

PCM

Livret 4

Ondes et signaux

Séquence 1 : Les ondes mécaniques

Séquence 2 : Les ondes électromagnétiques

Séquence 3 : Le modèle corpusculaire de la lumière

Séquence 1

Les ondes mécaniques

[RETOUR AU
SOMMAIRE](#)

A. Les ondes mécaniques

A.1. Perturbation d'un milieu matériel	P1
A.2. Ondes longitudinales et transversales	P1
A.3. Célérité d'une onde mécanique	P2

B. Les ondes mécaniques périodiques

B.1. Le phénomène périodique	P2
B.2. L'onde périodique	P2
B.3. Les ondes mécaniques sinusoïdales	P3

C. Les ondes sonores

C.1. Propagation du son	P3
C.2. Les ondes sonores et ultrasonores	P4
C.3. Le niveau sonore	P4

A. Les ondes mécaniques

A.1. Perturbation d'un milieu matériel

- Un milieu matériel est un espace contenant de la matière. Le milieu non matériel est donc le vide.

On dit que l'on crée une perturbation d'un milieu matériel lorsque l'on provoque un mouvement de matière localisé et réversible dans ce milieu.

♦ **Une onde mécanique est la propagation de proche en proche de la perturbation d'un milieu matériel sans transport global de matière.**

Remarque : Le mot « propagation » indique que c'est perturbation qui se déplace mais que le milieu, lui, ne se déplace pas globalement.

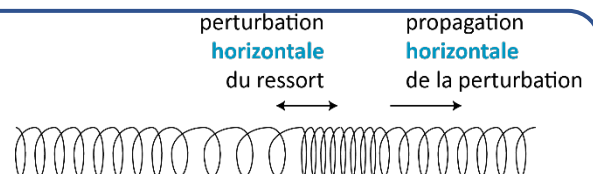
Exemples d'ondes mécaniques

- la houle est la propagation de la perturbation de la surface de l'eau ;
- le séisme est la propagation de la perturbation de la croûte terrestre ;
- le son est la propagation de la perturbation de l'air (ou de tout autre milieu autre que le vide).

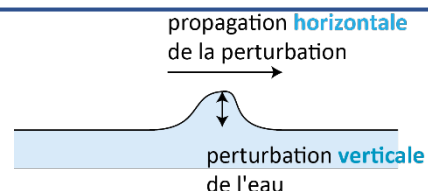
A.2. Ondes longitudinales et transversales

- Le caractère longitudinal ou transversal d'une onde mécanique résulte de la comparaison entre la direction dans laquelle la perturbation se propage et la direction dans laquelle le milieu est déformé dans la perturbation.

- ♦ L'onde est dite **longitudinale** lorsque la perturbation est une déformation du milieu **parallèle** à la direction de propagation de l'onde.



- ♦ L'onde est dite **transversale** lorsque la perturbation est une déformation du milieu **perpendiculaire** à la direction de propagation de l'onde.



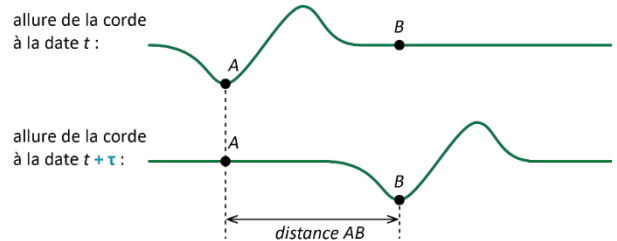
A.3. Célérité d'une onde mécanique

- Si un point A du milieu est atteint par une perturbation à une date t et un point B est atteint par la même perturbation à une date $t + \tau$: τ est le retard avec lequel la perturbation atteint B.

♦ Le **retard** représente la **durée** mise par la perturbation pour se propager entre deux points du milieu.

Exemple : dans le cas d'une perturbation le long d'une corde

le point B est dans le même état de perturbation que le point A après une durée τ : c'est le **retard de l'onde**



♦ La **vitesse de propagation** d'une perturbation est appelée **célérité** de l'onde.

Si un point B est atteint par la même perturbation qu'un point A avec un retard τ , la célérité de l'onde vaut :

$$v = \frac{d}{\tau} \quad \text{Avec: } d = AB \text{ (distance en m) , } \tau \text{ (durée en s) , } v \text{ (vitesse en m.s}^{-1}\text{)}.$$

B. Les ondes mécaniques périodiques

B.1. Le phénomène périodique

♦ Un phénomène est périodique s'il se reproduit identique à lui-même à intervalles de temps réguliers. Sa **période**, notée T , est la durée écoulée entre deux reproductions successives du phénomène.

♦ On appelle **fréquence** le nombre reproductions par unité de temps du phénomène.

