

Fiche de cours

Modèles ondulatoire et particulaire de la lumière

L'essentiel du chapitre en deux pages

définitions · lois · méthodes · à savoir par cœur

1 MODÈLE ONDULATOIRE : LA LUMIÈRE EST UNE ONDE

Définition. La lumière est une **onde électromagnétique** : contrairement à une onde mécanique, elle se propage **même dans le vide**, à la célérité $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Elle est caractérisée par sa **fréquence** ν (en Hz), imposée par la source, et par sa **longueur d'onde dans le vide** :

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (\lambda \text{ en m, } \nu \text{ en Hz}).$$

Notation. Le **spectre électromagnétique** se découpe en domaines, des plus énergétiques (petites longueurs d'onde) aux moins énergétiques. Le **visible** s'étend de 400 nm (violet) à 800 nm (rouge).

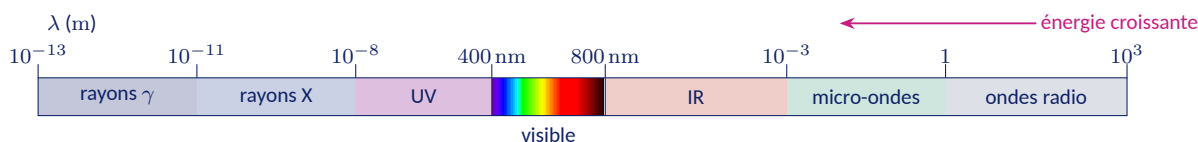


Figure 1 — Domaines du spectre électromagnétique (limites conventionnelles).

2 MODÈLE PARTICULAIRE : LE PHOTON

Définition. La lumière est aussi un flux de **photons**, particules de masse nulle se déplaçant à la célérité c et transportant chacune l'énergie

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \quad h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \text{ (constante de Planck)}.$$

On exprime souvent E en **électronvolts** : $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$, et $hc = 1,24 \times 10^3 \text{ eV}\cdot\text{nm}$ permet le calcul direct $E \text{ (eV)} = \frac{1,24 \times 10^3}{\lambda \text{ (nm)}}$.

Propriété — flux de photons. Une source de puissance lumineuse P émet $N = \frac{P \Delta t}{E}$ photons pendant Δt , soit P/E photons par seconde.

Remarque. Les deux modèles sont **complémentaires** : le modèle ondulatoire décrit la propagation (couleur, diffraction), le modèle particulaire les échanges d'énergie avec la matière (émission, absorption).

3 NIVEAUX D'ÉNERGIE D'UN ATOME, ÉMISSION ET ABSORPTION

Définition. L'énergie d'un atome est **quantifiée** : elle ne peut prendre que certaines valeurs E_n , appelées **niveaux d'énergie**, représentées sur un diagramme. Le niveau le plus bas est l'**état fondamental**, les autres sont des **états excités** ; par convention $E = 0$ pour l'atome ionisé.

Théorème. Lors d'une **transition** entre deux niveaux E_n et E_p , l'atome échange un photon d'énergie exactement égale à l'écart :

$$\Delta E = |E_p - E_n| = h\nu = \frac{hc}{\lambda}.$$

L'atome **émet** un photon en descendant vers un niveau plus bas, il en **absorbe** un en montant. Un photon d'énergie différente n'est pas absorbé.

Propriété. Chaque élément possède ses propres niveaux, donc son propre **spectre de raies** : raies colorées sur fond noir (spectre d'**émission**), raies noires sur fond coloré (spectre d'**absorption**). C'est la signature de l'élément, utilisée pour analyser la composition d'une étoile.

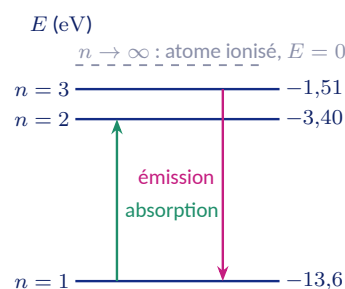


Figure 2 — Niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène, $E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ (eV)}$.

