

## L'ESSENTIEL À RETENIR

Le vocabulaire à retenir

Les relations à connaître et savoir utiliser

### 1 Modèle ondulatoire de la lumière

Il existe différents domaines d'ondes électromagnétiques définies par leurs fréquences ou leurs longueurs d'onde dans le vide.



La fréquence  $\nu$  et la longueur d'onde dans le vide  $\lambda$  sont liées par la relation suivante :

$$c = \lambda \cdot \nu$$

où  $c$  est la célérité de la lumière dans le vide =  $3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  
 $\lambda$  est la longueur d'onde (en m),  
 $\nu$  est la fréquence (en Hz).

La lumière est une onde électromagnétique appartenant au domaine du visible pour lequel longueur d'onde et fréquence sont comprises dans les intervalles suivants :

$$\lambda : [400 \text{ nm} ; 800 \text{ nm}] \text{ et } \nu : [4 \times 10^{14} \text{ Hz} ; 8 \times 10^{14} \text{ Hz}]$$

### 2 Modèle particulaire de la lumière

La lumière se définit aussi comme étant un déplacement de particules appelées photons.

Une radiation lumineuse de fréquence  $\nu$  et de longueur d'onde dans le vide  $\lambda$  est un ensemble de photons transportant chacun l'énergie donnée par la relation :

la constante de Planck :

$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

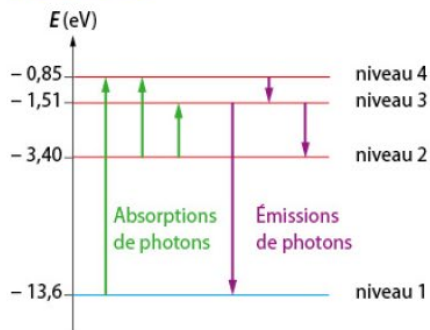
où  $E$  est l'énergie du photon (en J),  
 $\nu$  est la fréquence (en Hz),  
 $\lambda$  est la longueur d'onde (en m),  
 $c$  est la célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

La lumière est à la fois onde et particule. Son aspect ondulatoire ou particulaire se manifeste selon l'expérience réalisée : c'est la dualité onde-particule.

### 3 Interaction lumière-matière

L'énergie d'un atome est quantifiée : elle ne peut prendre que certaines valeurs.

Le diagramme d'énergie d'un atome indique les valeurs d'énergie que peut prendre un atome. Dans son état fondamental, l'atome est à son niveau d'énergie le plus bas. Aux autres niveaux, l'atome est dans un état excité.



Un atome peut absorber un photon si l'énergie du photon correspond au passage d'un niveau d'énergie  $E_i$  à un autre  $E_f$ , tel que :

$$\Delta E = |E_f - E_i| = E_{\text{photon}} = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

On observe alors une raie sombre de longueur d'onde  $\lambda = \frac{hc}{|E_f - E_i|}$  sur le spectre d'absorption de l'atome.



Un atome dans un état excité  $E_i$  retourne dans l'état fondamental ou dans un état excité inférieur  $E_f$  en émettant un photon d'énergie :

$$\Delta E = |E_f - E_i| = E_{\text{photon}} = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

On observe alors une raie colorée de longueur d'onde  $\lambda = \frac{hc}{|E_f - E_i|}$  sur le spectre d'émission de l'atome.



# 1 La lumière et la dualité onde-particule

## La lumière

### Une onde électromagnétique

- Sa célérité dans le vide et dans l'air :

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- Sa fréquence  $\nu$  et sa longueur d'onde  $\lambda$  sont liées par :

$$\lambda \text{ en m} \longrightarrow \lambda = \frac{c}{\nu}$$

$\begin{matrix} \text{c en m} \cdot \text{s}^{-1} \\ \text{v en Hz} \end{matrix}$

