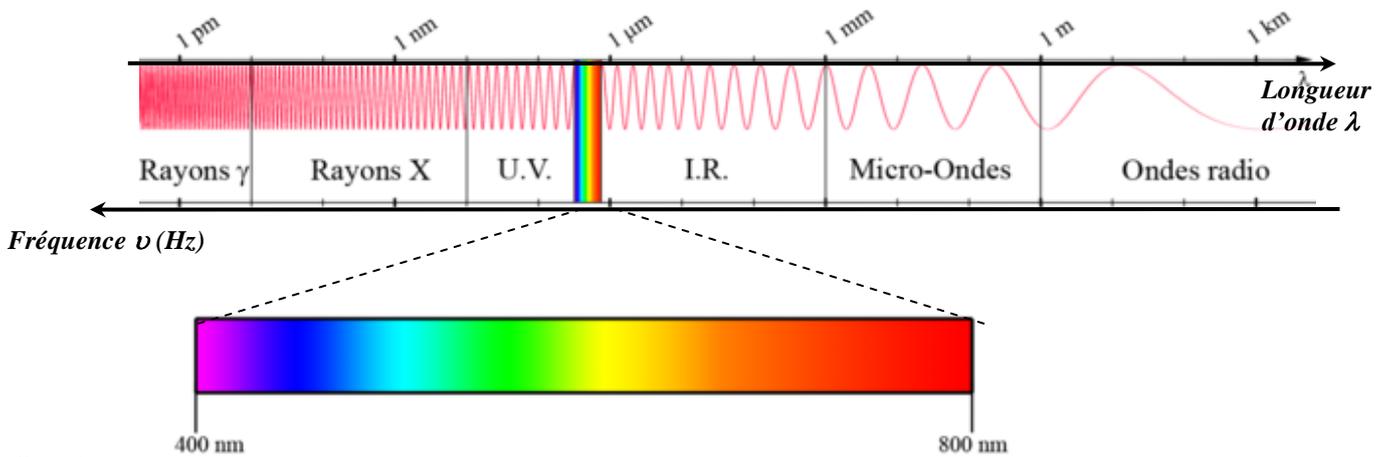
Sources de lumières colorées

I. La lumière

I.1 Les ondes électromagnétiques

Les ondes électromagnétiques sont une fluctuation d'un champ électrique et d'un champ magnétique conjugué. Seule une très petite partie de ces ondes électromagnétiques sont visibles par l'œil humain : c'est **la lumière**.

↓ Figure 1 : Domaines électromagnétiques



Questions :

- Sachant que la fréquence ν et la longueur d'onde λ d'une onde électromagnétique sont reliées par la relation $\lambda \cdot \nu = c$, déterminer la limite en fréquence du domaine du visible. (c = 299 792 458 m.s⁻¹)
- Quelle est, entre la lumière rouge et la lumière violette, celle qui est la plus énergétique ?
- Quel est l'ordre de grandeur de la longueur d'onde λ de la partie visible des ondes électromagnétiques ?
- Donner les limites en longueur d'onde du domaine du visible.
- Sachant que la fréquence ν et la longueur d'onde λ d'une onde électromagnétique sont reliées par la relation $\lambda \cdot \nu = c$, déterminer la limite en fréquence du domaine du visible.

A retenir :

- La lumière visible possède une longueur d'onde dans le vide comprise entre et
- Les ultraviolets ont une longueur d'onde plus que celle du domaine du visible.
- Les infrarouges ont une longueur d'onde plus que celle du domaine du visible.
- Fréquence et longueur d'onde d'une onde électromagnétique sont reliées par la relation $\lambda \cdot \nu = c$ avec c la vitesse de la lumière dans le vide ($c = 299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).**

