Thème 4 : Ondes et Signaux

Chapitre 6 : Lumière : Onde et particule.

B) Modèles ondulatoire et particulaire de la lumière	
Domaines des ondes électromagnétiques.	Utiliser une échelle de fréquences ou de longueurs d'onde pour identifier un domaine spectral.
Relation entre longueur d'onde, célérité de la lumière et fréquence.	Citer l'ordre de grandeur des fréquences ou des longueurs d'onde des ondes électromagnétiques utilisées dans divers domaines d'application (imagerie médicale, optique visible, signaux wifi, micro-ondes, etc.).
Le photon. Énergie d'un photon.	Utiliser l'expression donnant l'énergie d'un photon.
Description qualitative de l'interaction lumière-matière : absorption et émission.	Exploiter un diagramme de niveaux d'énergie en utilisant les relations $\lambda = c / \nu$ et $\Delta E = h\nu$.
Quantification des niveaux d'énergie des atomes.	*Obtenir le spectre d'une source spectrale et l'interpréter à partir du diagramme de niveaux d'énergie des entités qui la constituent.*

Rappels :

- Le spectre de la lumière blanche est **continu** (obtenu par prisme ou réseau).
- Un objet chaud émet de la lumière et le spectre obtenu est continu.
- Chaque couleur correspond à une **radiation** caractérisée par sa **longueur d'onde** λ (souvent en nm).

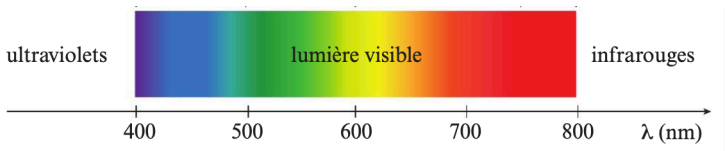


Fig 1 : Spectre de la lumière blanche

- Une espèce chimique excitée peut émettre de la lumière et on a un spectre de raies. Les radiations (λ) émises sont caractéristiques de l'espèce chimique excitée.

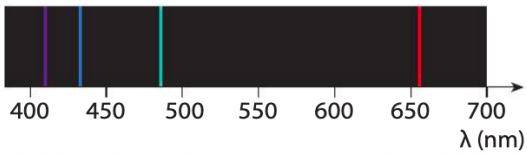
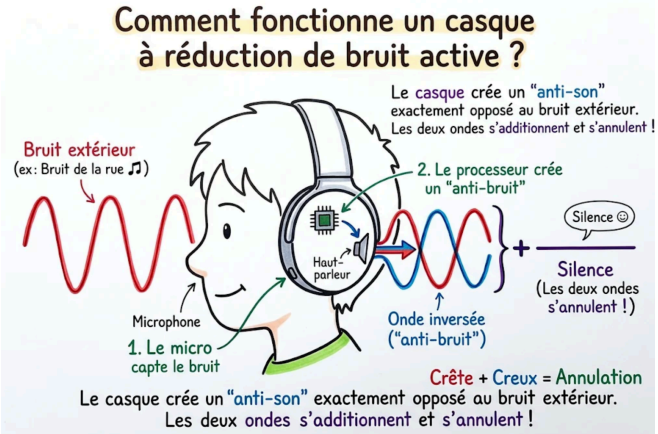


Fig 2 : Spectre d'émission de l'Hydrogène

I. Dualité onde-corpuscule (particule)

La lumière peut se comporter comme une onde (diffraction/interférence) mais également comme un corps (objet, particule). On dit qu'il y a une dualité onde-corpuscule.

Remarque (hors programme) sur les interférences :