### Des photons

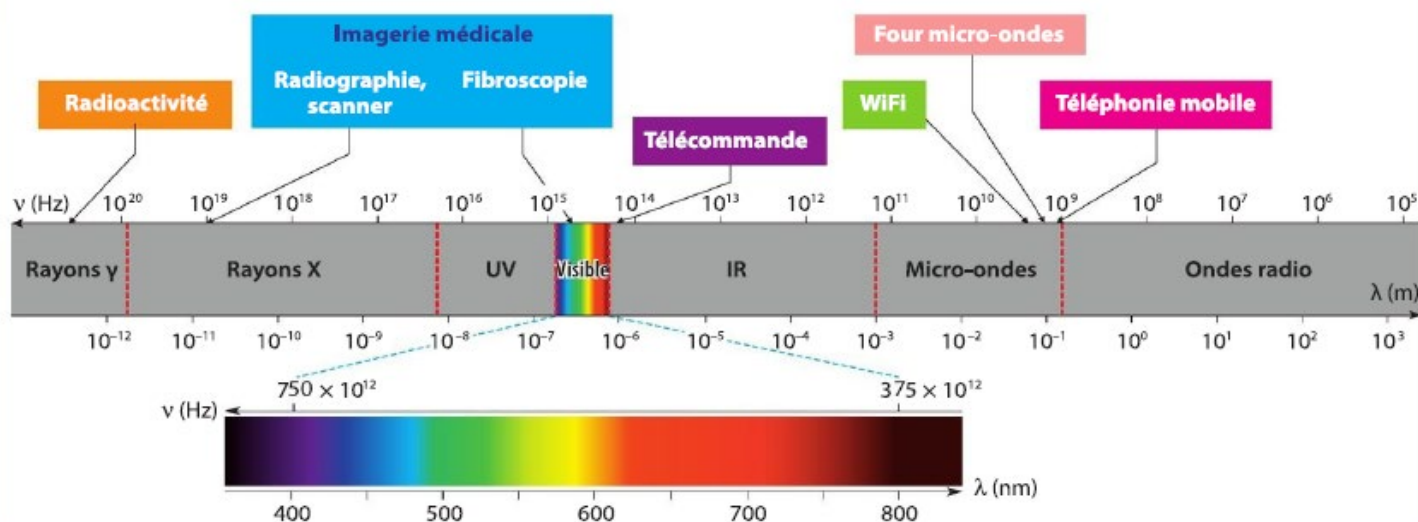
Son quantum d'énergie :

$$\mathcal{E}_{\text{photon}} \text{ en J} \longleftarrow \mathcal{E}_{\text{photon}} = h \times \nu \longleftarrow \nu \text{ en Hz}$$

$\begin{matrix} h \text{ en J} \cdot \text{s} \end{matrix}$

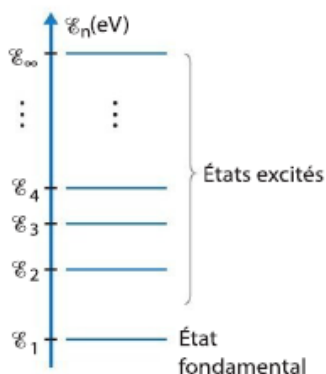
Le photon se déplace dans le vide à la célérité  $c$ .

### Domaine des ondes électromagnétiques



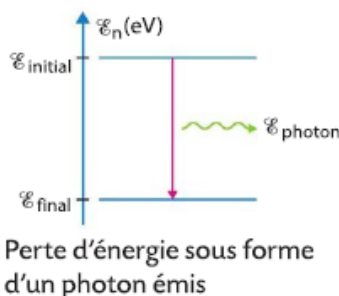
# 2 L'interaction lumière-matière

- Les niveaux d'énergie d'un atome sont **quantifiés**.
- Ils se représentent sur un diagramme de niveaux d'énergie :

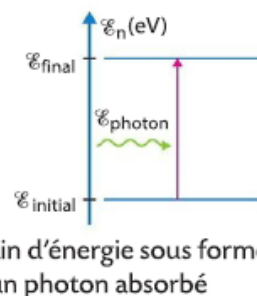


- Au cours d'une transition entre deux niveaux d'énergie :

### Émission de lumière par un atome



### Absorption de lumière par un atome



$$\Delta \mathcal{E} = |\mathcal{E}_{\text{final}} - \mathcal{E}_{\text{initial}}| = \mathcal{E}_{\text{photon}} = h \times \nu = h \times \frac{c}{\lambda}$$

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

## Principales notions

### Modèle ondulatoire

Une onde électromagnétique (OEM) est caractérisée par :

- sa longueur d'onde  $\lambda$  (période spatiale) ;
- sa fréquence  $\nu$  (inverse de la période temporelle  $T$ ).

