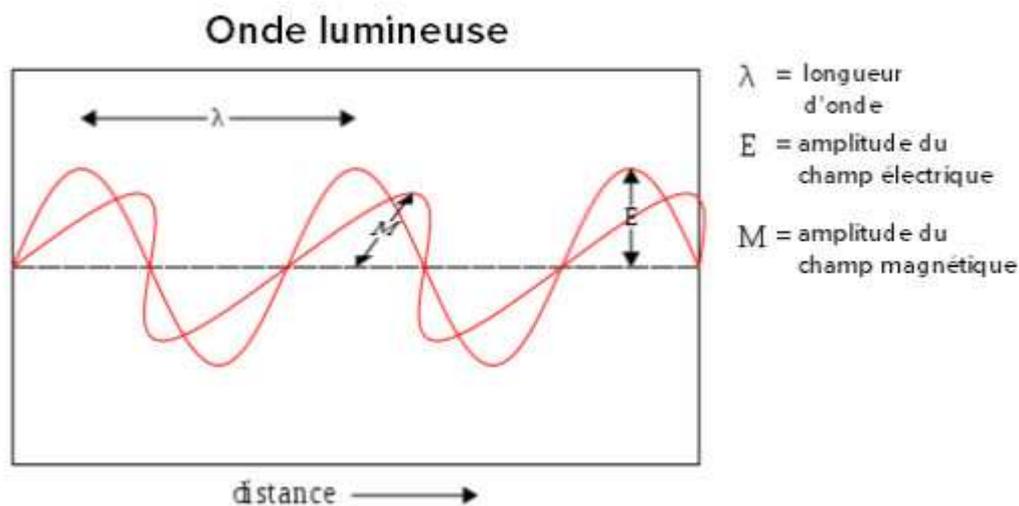


1. INTRODUCTION AUX RAYONNEMENTS ELECTROMAGNETIQUE ET AUX ONDES ELECTROMAGNETIQUES**1.1. Définition**

- Le rayonnement électromagnétique est l'une des nombreuses formes sous lesquelles l'énergie se propage dans l'espace.
- La chaleur d'un feu, la lumière du soleil, les rayons X utilisés en médecine, ainsi que l'énergie utilisée pour cuire les aliments dans un four à micro-ondes sont toutes des formes de rayonnement électromagnétique.
- Bien que ces sources d'énergie semblent très différentes les unes des autres, elles ont toutes en commun le fait de se comporter **comme des ondes**.
- Un bon moyen pour comprendre les ondes est de penser aux vagues de l'océan.
- Une onde est simplement une perturbation d'un milieu physique ou d'un champ consistant en une vibration ou une oscillation.
- La vague de la houle de l'océan, et le creux qui suit invariablement, sont simplement une vibration ou une oscillation de l'eau à la surface de l'océan.
- Les ondes électromagnétiques sont similaires, à ceci près qu'elles sont en fait formées de 2 ondes oscillant perpendiculairement l'une par rapport à l'autre.
- Ces deux ondes sont respectivement des champs électrique et magnétique en oscillation ; elles sont représentées comme suit :

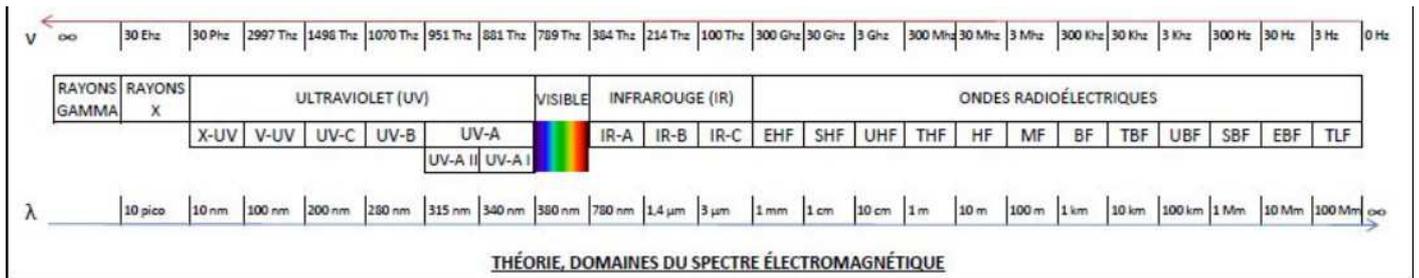


Une onde électromagnétique est formée d'un champ électrique oscillant et d'un champ magnétique oscillant perpendiculairement.