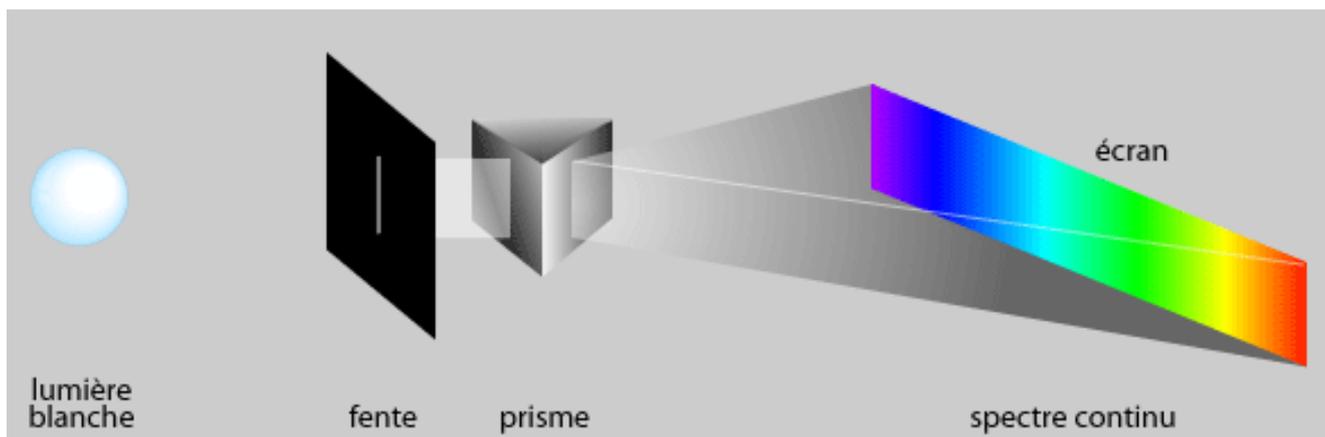
I.2 Les sources de lumière

- Les **sources primaires de lumière fabriquent la lumière** qu'elles émettent.
- Les **sources secondaires diffusent la lumière** qu'elles reçoivent.

Questions :

- Citer 3 exemples de source primaire de lumière
- Même question pour une source secondaire.

Lorsqu'on décompose une lumière à l'aide d'un prisme ou d'un réseau, on observe son **spectre**, c'est à dire toutes les longueurs d'onde qui la composent.

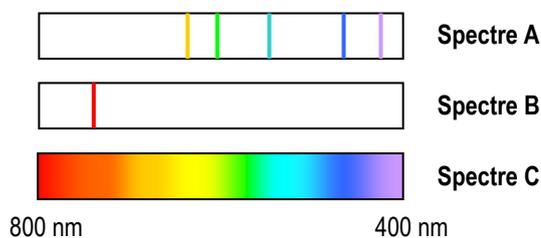


↑ Figure 2 : Décomposition de la lumière

Questions

On décompose la lumière de trois sources primaires à l'aide d'un prisme et d'un écran. On observe alors les spectres de la figure 3.

- a) Préciser pour chaque spectre si la source à son origine est monochromatique ou polychromatique. Justifier.
- b) Sachant que les trois sources utilisées sont un laser, une lampe à vapeur de mercure et une lampe à incandescence, associer à chaque spectre la source qui l'a généré.



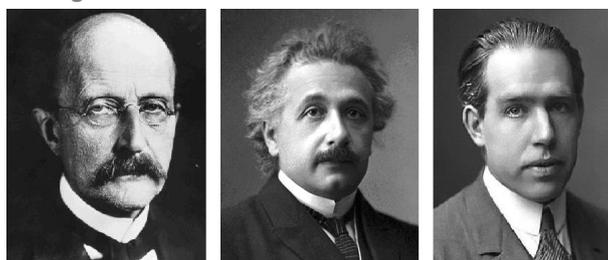
↑ Figure 3

II. L'interaction entre la lumière et la matière

II.1 Introduction

- En 1900, les calculs de *Max Planck*, physicien qui ne croyait pas à l'existence de l'atome, laissent entendre que l'énergie ne peut s'échanger entre la matière et la lumière que par **paquet**.
- En 1905, *Albert Einstein* reprend les idées de Planck et affirme que non seulement les échanges d'énergie entre la lumière et la matière sont quantifiés, mais aussi que **toute lumière est structurée en quanta d'énergie** qu'on appellera plus tard les photons.
- En 1913, *Niels Bohr* comprend que les lois physiques dans l'atome sont complètement différentes des lois de la physique alors connues. Il comprend que les électrons ne peuvent "tourner" autour du noyau d'un atome que sur certaines trajectoires autorisées et que ces électrons peuvent aussi "sauter" d'une trajectoire autorisée à une autre en émettant ou en capturant un quantum d'énergie (photon).