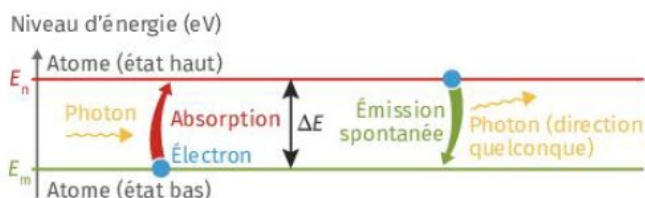
Le spectre électromagnétique peut être divisé en plusieurs domaines. Dans l'ordre croissant des longueurs d'onde, il s'étale du rayonnement  $\gamma$  aux ondes radio.

Le domaine de la lumière visible ne couvre qu'un espace très restreint du spectre des ondes électromagnétiques :  $400 \text{ nm} < \lambda_{\text{visible}} < 800 \text{ nm}$ .

Pour les autres domaines du spectre des OEM, voir **doc. 3** p. 366.

### Modèle particulaire

L'énergie de la lumière est véhiculée par les photons. L'énergie d'un photon est proportionnelle à la fréquence de la radiation associée. Les niveaux d'énergie d'un atome ne possèdent que des valeurs discrètes : ils sont quantifiés.



L'interaction lumière-matière s'effectue suivant des échanges d'énergie quantifiés, proportionnels à la quantité élémentaire (quantum) que possède un photon.

## Les éléments essentiels de la modélisation

### Modèle ondulatoire

Relation entre la longueur d'onde et la fréquence

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

Fréquence  $\nu$  en hertz (Hz) ←  $\nu$  ← Célérité de la lumière (vide)  $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$   
 Longueur d'onde  $\lambda$  en mètre (m) ←  $\lambda$  ←

### Modèle particulaire

Constante de Planck  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

$$E = h \cdot \nu$$

Énergie d'un photon :  $E$  en joule (J) ←  $E$  ← Fréquence  $\nu$  en hertz (Hz)  
 Énergie  $E$  en joule (J) ←  $E$  ←  
 ✓ 1 électron-volt =  $1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

$$E = h \cdot \nu$$

Énergie d'un photon :  $E = h \cdot \nu$   
 ||  
 Énergie de l'atome :  $|\Delta E| = |E_p - E_m|$

### Échange d'énergie matière-rayonnement

$$|\Delta E| = |E_p - E_m| = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Énergie  $E$  en joule (J) ←  $E$  ← Célérité de la lumière (vide)  $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$   
 Constante de Planck  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$  ←  $h$  ←  
 Longueur d'onde  $\lambda$  en mètre (m) ←  $\lambda$  ←

## Les limites de la modélisation

Il existe deux modèles de description de la lumière : ondulatoire et particulaire. Suivant la situation, on utilise l'un ou l'autre. Il s'agit de la dualité onde-particule.

### Le modèle ondulatoire permet d'expliquer :

- la propagation des ondes (seconde) ;
- les phénomènes de réfraction et réflexion de la lumière, les phénomènes de diffraction et d'interférence.

### Mais il ne permet pas d'expliquer :

- les interactions de faible énergie avec la matière au niveau atomique, comme l'effet photoélectrique.

### Le modèle particulaire ne permet pas d'expliquer :

- la propagation des ondes (seconde) ;
- les phénomènes de réfraction et réflexion de la lumière, les phénomènes de diffraction et d'interférences.

### Mais il permet d'expliquer :

- les interactions de faible énergie avec la matière au niveau atomique, comme l'effet photoélectrique.

### 14 Télécommande

Des télécommandes utilisent des ondes électromagnétiques de fréquence  $3,2 \times 10^{14}$  Hz.

- Calculer la longueur d'onde dans le vide correspondante.
- À quel domaine d'ondes électromagnétiques appartiennent ces ondes ?
  - Ces ondes sont-elles visibles ?
- On réalise l'expérience représentée ci-dessous avec l'appareil photographique d'un téléphone portable.



Sans appuyer



En appuyant sur une touche

Pourquoi peut-on dire que cette expérience permet de voir un rayonnement invisible ?

### 15 Radio

Pour écouter une radio FM, on doit utiliser une antenne « quart-d'onde ». C'est une antenne qui a la taille du quart de la longueur d'onde. Les fréquences radio FM sont comprises entre 87 et 108 MHz.



- Donner l'ordre de grandeur des fréquences radio FM.
- À quel domaine d'ondes électromagnétiques appartiennent ces ondes ?
- Calculer les deux tailles limites de l'antenne.