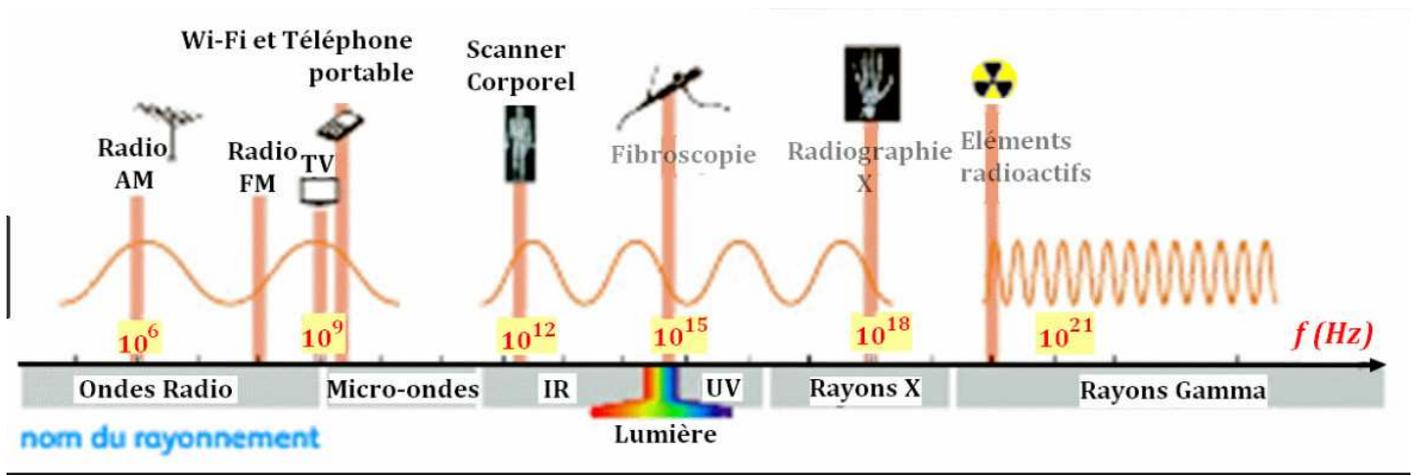
1.2. Le spectre électromagnétique**1.2.1. Définition**

- Les ondes électromagnétiques sont classées et réparties en fonction de leur longueur d'onde ou de leur fréquence ; cette répartition est appelée **spectre électromagnétique**.

- Ce spectre est représenté sur la figure suivante, qui consiste en une bande contenant tous les types de rayonnement électromagnétique qui existent dans l'univers.



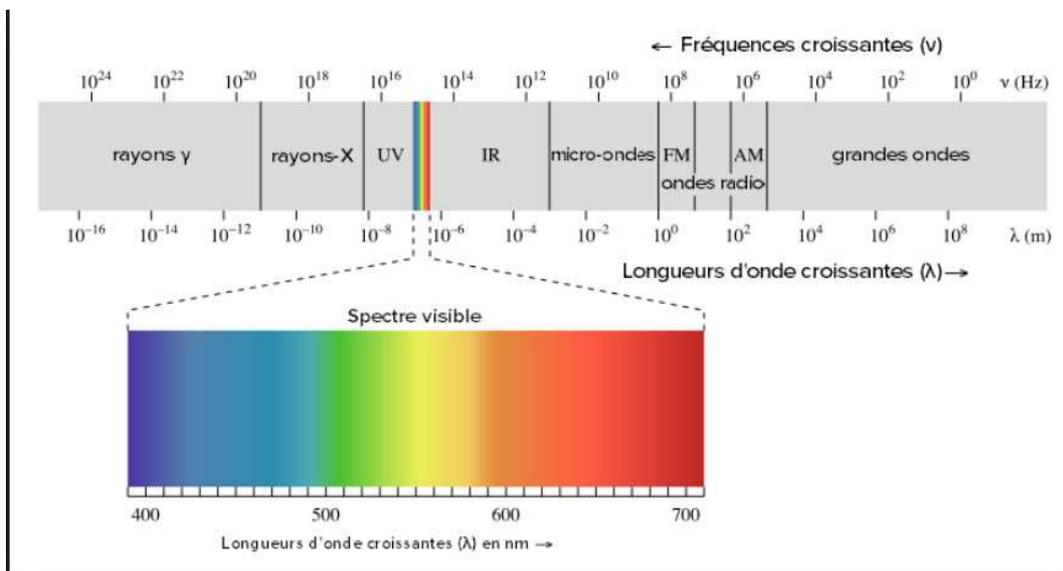
1.2.2. Utilisation du spectre électromagnétique



