

Ch.P1 Ondes électromagnétiques - spectroscopie

Dans ce chapitre

I. Modèle ondulatoire de la lumière	2
I.1. Structure d'une onde électromagnétique	2
I.2. Modèle de l'onde plane	2
I.3. Grandeurs caractéristiques d'une onde électromagnétique	2
I.4. Relations entre les grandeurs	3
I.5. Spectre électromagnétique	3
I.6. Diffusion et diffraction	3
II. Sources lumineuses	4
II.1. Spectre d'une source lumineuse	4
II.2. Sources continues	4
II.3. Sources discontinues	4
II.4. Laser	5
III. Spectroscopie	5
III.1. Énergie d'un photon	5
III.2. Niveaux d'énergie de l'atome	6

I. Modèle ondulatoire de la lumière

I.1. Structure d'une onde électromagnétique

Définition : onde électromagnétique

Une onde électromagnétique consiste en des oscillations couplées d'un **champ électrique** $\vec{E}$ et d'un **champ magnétique** $\vec{B}$, dont les amplitudes varient de façon sinusoïdale au cours du temps.

L'amplitude de chaque champ varie à la fois dans le temps et dans l'espace. On peut exprimer les amplitudes par :

$$E = E_0 \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda}(z - ct)$$

$$B = B_0 \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda}(z - ct)$$

(pour une propagation selon l'axe z)

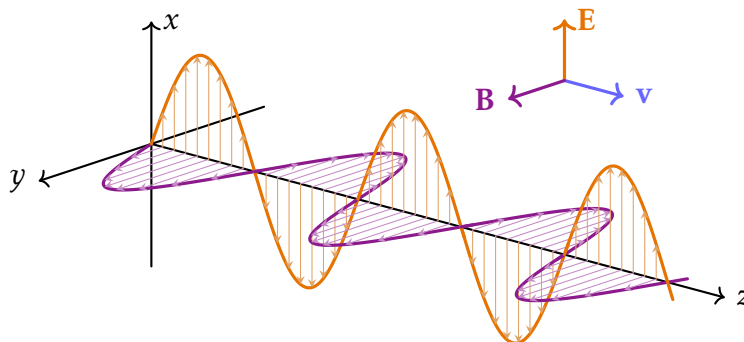


FIG. 1 – Schéma d'une onde électromagnétique. L'axe z est l'axe de propagation de l'onde (crédits : I. Neutelings). [animation en ligne](#).

$\vec{E}$ et $\vec{B}$ sont tous les deux perpendiculaires à la direction de propagation : il s'agit d'une onde *transverse*.

I.2. Modèle de l'onde plane

Autour d'une source d'onde électromagnétique, les points où les vecteurs ont la même amplitude et la même phase se trouvent disposés sur des surfaces sphériques.

Plus on s'éloigne de la source, plus ces surfaces ressemblent à des **plans**. Dans le **modèle de l'onde plane**, on suppose l'onde suffisamment éloignée de sa source pour considérer que l'onde est plane.

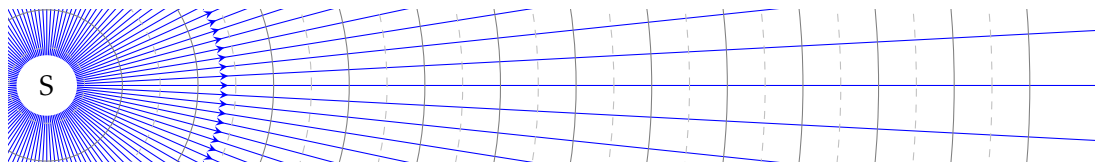


FIG. 2 – Aplanissement des ondes sphériques à mesure qu'on s'éloigne de la source (Crédits : J. Roussel).

I.3. Grandeurs caractéristiques d'une onde électromagnétique

longueur d'onde. (λ) distance entre deux maxima consécutifs de l'onde. Unité SI : le mètre (m)

célérité. (c) vitesse de propagation de l'onde. Unité SI : $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. Dans le vide : $c \simeq 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

fréquence. (ν) nombre de vibrations par seconde. Unité SI : le hertz (Hz).

période. (T) durée séparant deux vibrations consécutives. Unité SI : la seconde (s).

I.4. Relations entre les grandeurs

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

$$\lambda = c \times T$$

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

La fréquence est **inversement proportionnelle** à la période.

La longueur d'onde est **proportionnelle** à la période, et **inversement proportionnelle** à la fréquence.