### 24 Atome d'hydrogène

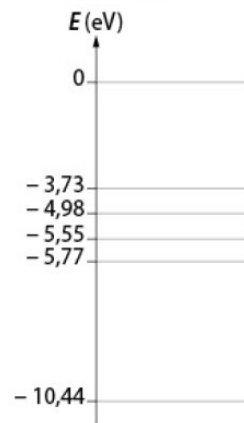
On peut calculer les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène avec la formule suivante :  $E_n = -13,6/n^2$  où  $E_n$  est en eV et  $n$  est un entier positif  $\geq 1$ .

- Calculer l'énergie des 5 premiers niveaux et les disposer sur un diagramme d'énergie.
- Quel est l'énergie de l'atome d'hydrogène dans son état fondamental ?
- Quelle énergie doit posséder un photon pour que l'atome, en l'absorbant, passe de son état fondamental au deuxième état excité ?
  - Représenter schématiquement l'absorption de ce photon.
  - Calculer la longueur d'onde du photon absorbé.

### 20 Mercure

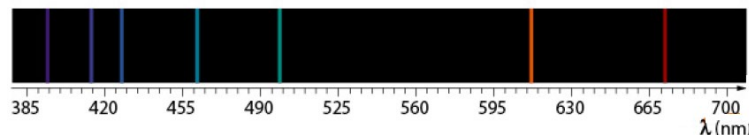
Les lampes à vapeur de mercure émettent une lumière bleutée. On trouve le document ci-dessous à propos de l'atome de mercure.

- Comment appelle-t-on cette figure ?
- Pourquoi peut-on affirmer que l'énergie de l'atome de mercure est quantifiée ?
- Quelle est la valeur de l'énergie de l'atome de mercure dans son état fondamental ?
  - Citer une valeur d'énergie qui correspond à un état excité de l'atome de mercure.
- L'atome de mercure peut-il avoir une énergie de  $-6,5$  eV ? Justifier.
- L'atome de mercure peut-il absorber un photon d'énergie 10 eV ?



### 27 Raie d'émission du lithium

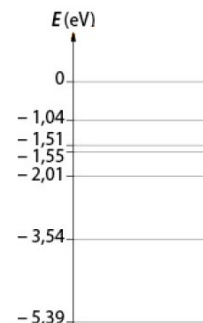
On obtient le spectre ci-dessous en décomposant la lumière émise par une lampe à vapeur de lithium.



On souhaite expliquer la présence des différentes raies colorées à partir du diagramme d'énergie de l'atome de lithium représenté ci-contre.

Données :  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  ;  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$   
 $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

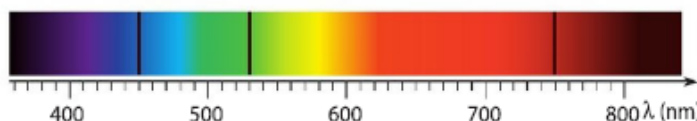
- Déterminer, en joule, l'énergie du photon émis lorsque l'atome de lithium passe du premier état excité à l'état fondamental.
- Calculer la longueur d'onde associée.
- Identifier la raie correspondante sur le spectre en estimant l'incertitude-type sur la mesure.



### 13 Calculer une énergie à partir d'un spectre

Effectuer des calculs.

Le spectre d'absorption d'une entité chimique comporte trois raies de longueurs d'onde de 450 nm, 530 nm et 750 nm.



- Calculer, en joule et en électronvolt, l'énergie de la transition correspondant à la raie noire présente dans le rouge.

Données

$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

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

14 1.  $\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3,00 \times 10^8}{3,2 \times 10^{14}} = 9,4 \times 10^{-7} \text{ m.}$

2. a. Ces ondes appartiennent au domaine des infrarouges.

b. Ces ondes ne sont pas visibles car elles n'appartiennent pas au domaine du visible.

3. Le capteur de l'appareil photo du téléphone portable permet de voir le rayonnement infra-rouges qui n'est pas visible à l'œil nu.

15 1. L'ordre de grandeur des fréquences des ondes est 87 et 110 MHz  $\approx 100 \text{ MHz} = 10^8 \text{ Hz.}$

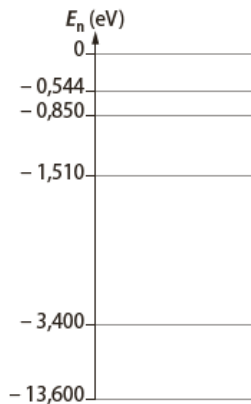
2. Ces ondes appartiennent au domaine des ondes hertziennes.