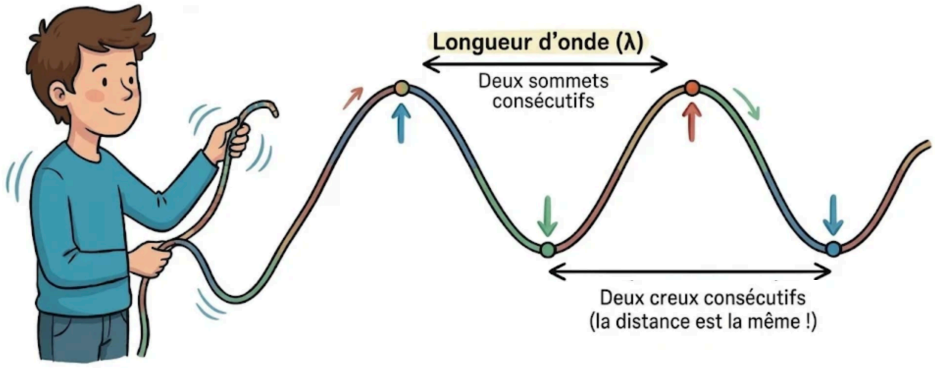
Seules les ondes peuvent interférer.

1. Modèle ondulatoire

- Une onde est la propagation d'une perturbation qui transporte de l'énergie mais pas de matière.
- Une onde est électromagnétique (OEM) si la perturbation est d'origine électrique et magnétique et peut se propager dans le vide.
- Toutes les OEMs ont la même célérité dans le vide (et dans l'air) : $c = 3{,}00.10^8\, m\,.\,s^{-1}$ (c dépend du milieu)
- Comme toutes les ondes périodiques, une OEM est caractérisée par :
  - une période temporelle T en s :
    C'est la plus petite durée au bout de laquelle un point du milieu est dans le même état vibratoire.
  - Période spatiale : Longueur d'onde λ en m.
    C'est la plus petite distance entre deux points du milieu étant dans le même état vibratoire.
    C'est la longueur parcourue par l'onde en une période soit :

Qu'est-ce que la longueur d'onde (λ) ?

C'est la plus petite distance entre deux points du milieu qui vibrent en même temps, de la même façon (on dit qu'ils sont "en phase").



- Périodes spatiale et temporelles sont reliées par : $\lambda = c \times T$ (m ; s ; $m \cdot s^{-1}$)
- La fréquence ν et la période T sont reliées par la relation :

$$\nu = \frac{1}{T}$$

($s^{-1}(Hz)$; s)

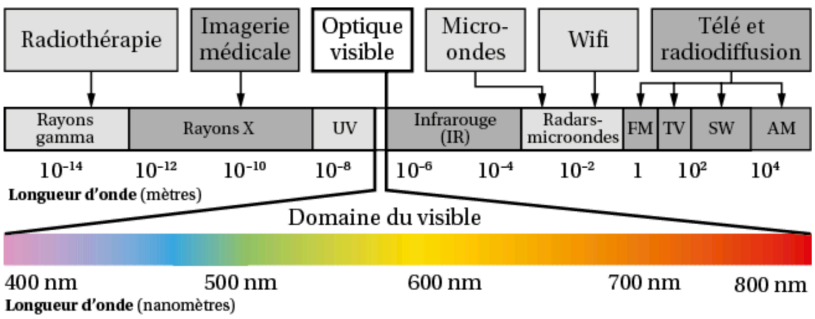
- On a donc :

$$\lambda = c \times T = \frac{c}{\nu}$$

(m ; $m \cdot s^{-1}$; s ; $s^{-1}(Hz)$)

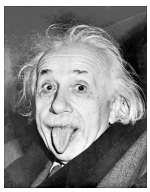
Pour les OEMs au lieu de noter f pour la fréquence on note ν (« nu »)

- En fonction de la valeur de λ, une OEM appartient à un domaine spécifique et correspond à un usage spécifique.



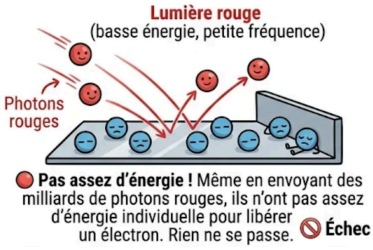
2. Modèle particulaire

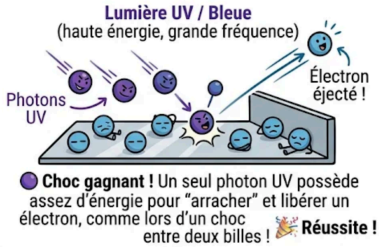
En **1905**, le physicien allemand Albert **Einstein** émet **l'hypothèse** que la lumière peut être décrite non pas comme une onde, mais comme constituée de petites particules de lumière appelées **photons**.