■ **DONNÉES — Valeurs de référence**

$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ • $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ • $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$ • $hc = 1,99 \times 10^{-25} \text{ J}\cdot\text{m} = 1,24 \times 10^3 \text{ eV}\cdot\text{nm}$
 • visible : 400 nm (violet) à 800 nm (rouge) • hydrogène : $E_n = -13,6/n^2 \text{ eV}$.

4 **SAVOIR-FAIRE DU CHAPITRE**► **SAVOIR-FAIRE**

- Identifier le domaine spectral d'une radiation à partir de λ ou de ν , et passer de l'une à l'autre par $\lambda = c/\nu$.
- Calculer l'énergie d'un photon en J et en eV, et le nombre de photons émis par seconde.
- Exploiter un diagramme de niveaux d'énergie : énergie d'une transition, longueur d'onde émise ou absorbée.
- Associer une raie d'un spectre à une transition, et identifier un élément par son spectre de raies.
- Choisir le modèle pertinent (ondulatoire ou particulaire) selon le phénomène étudié.

5 **EXEMPLES TYPES**★ **EXEMPLE — énergie d'un photon**

Laser vert de longueur d'onde $\lambda = 532 \text{ nm}$: $E = \frac{1,24 \times 10^3}{532} = 2,33 \text{ eV}$, soit $E = 2,33 \times 1,60 \times 10^{-19} = 3,73 \times 10^{-19} \text{ J}$.
 Sa fréquence vaut $\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3,00 \times 10^8}{532 \times 10^{-9}} = 5,64 \times 10^{14} \text{ Hz}$.

★ **EXEMPLE — raie d'émission de l'hydrogène**

Transition du niveau $n = 3$ vers le niveau $n = 2$: $\Delta E = |-3,40 - (-1,51)| = 1,89 \text{ eV}$. Le photon émis a pour longueur d'onde $\lambda = \frac{1,24 \times 10^3}{1,89} = 656 \text{ nm}$: c'est la raie rouge du spectre de l'hydrogène.

★ **EXEMPLE — nombre de photons**

Laser rouge $\lambda = 633 \text{ nm}$, de puissance $P = 1,0 \text{ mW}$: $E = \frac{1,24 \times 10^3}{633} = 1,96 \text{ eV} = 3,14 \times 10^{-19} \text{ J}$, donc $N = \frac{P}{E} = \frac{1,0 \times 10^{-3}}{3,14 \times 10^{-19}} = 3,2 \times 10^{15}$ photons par seconde.

★ **EXEMPLE — identifier un domaine spectral**

Un four à micro-ondes émet à la fréquence $\nu = 2,45 \text{ GHz}$: $\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3,00 \times 10^8}{2,45 \times 10^9} = 0,122 \text{ m}$, soit $12,2 \text{ cm}$ — c'est bien le domaine des micro-ondes. L'énergie d'un photon vaut $E = h\nu = 1,62 \times 10^{-24} \text{ J} = 1,0 \times 10^{-5} \text{ eV}$, très inférieure à celle d'un photon visible ($\approx 2 \text{ eV}$).

✗ **PIÈGES**

- Oublier de convertir λ en mètres dans $E = hc/\lambda$: soit tout en SI, soit E en eV avec λ en nm et $hc = 1,24 \times 10^3 \text{ eV}\cdot\text{nm}$.
- Confondre fréquence et longueur d'onde : ν est imposée par la source et ne change pas d'un milieu à l'autre, contrairement à λ .
- Croire qu'une lumière plus intense transporte des photons plus énergétiques : l'intensité fixe le *nombre* de photons, la fréquence leur *énergie*.
- Oublier les signes des niveaux d'énergie ($E_n < 0$) : l'écart ΔE se calcule en valeur absolue et reste positif.
- Croire qu'un atome peut absorber n'importe quel photon : seules les énergies égales à un écart entre deux niveaux conviennent.