3. Pour  $\nu_1 = 87 \text{ MHz}$ ,  $\lambda_1 = \frac{c}{\nu_1} = \frac{3,00 \times 10^8}{87 \times 10^6} = 3,4 \text{ m}$  et  $\ell_1 = \frac{\lambda_1}{4} = 0,85 \text{ m.}$

Pour  $\nu_2 = 110 \text{ MHz}$ ,  $\lambda_2 = \frac{c}{\nu_2} = \frac{3,00 \times 10^8}{110 \times 10^6} = 2,7 \text{ m}$  et  $\ell_2 = \frac{\lambda_2}{4} = 0,68 \text{ m.}$

La taille des antennes est comprise entre 68 et 85 cm.

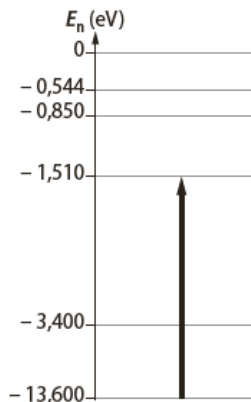
24 1. Voir schéma.



2. Dans l'état fondamental, l'énergie vaut 13,6 eV.

3. a.  $\Delta E = 13,6 - 1,51 = 12,1 \text{ eV.}$

b. Voir schéma.



$c \cdot \lambda = \frac{hc}{\Delta E}$  avec  $\Delta E = 12,1 \times 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$  ;  $\lambda = 103 \text{ nm.}$

20 1. Il s'agit d'un diagramme d'énergie.

2. L'énergie de l'atome de mercure est quantifiée car elle ne peut prendre que certaines valeurs : celles indiquées sur le diagramme.

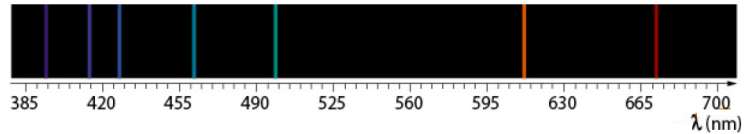
3. a. L'énergie de l'atome de mercure dans son état fondamental est - 10,44 eV.

b. On peut citer le niveau d'énergie à 5,77 eV.

4. L'atome de mercure ne peut pas avoir une énergie de 6,5 eV car cette valeur n'est pas indiquée sur le diagramme d'énergie de l'atome de mercure.

5. L'atome de mercure ne peut pas absorber un photon d'énergie 10 eV car il n'y a pas de niveaux d'énergie séparés de 10 eV.

27 Raie d'émission du lithium



1. L'état fondamental correspond à l'énergie la plus basse donc  $E_f = - 5,39 \text{ eV.}$  Le premier état excité est le premier niveau au-dessus de l'état fondamental : il a une énergie de  $E_i = - 3,54 \text{ eV.}$

L'énergie du photon est :  $E_{\text{photon}} = |E_f - E_i| = |- 5,39 - (- 3,54)| = 1,85 \text{ eV.}$  Or  $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$  donc  $E_{\text{photon}} = 1,85 \times 1,60 \times 10^{-19} = 2,96 \times 10^{-19} \text{ J.}$

2.  $\lambda = \frac{hc}{E_{\text{photon}}} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{2,96 \times 10^{-19}} ; \lambda = 6,72 \times 10^{-7} \text{ m.}$

3.  $\lambda = 6,72 \times 10^{-7} \text{ m} = 672 \text{ nm.}$

La raie du spectre qui a la longueur :  $670 \text{ nm} \leq \lambda_{\text{rouge}} \leq 674 \text{ nm.}$

Le milieu de cet intervalle correspond au meilleur estimateur de la grandeur mesurée :  $\lambda_{\text{rouge}} = 672 \text{ nm.}$

La demi-largeur de l'intervalle définit, en première approximation, un estimateur de l'incertitude-type :  $u_{\lambda_{\text{rouge}}} = 2 \text{ nm.}$

Aux incertitudes de mesures près, la raie correspondant à la transition d'énergie étudiée est la raie rouge sur le spectre.

13 Calculer une énergie à partir d'un spectre

La raie noire dans le rouge correspond à une longueur d'onde de 750 nm.

L'énergie de cette transition vaut  $\mathcal{E}_{\text{photon}} = \frac{h \times c}{\lambda}$

$\mathcal{E}_{\text{photon}} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \times 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}}{750 \times 10^{-9} \text{ m}}$

$\mathcal{E}_{\text{photon}} = 2,65 \times 10^{-19} \text{ J}$  soit 1,66 eV.