C'est la découverte de l'effet photoélectrique (prix Nobel 1921)

- *On éclaire une plaque de métal (zinc) contenant des électrons. On observe que la lumière peut "arracher" des électrons au métal.*
- *Si la lumière n'était qu'une vague (une onde), il suffirait d'augmenter l'intensité lumineuse (mettre une lampe rouge très puissante) pour arracher des électrons. Or, l'expérience montre que* ***la lumière rouge, même ultra-puissante, n'arrache jamais aucun électron****, alors qu'une faible lumière* ***ultraviolette*** *(ou bleue selon le métal) en arrache instantanément !*
- *Einstein explique que la lumière n'arrive pas comme un flux continu, mais sous forme de "paquets" d'énergie individuels : les* ***photons*** *(comme des petites billes).*





Les **photons** sont les particules constitutives de la lumière. Ils ont une **masse nulle** et se déplacent à la **vitesse** de la **lumière**. Chaque photon porte (véhicule, transporte) une énergie E qui dépend de la fréquence ν de la radiation lumineuse ou de la longueur d'onde λ de la radiation :

Relation de Planck-Einstein $E = h\nu = \frac{h}{T} = \frac{hc}{\lambda}$

hc : $m \cdot s^{-1}$; λ : m ; E : J ; h : $J \cdot s$; ν : Hz

CS différents

$$\lambda = c \times T \Leftrightarrow T = \frac{\lambda}{c} \Leftrightarrow \frac{1}{T} = \frac{c}{\lambda}$$

h est la constante de Planck : $h = 6{,}626.10^{-34} = 6{,}63.10^{-34}\ J \cdot s$

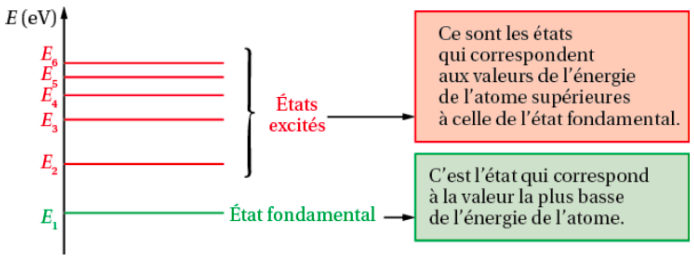
Cette relation, appelée relation de Planck-Einstein, montre la nature à la fois **particulaire** (particule de masse nulle et d'énergie E) et **ondulatoire** (fréquence et longueur d'onde) de la lumière. On parle alors de **dualité onde-particule**.

II. Interaction lumière-matière



1. Modèle quantique de l'atome

- En **1913**, le physicien Danois Niels **Bohr** affirme : « **L'atome ne peut exister que dans certains états d'énergie bien définis** ». Ces niveaux d'énergie correspondent aux répartitions des électrons sur les couches électroniques. Ils sont bien déterminés (ont une certaine valeur). On dit que les niveaux d'énergie sont **quantifiés**.
- Les niveaux d'énergie sont **caractéristiques** d'un atome donné
- Le niveau d'énergie le plus bas d'un atome est appelé « **état fondamental** », les autres « **états excités** ».



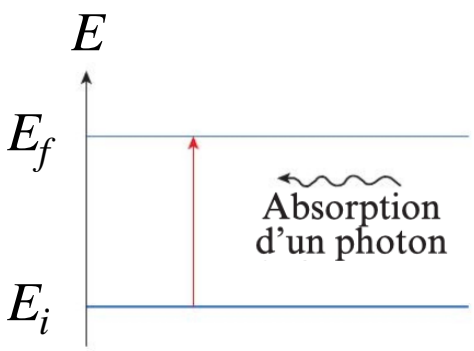
- L'électronvolt (eV) est une autre unité d'énergie adaptée à la mécanique quantique. On a : $1\ eV = 1{,}60.10^{-19}\ J$

C'est l'énergie cinétique d'un électron acquise sous un potentiel de 1V.