2. LA LUMIÈRE VISIBLE

2.1. Définition

- Le spectre visible c.à.d. la lumière visible par l'œil humain ne représente qu'une petite partie des différents types de rayonnement existant.
- On cite souvent les 7 couleurs principales du spectre visible : rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo et violet.
- Mais c'est une façon artificielle de découper "en tranches" une infinité de couleurs : le domaine des rayons visibles est en fait une série continue de millions de couleurs différentes



- Le spectre visible est limité par le **bleu à gauche** ($\lambda = 400 \text{ nm}$)
- Et le **rouge à droite** (λ de 700 à 800 nm)

Autres couleurs :

	longueur d'onde (nm)
violet	400 - 420
indigo	420 - 440
bleu	440 - 480
vert	480 - 560
jaune	560 - 580
orange	580 - 620
rouge	620 - 800

2.2. Compléments :

- À droite du spectre visible, se trouvent les énergies qui ont une plus basse fréquence (et donc une plus grande longueur d'onde) que la lumière visible. Ces types d'énergie incluent le rayonnement infrarouge (IR) (le rayonnement de la chaleur émise par les corps thermiques), les micro-ondes, et les ondes radio.

- À gauche du spectre visible se trouvent les rayons ultraviolets (UV), les rayons-X, et les rayons gamma. Ces types de rayonnement sont dangereux pour les organismes vivants, à cause de leur très haute fréquence (et donc de leur très grande énergie). C'est pour cette raison qu'il faut utiliser de la crème solaire à la plage (car elle bloque une partie des rayons UV du soleil), et c'est également pour cette raison que le radiologue à l'hôpital va placer un écran en plomb sur le patient, afin d'éviter que les rayons-X ne pénètrent dans une autre partie du corps que celle qui est radiographiée. Les rayons gamma, qui possèdent la plus haute énergie ou fréquence, sont les plus dangereux. Heureusement, l'atmosphère terrestre absorbe la majeure partie des rayons gamma venant de l'espace, protégeant ainsi les espèces qui vivent sur Terre.

2.3. Source monochromatique

Une source de lumière est monochromatique si le spectre de la lumière qu'elle émet ne présente qu'une seule raie.

Une source de lumière monochromatique est caractérisée par une seule fréquence, donc une seule longueur d'onde dans le vide.



Spectre d'une lumière monochromatique

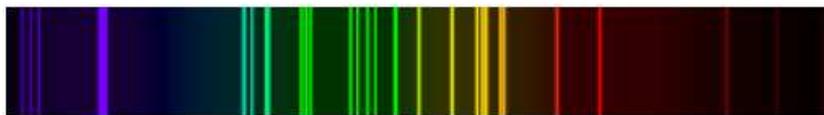
2.4. Source polychromatique

Une source de lumière est polychromatique si le spectre de la lumière qu'elle émet présente plusieurs raies.

Une source de lumière polychromatique est caractérisée par plusieurs fréquences, donc plusieurs longueurs d'onde dans le vide.



Spectre de la lumière émise par une lampe à vapeur de sodium



Spectre de la lumière émise par une lampe à vapeur de mercure

3. ASPECTS ONDULATOIRE ET PARTICULAIRE DE LA LUMIERE

3.1 Comportement ondulatoire de la lumière

- Dans son Traité de la lumière, Christian Huygens (1629-1695) interprète **la lumière comme la propagation d'une onde.**

Deux siècles plus tard, James Clerk Maxwell (1831-1879) introduit la théorie de la propagation des ondes électromagnétiques.

- La lumière devient alors un cas particulier d'ondes électromagnétiques de longueurs d'onde comprises entre 380 et 780 nm.