↓ Figure 4 : M. Planck - A. Einstein - N. Bohr



La lumière présente simultanément un caractère ondulatoire (onde électromagnétique) et un caractère corpusculaire (composée de particule d'énergie de masse et de charge nulle). On parle de la dualité onde-corpuscule.

L'énergie E d'un photon est liée à sa fréquence ν (onde électromagnétique) par la relation : $E = h \cdot \nu$ | E en J (joule)
avec h la constante de Planck ($h = 6,63 \cdot 10^{-34} J \cdot s$). | ν en Hz

II.2 Les niveaux d'énergie d'un atome

Comme l'a affirmé Niels Bohr en 1913, l'énergie d'un atome ne peut prendre que certaines valeurs (on parle de valeurs discrètes) car les électrons qu'il contient ne peuvent être présents que sur certaines orbites bien définies.

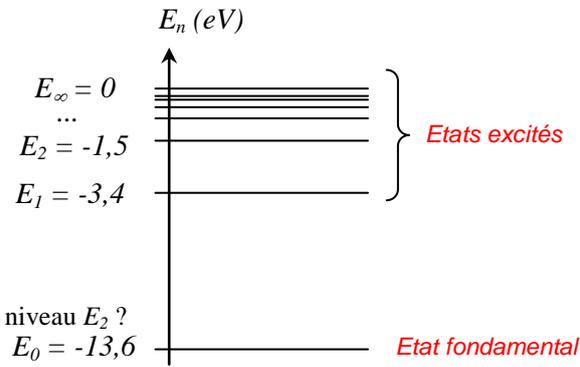
- **Lorsque l'atome est dans son niveau de plus basse énergie, il est dit dans son état fondamental.**
Tous les électrons de l'atome sont dans leur orbite la plus stable.
- **Les autres états d'énergie supérieure sont qualifiés d'états excités.**
Un ou plusieurs électrons de l'atome sont sur une orbite d'énergie potentielle supérieure à leur orbite stable.

Exemple :

L'énergie E de l'atome d'hydrogène dépend de la position de son unique électron sur les orbites permise par la mécanique quantique.

Questions :

- a) Quelle est l'énergie associée à l'état fondamental pour un atome d'hydrogène ?
- b) Combien existe-t-il d'états excités possibles ?
- c) Quelle énergie faut-il apporter à l'atome pour qu'il passe de son niveau E_1 à son niveau E_2 ?
- d) A quoi correspond l'état E_∞ de l'atome ?



↑ Figure 5 : Niveau d'énergie de l'atome H

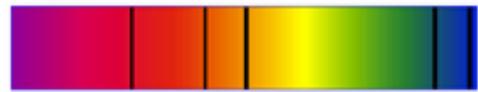
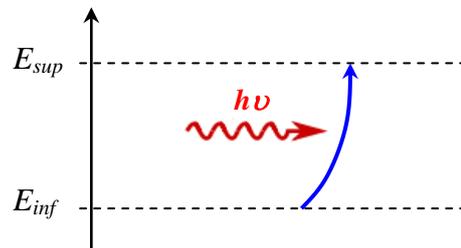
II.3 Les transitions d'énergie dans l'atome

- Absorption de la lumière :

Un photon incident ne peut être absorbé par un atome que si l'énergie $h \cdot \nu$ qu'il possède correspond exactement à une transition énergétique possible de l'atome, sinon le photon n'interfère pas avec l'atome (il continue son chemin...).