I.5. Spectre électromagnétique

On sépare les ondes électromagnétiques en différents *domaines*. Ces derniers se distinguent par :

- leur gamme de fréquence (et de longueur d'onde);
- le mode de production des ondes électromagnétiques;
- leurs propriétés, notamment les modes d'interactions avec la matière.

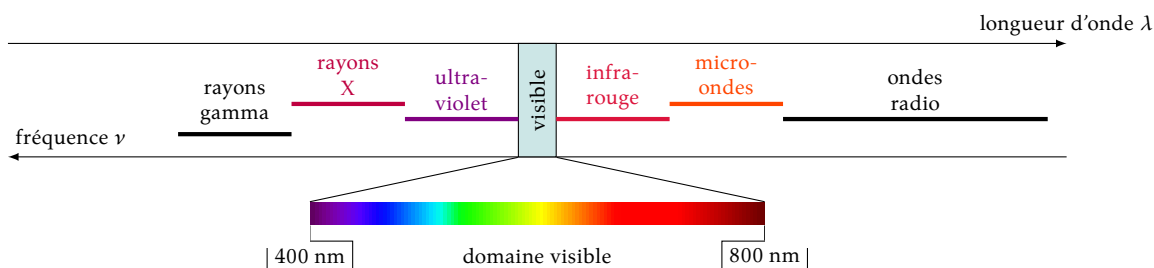
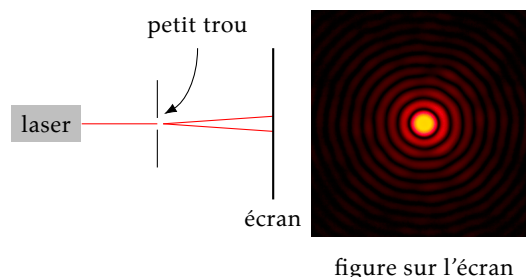
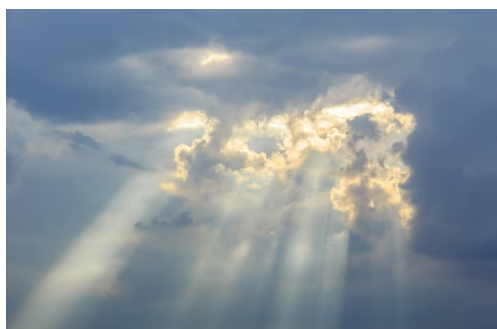


FIG. 3 – Les principaux domaines du spectre électromagnétique. Les axes de longueur d'onde et de fréquence évoluent en sens inverse.

I.6. Diffusion et diffraction

La diffusion et la diffraction sont deux phénomènes optiques ayant pour point commun un **étalement de la lumière dans plusieurs directions**. Il faut cependant savoir distinguer ces deux phénomènes.



(a) Diffusion de la lumière par les gouttelettes d'eau en suspension dans l'air.

(b) Diffraction par un petit trou circulaire. La figure présente des zones lumineuses et des zones sombres.

FIG. 4 – Diffusion et diffraction.

Diffusion. La lumière est émise **dans toutes les directions**.

Diffraction. La lumière n'est émise que **dans certaines directions**, après avoir franchi **un obstacle**. Plus cet obstacle est de faible dimension, plus le phénomène est marqué.

II. Sources lumineuses

II.1. Spectre d'une source lumineuse

Pour observer le spectre d'une source lumineuse, on réalise un montage comme celui ci-contre.

La source à étudier est située à l'avant d'une fente permettant d'obtenir un pinceau lumineux assez fin.

La lumière est alors **dispersée (décomposée)** grâce à un **prisme** ou à un **réseau de diffraction**. Elle est projetée sur un écran ou un capteur.

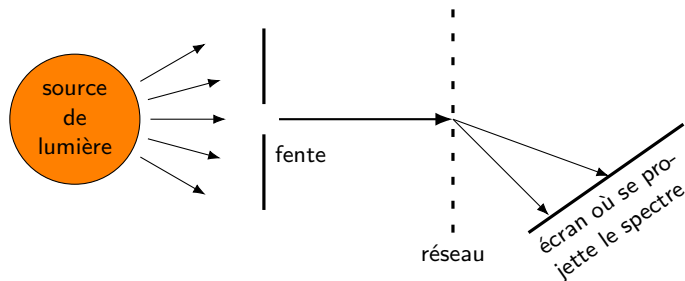
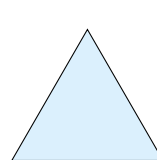


FIG. 5 – Montage d'observation d'un spectre d'émission. La lumière observée sur l'écran constitue **le spectre de la source lumineuse**.