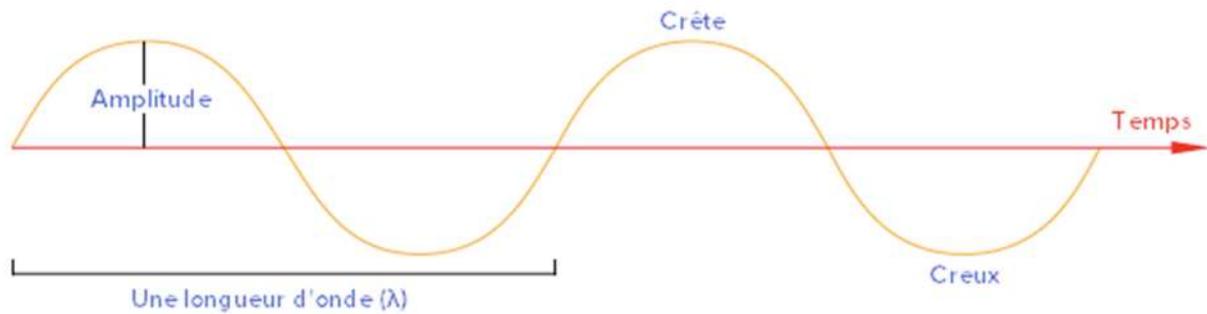
3.1.1 Grandeurs caractéristiques des ondes :

Amplitude et longueur d'onde,

- Une vague, ou une onde, possède un *creux* (point le plus bas) ainsi qu'une *crête* (point le plus haut).

- La **distance verticale entre le sommet de la crête et l'axe central de l'onde est appelée amplitude.** C'est cette grandeur qui caractérise l'intensité de l'onde (la brillance dans le cas d'une onde de lumière visible).

- La **distance horizontale entre deux creux consécutifs (ou crêtes) représente la longueur d'onde de la vague notée λ (la lettre grecque lambda) en mètre**



La fréquence

La fréquence d'une onde électromagnétique est donnée par la relation :

$$v = \frac{c}{\lambda}$$

v (Hz) : La fréquence de l'onde électromagnétique en Hertz (Hz)

c : La vitesse de la lumière ($3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$)

λ : La longueur d'onde en mètre

Remarque :

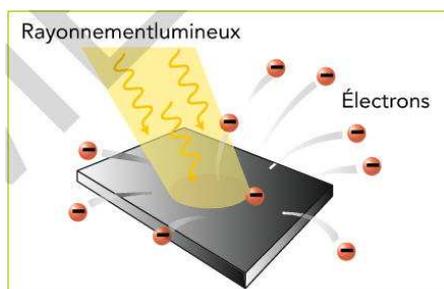
Comme on a aussi la fréquence v qui vaut $\frac{1}{T}$ on a aussi

$$\frac{1}{T} = \frac{c}{\lambda} \text{ c'est-à-dire } \lambda = c \cdot T$$

3.2. Comportement particulaire de la lumière

- Pour Isaac Newton (1643-1727), la lumière est composée de petites particules massiques et rapides. C'est une conception particulaire de la lumière.
- Au début du xx^e siècle, Einstein (1879-1955) propose le modèle du photon, qu'on peut considérer comme une particule transportant un quantum d'énergie.

Certains phénomènes, comme l'effet photoélectrique, sont des manifestations du comportement particulaire de la lumière.



3.3. Dualité onde-particule de la lumière

3.3.1. Définition

La lumière se comporte tantôt comme une onde, tantôt comme une particule : ce sont les conditions de l'expérience qui orientent son comportement. Pour désigner ce double comportement, on utilise l'expression de **dualité onde-particule**.

3.3.2. Le quantum d'énergie

Une onde électromagnétique monochromatique de fréquence ν peut être décrite par des photons qui transportent chacun une énergie ΔE appelée quantum d'énergie et donnée par la relation :

$$\Delta E = h \cdot \nu \text{ ou } \Delta E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

- h : est une constante universelle appelée constante de Planck.
($h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$)
- ν (μ) : La fréquence du photon. En Hertz (Hz). C'est la fréquence de l'onde électromagnétique associée au photon.
- c : Célérité de la lumière (m.s^{-1})
- λ : longueur d'onde (m)

ΔE en Joules ; si ΔE est < 0 , l'atome se « désexcite » en cédant de l'énergie au milieu extérieur

si ΔE est > 0 , l'atome « s'excite » en captant de l'énergie du milieu extérieur

- Le joule étant une unité très grande par rapport à l'énergie des photons, on utilise une unité plus appropriée, l'électronvolt (symbole : eV), dont la valeur en joule est :