L'énergie du photon capté correspond alors à l'énergie gagnée par l'atome qui passe du niveau d'énergie E_{inf} au niveau E_{sup} . Ainsi, la longueur d'onde du photon absorbé est :

$$E = \frac{hc}{\lambda} \Leftrightarrow \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{hc}{E_{sup} - E_{inf}}$$



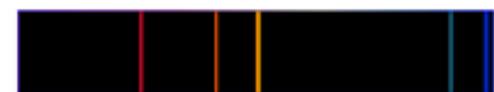
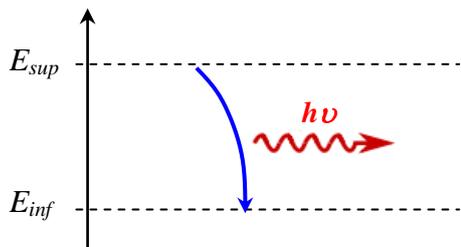
↑ Figure 6 : Spectre de raies d'absorption

Un atome qui se trouve dans un état excité (par décharge électrique, agitation thermique,...) de niveau d'énergie E_{sup} retourne spontanément dans son état fondamental ou dans un état excité de moindre énergie E_{inf} en émettant un photon d'énergie $h \cdot \nu$

L'énergie E de ce photon correspond à l'énergie perdue par l'atome.

Ainsi, la longueur d'onde du photon émis sera :

$$E = \frac{hc}{\lambda} \Leftrightarrow \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{hc}{E_{sup} - E_{inf}}$$



↑ Figure 7 : Spectre de raies d'émission

Comme tous les atomes possèdent des niveaux d'énergie bien définis, ils ne peuvent émettre que certains photons de longueur d'onde bien précise correspondant à une transition énergétique possible de l'atome. Ceci conduit, dans le domaine du visible, à l'observation des raies de couleurs dans le **spectre de raies d'émission**.

Questions :

- a) D'après la figure 5, un photon d'énergie 10,2 eV peut-il être absorbé par un atome d'hydrogène dans son état fondamental ? Justifier.
- b) Même question pour un photon d'énergie 1,8 eV dans un état excité quelconque. Justifier.
- c) Calculer la longueur d'onde d'un photon associé à la transition énergétique d'un atome quelconque passant d'un niveau d'énergie de -7,4 eV à un niveau de -4,2 eV. Ce photon est-il émis ou absorbé par l'atome ? Justifier.

Donnée : 1 eV (électronvolt) = $1,60 \cdot 10^{-19}$ J

III. La lumière des corps chauds

III.1 La loi de Wien

Un corps chaud émet de l'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques. Plus le corps est chaud, plus il peut émettre d'ondes de hautes fréquences (et donc de faibles longueurs d'ondes).

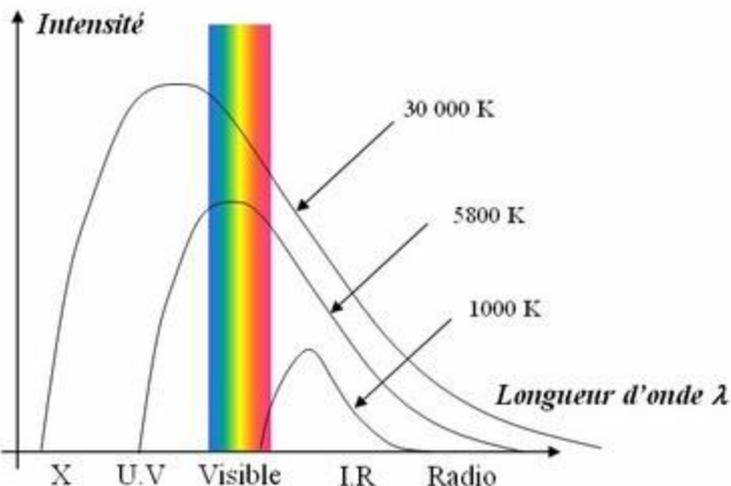
La longueur d'onde notée λ_{max} pour laquelle l'intensité rayonnée est maximale dans le spectre émis par un corps est liée à la température absolue T de ce corps par la loi de Wien :

$$\lambda_{max} \cdot T = 2,89 \cdot 10^6 \quad \left| \begin{array}{l} \lambda \text{ en } m \\ T \text{ en } K \text{ (kelvin)} \end{array} \right.$$