Le **prisme** est un **triangle de verre** ; il dévie la lumière qui le traverse, et la **disperse en plusieurs longueurs d'onde**.

Le **réseau** est un film transparent marqué de fines rayures rectilignes et parallèles. Il disperse la lumière qui le traverse.



un prisme



un réseau

II.2. Sources continues

Les corps portés à très haute température produisent un **spectre continu**, dans le sens où les longueurs d'onde se succèdent **sans interruption** (dégradé de couleurs).

Ex. : Le Soleil, une ampoule à incandescence.

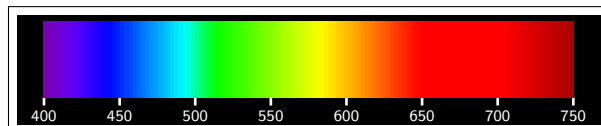


FIG. 6 – Spectre continu d'un corps chaud. C'est un spectre **polychromatique**, car constitué de plusieurs longueurs d'onde.

II.3. Sources discontinues

Des **lampes spectrales** contiennent un **gaz monoatomique** sous faible pression.

Traversé par une décharge électrique, le gaz émet un rayonnement à certaines longueurs d'onde spécifiques (raies colorées).

La position et le nombre de raies colorées dépendent de la structure interne de l'atome émetteur ; par conséquent, le spectre de raies d'émission est une **signature caractéristique** d'un élément chimique.

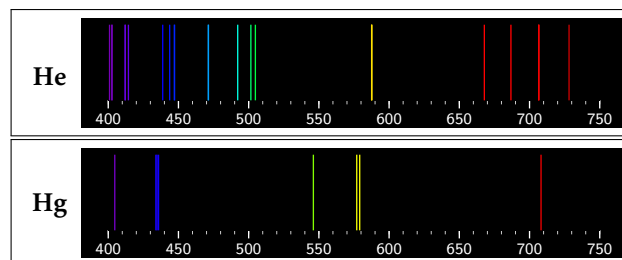
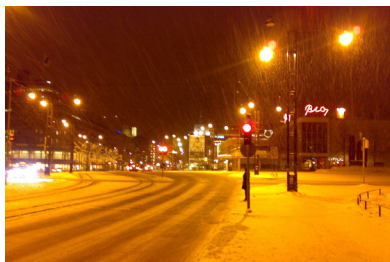


FIG. 7 – Spectres discontinus (spectres de raies) respectivement de l'hélium et du mercure. Ils sont **polychromatiques**.



(a) Helsinki



(b) Tokyo

FIG. 8 – Les lampes spectrales sont très utilisées dans l'éclairage urbain, pour leur robustesse et leur faible consommation électrique.
orange : sodium
bleu : mercure.

II.4. Laser

Les lasers émettent une lumière constituée d'une seule longueur d'onde : ce sont des sources **monochromatiques**.

D'autre part, la lumière des lasers est très **directionnelle** : le faisceau dévie très peu en se propageant.

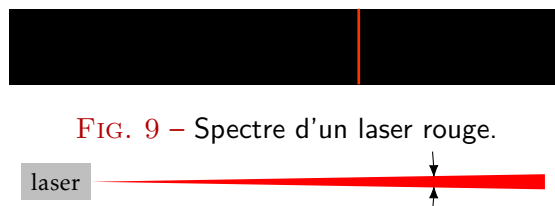


FIG. 9 – Spectre d'un laser rouge.

III. Spectroscopie

III.1. Énergie d'un photon

Pour expliquer certains phénomènes lumineux, il faut considérer que la lumière se propage sous forme de **photons**, chacun transportant une quantité d'énergie donnée par

$$E_{\text{ph.}} = h \cdot \nu$$

$$E_{\text{ph.}} = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

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

ν : fréquence de l'onde lumineuse (Hz)

$c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$: célérité de la lumière (vide)

λ : longueur d'onde (m)

L'énergie d'un photon est **proportionnelle à la fréquence**, et **inversement proportionnelle à la longueur d'onde**.

Unité d'énergie adaptée : l'électronvolt (eV) : $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Calculer l'énergie d'un photon tel que $\lambda_1 = 300 \text{ nm}$ et d'un photon tel que $\lambda_2 = 600 \text{ nm}$.