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

REMARQUES :

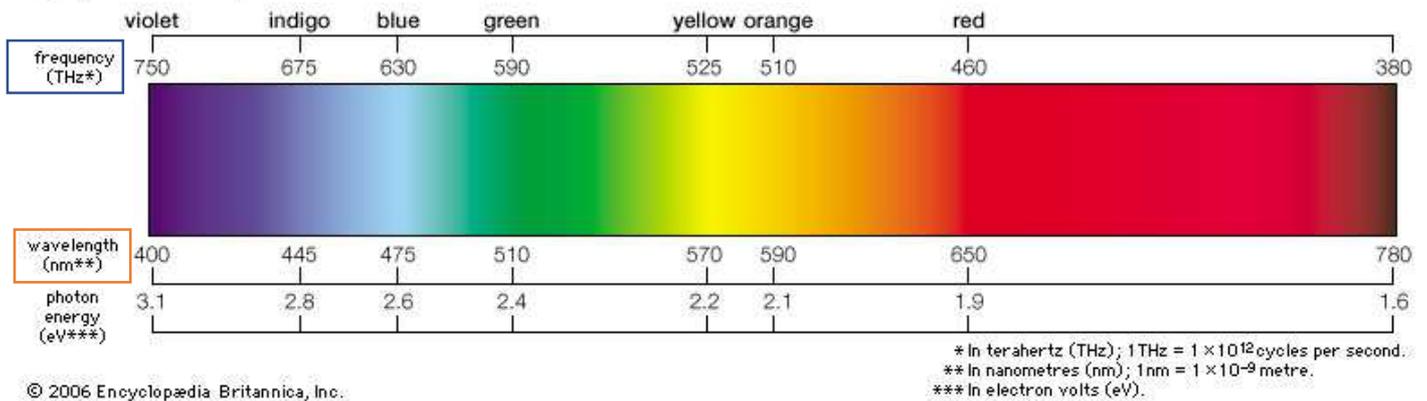
- Pour calculer la longueur d'onde on utilise la relation précédente en mettant des barres de valeurs absolues

$$|\Delta E| = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

Ou alors on laisse « tomber le Δ » pour juste écrire $E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$

- L'énergie d'un photon est d'autant plus grande que la fréquence de l'onde électromagnétique est grande ou que sa longueur d'onde est petite :

Light, the visible spectrum



4. LES NIVEAUX D'ENERGIE DE LA MATIERE

En 1913, **Niels Bohr** introduit l'idée qu'un atome ne peut exister que dans certains états d'énergie bien définis, caractérisés par un niveau d'énergie.

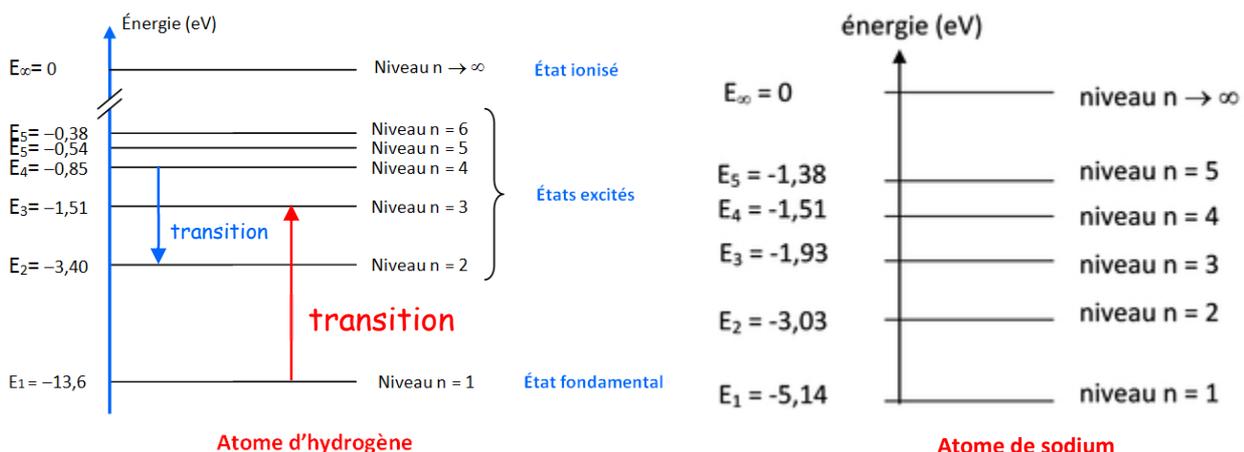
4.1. Définition

- Lorsque les électrons de l'atome sont sur les niveaux d'énergie les plus bas, on dit que l'atome est dans son état fondamental ;
- Lorsque les électrons sont sur des niveaux supérieurs, on dit que l'atome est dans un état excité.