2. Transitions électroniques

- Quand un atome passe d'un niveau d'énergie à un autre c'est une **transition**.
- On peut alors exprimer la variation de l'énergie de l'atome ΔE de la façon suivante : $\Delta E = E_{finale} - E_{initiale}$.
- **Absorption** : Si $\Delta E > 0$: l'atome **reçoit** de l'énergie de l'extérieur. L'atome gagne en énergie.

Cette transition peut-être provoquée par **l'absorption** d'un **photon** d'énergie ΔE.



Le photon doit transporter la « bonne » quantité d'énergie (ΔE).

Grâce à la relation de Planck-Einstein on peut déterminer sa fréquence (ou sa longueur d'onde)

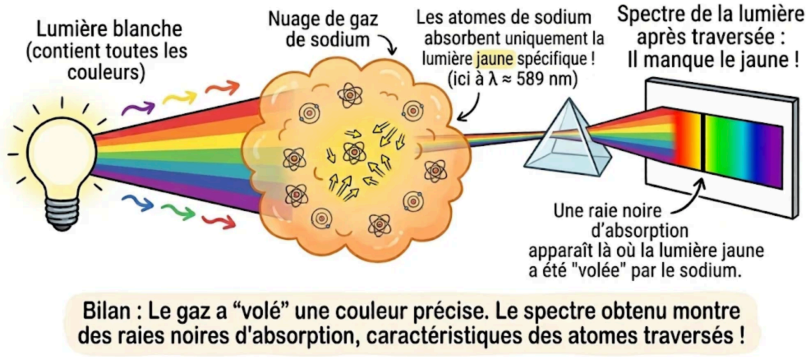
$$\Delta E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Si on connaît ΔE (diagramme), on peut donc calculer λ : $\lambda = \dfrac{hc}{\Delta E}$

Si la longueur d'onde du photon absorbé appartient au domaine du visible ($400\,nm < \lambda < 800\,nm$), alors une raie noire sera présente dans le spectre de la lumière ayant traversé cet atome.

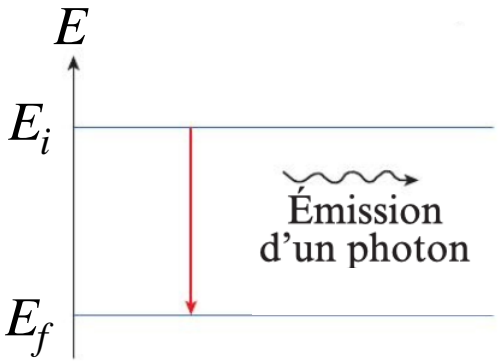
Exemple : Spectre d'absorption de l'atome de sodium





Bilan : Le gaz a "volé" une couleur précise. Le spectre obtenu montre des raies noires d'absorption, caractéristiques des atomes traversés !

ϟ **<u>Émission</u>** : Si un atome est excité, il va se désexciter. Dans ce cas $\Delta E < 0$, l'atome **cède** (perd) de l'énergie. Cette perte d'énergie provoque **l'émission** d'un **photon** d'énergie $|\Delta E|$.



$$|\Delta E| = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\Leftrightarrow$$

$$\lambda = \frac{hc}{|\Delta E|}$$

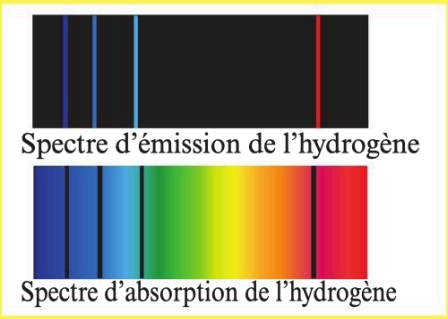
Si $400\,nm < \lambda < 800\,nm$, cette radiation correspond à une raie colorée dans le spectre d'émission de l'atome.

Exemple : Spectre d'émission de l'atome de sodium



ϟ Les radiations émises ou absorbées sont **caractéristiques** d'un atome car elles dépendent des niveaux d'énergie de cet atome.

À noter


Spectre d'émission de l'hydrogène

Spectre d'absorption de l'hydrogène

Les spectres d'émission et d'absorption d'un même atome sont **complémentaires** : si on les superpose, on obtient le spectre complet de la lumière blanche.