Questions :

- A partir de la loi de Wien, rechercher l'expression donnant la température θ (exprimée en $^{\circ}C$) en fonction de λ_{max} .
- Déterminer la longueur d'onde pour laquelle l'intensité du rayonnement dans le spectre d'un corps à $0^{\circ}C$ est maximale. A quel domaine cette longueur d'onde appartient-elle ?
- Même question pour un corps à $1000 K$. En utilisant la figure 8 expliquer pourquoi ce corps apparaît déjà incandescent.

↓ Figure 8 : Loi de Wilhelm Wien (physicien allemand)

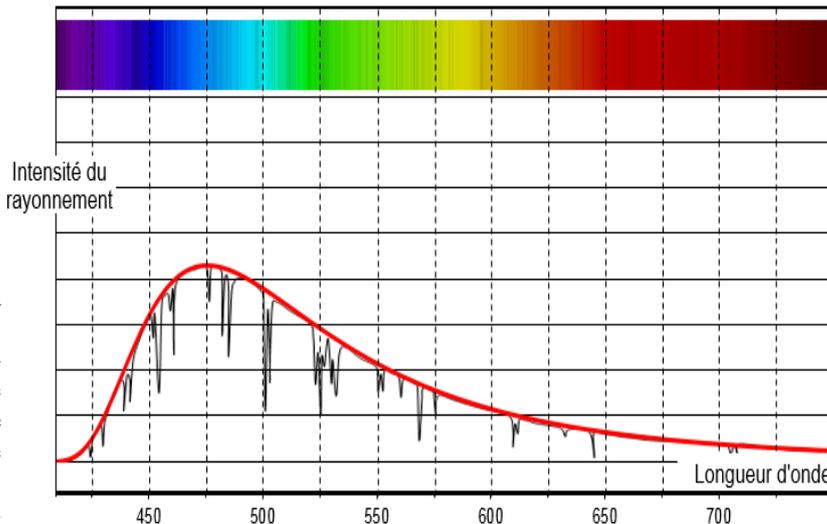


III.2 Le Soleil

On dispose de l'intensité du rayonnement dans le spectre solaire en fonction de la longueur d'onde (courbe noire de la figure 9).

Questions :

- A quoi correspond la courbe rouge ?
- Déterminer alors la température de la **photosphère** solaire.
- Expliquer l'allure très irrégulière de la courbe noire.
- A quelle condition une étoile pourrait-elle avoir une courbe spectrale parfaitement superposable à sa courbe rouge ? Une telle situation est-elle possible ?
- Quelles sont, des géantes bleues et des géantes rouges, les étoiles les plus chaudes en surface ? Justifier.
- La température de surface de l'étoile du pistolet dépasse les $30\,000 K$. Déterminer la longueur d'onde pour laquelle cette étoile émet le plus de lumière. Ce résultat est-il en accord avec la figure 8 ?



↑ Figure 9 : Spectre solaire

A retenir :

Les **raies d'absorption** visibles dans le spectre d'une étoile sont dues aux phénomènes d'émission et d'absorption des photons venant de la photosphère de l'étoile par les atomes des gaz ultra chauds de son atmosphère.

Ces atomes absorbent uniquement certaines longueurs d'ondes (celles qui correspondent aux transitions autorisées) venant de la surface de l'étoile et les réémettent ensuite dans des directions aléatoires. Ainsi, depuis la Terre, ces longueurs d'onde sont très peu lumineuses et correspondent à des raies d'absorption dans le spectre, raies qui dévoilent la composition chimique de l'atmosphère de l'étoile.