À chaque répartition des électrons sur les couches électroniques, correspond un niveau d'énergie de l'atome : les niveaux d'énergie de l'atome sont quantifiés ; Lorsqu'un électron change de niveau d'énergie, on dit qu'il réalise une transition.

4.2. Exemples :

Diagrammes des niveaux d'énergie des atomes d'hydrogène et de sodium



Remarque :

Le niveau d'énergie $E_{\infty} = 0$ eV correspond à l'état ionisé, l'électron n'est plus attiré par le noyau, il est libéré.

5. DIAGRAMMES DE NIVEAUX D'ENERGIE ET SPECTRES

Le caractère discontinu des spectres d'absorption ou d'émission s'explique par la quantification des niveaux d'énergie :

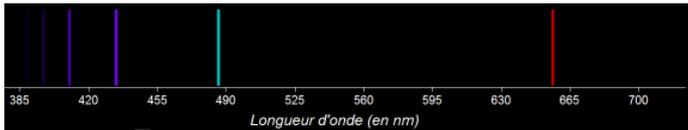


Fig. 1 : Spectre de raies d'émission de l'atome d'hydrogène

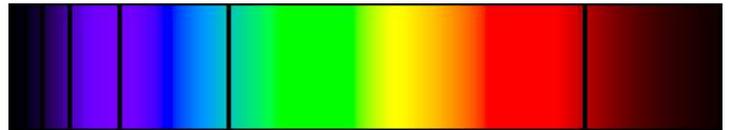


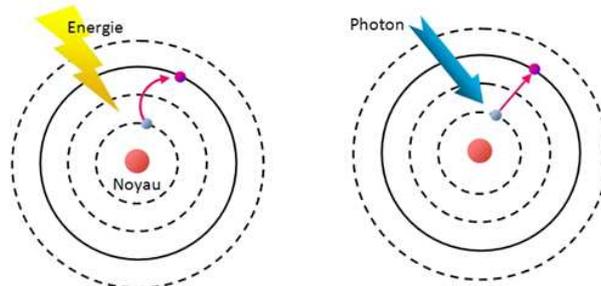
Fig. 2 : Spectre de raies d'absorption de l'atome d'hydrogène

5.1. Absorption de lumière

On peut exciter un atome (par décharge électrique, par chauffage, absorption de lumière, etc.)

il passe alors d'un niveau d'énergie faible (ou de son état fondamental) à un niveau d'énergie plus grand.

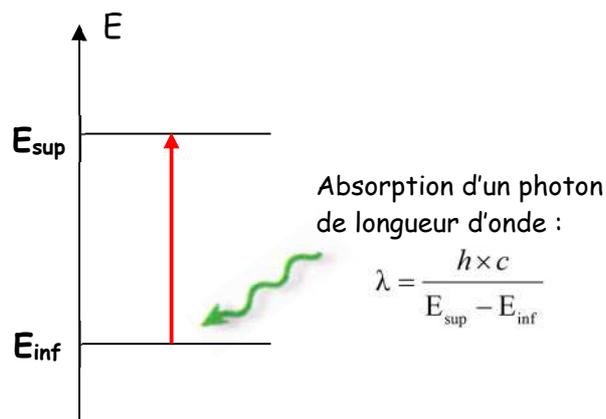
L'électron absorbe alors une quantité d'énergie $\Delta E = E_{sup} - E_{inf}$



Représentation

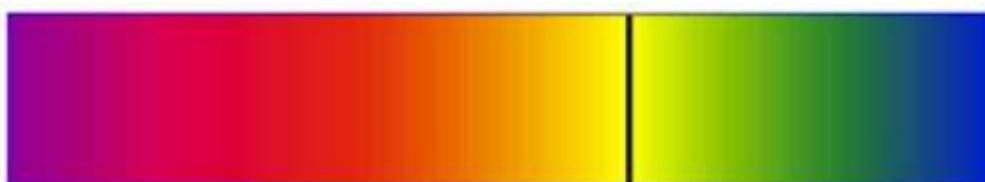
- Un atome dans un état d'énergie E_{inf} peut absorber un photon d'énergie E s'il possède un niveau d'énergie supérieur E_{sup} tel que :

$$E_{sup} - E_{inf} = \Delta E$$



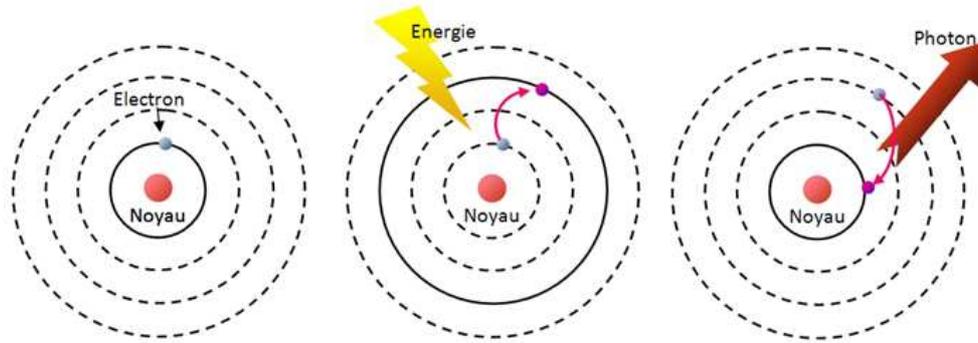
- Dans le **spectre d'absorption** de cet atome, on pourra observer une raie sombre de longueur d'onde :

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E_{sup} - E_{inf}}$$



5.2. Émission de lumière

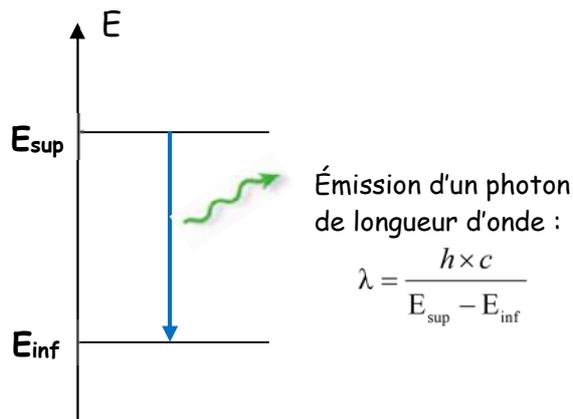
Un atome excité (par décharge électrique, par chauffage, absorption de lumière, etc.) retourne spontanément à son état fondamental ou à un état excité d'énergie plus faible en émettant un photon qui emporte l'énergie $\Delta E = E_{\text{sup}} - E_{\text{inf}}$ cédée par l'atome lors de la transition.



Représentation

- En passant d'un état excité d'énergie E_{sup} à un état d'énergie plus faible E_{inf} , un atome émet un photon d'énergie :

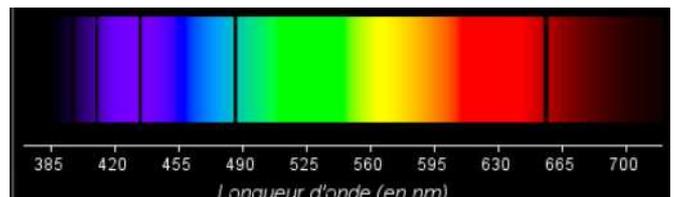
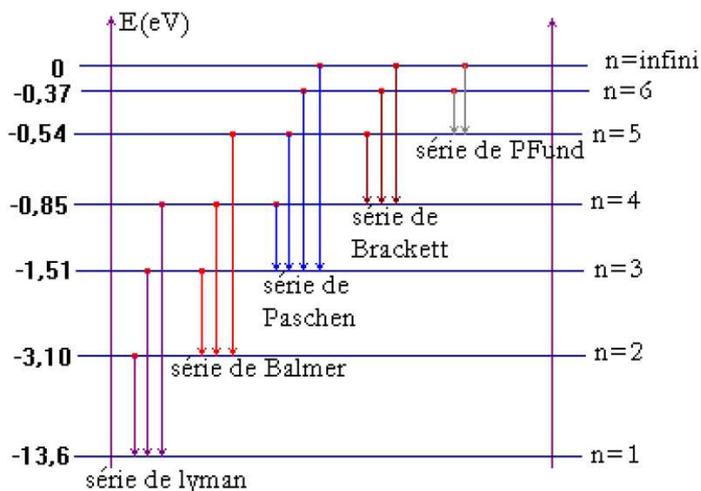
$$\Delta E = E_{\text{sup}} - E_{\text{inf}}$$



- Dans le **spectre d'émission** de l'atome,

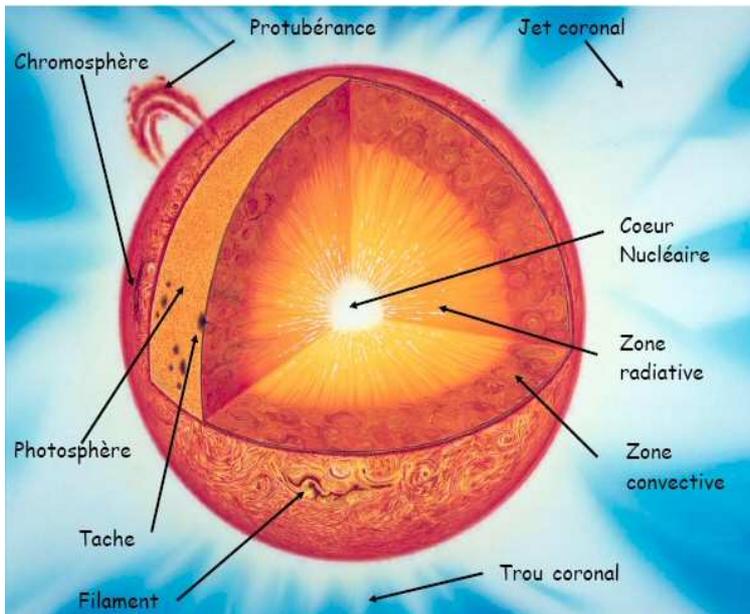
on pourra observer une raie de longueur d'onde : $\lambda = \frac{h \cdot c}{E_{\text{sup}} - E_{\text{inf}}}$

Exemple : l'atome d'hydrogène



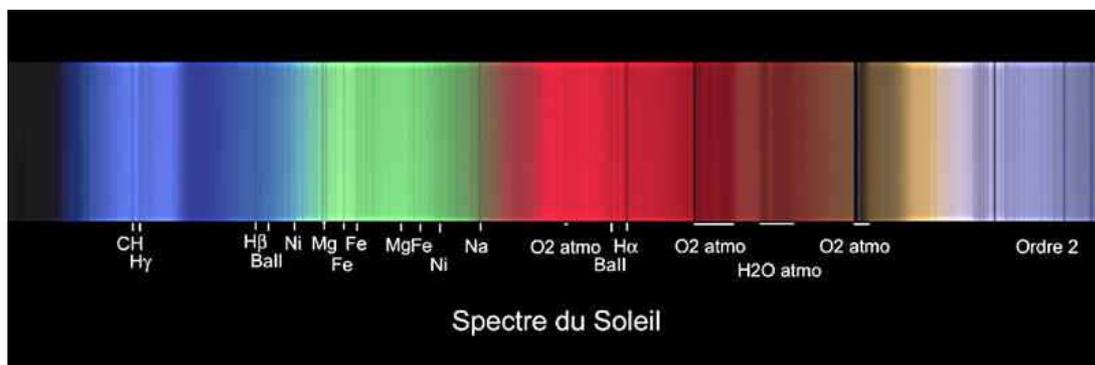
6. LE SPECTRE SOLAIRE

6.1. Caractéristiques du Soleil



6.2. Interprétation du spectre du Soleil

- Le spectre de la lumière émise par le Soleil, d'origine thermique, est continu : le Soleil est assimilable à un corps noir dont la température est de l'ordre de 5800 K (température de la surface du Soleil, la **photosphère**). Le maximum d'émission a lieu à une longueur d'onde dans le vide de $\lambda_{\max} = 500 \text{ nm}$.
- Une étude approfondie du spectre solaire révèle une multitude de raies noires (environ 20 000) correspondant à des absorptions :



Le fond continu du spectre solaire est dû au rayonnement thermique (émis par incandescence) de la photosphère.

Le spectre d'absorption caractérise les éléments chimiques présents dans la chromosphère.