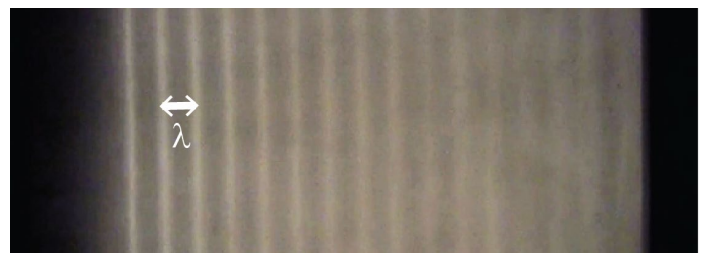
♦ Fréquence et période sont liées par :

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{Avec: } T \text{ (période en s) , } f \text{ (fréquence en hertz Hz) }$$

B.2. L'onde périodique

- Une onde périodique décrit la propagation d'une perturbation périodique du milieu.

Si la perturbation du milieu est périodique, alors, lorsque l'onde a atteint tout le milieu, celui-ci est perturbé identiquement à intervalles de distances réguliers.



Exemple : les vagues à la surface d'une cuve à ondes

♦ On appelle **longueur d'onde** la **plus petite distance**, à un instant donné, au bout de laquelle **le milieu se retrouve dans le même état de perturbation**. La longueur d'onde est notée λ et son unité est le mètre (puisque c'est une distance).

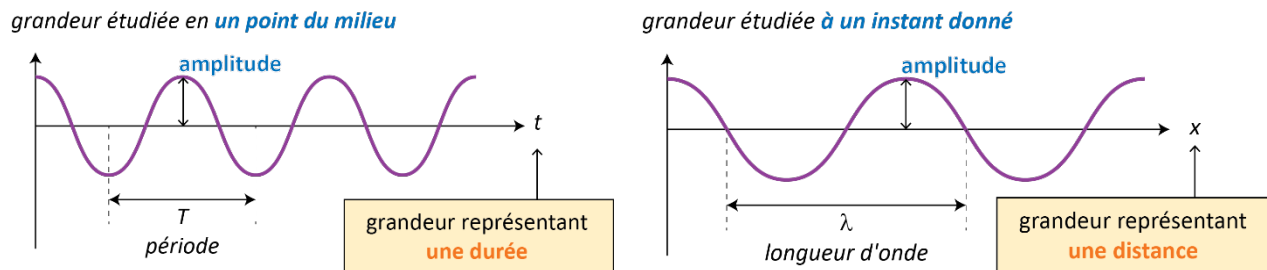
♦ La longueur d'onde correspond à la distance parcourue par la perturbation pendant une durée égale à une période. On a donc

$$\lambda = v \times T = \frac{v}{f}$$

B.3. Les ondes mécaniques sinusoïdales

• Une fonction sinusoïdale est un cas particulier de fonction périodique. En physique, on parle d'onde sinusoïdale si la perturbation du milieu évolue, dans le temps et dans l'espace, de manière sinusoïdale.

Les graphiques ci-dessous permettent alors de définir la période, la longueur d'onde et l'amplitude d'une onde sinusoïdale :



!!! Attention : ces deux graphiques se ressemblent mais ne montrent pas du tout la même chose : le premier montre une évolution temporelle alors que l'autre montre une évolution spatiale !

Remarque : À propos de l'amplitude de l'onde

L'amplitude est la valeur maximale de la grandeur étudiée. Son unité dépend de l'onde considérée : l'amplitude est en mètre pour une vague à la surface de l'eau, en Pa pour une onde sonore, etc.

C. Les ondes sonores

C.1. Propagation du son

• Une source sonore crée une surpression dans le milieu, appelée **pression acoustique**. Cette surpression se propage de proche en proche et constitue l'onde sonore.



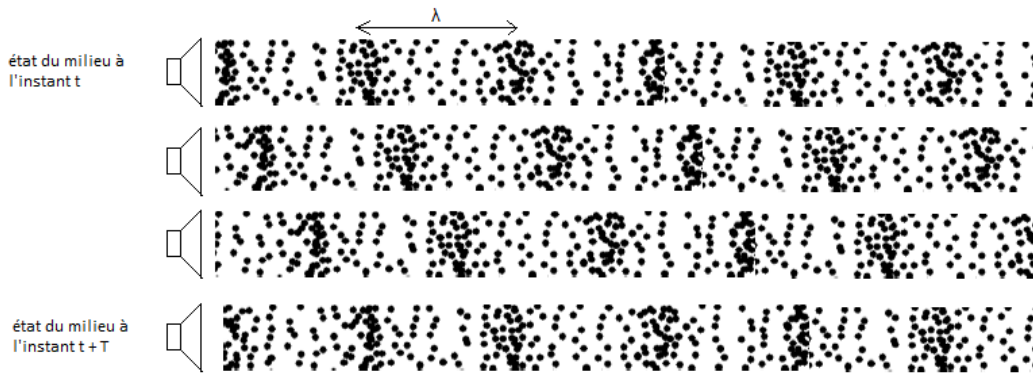
♦ L'onde sonore est une onde mécanique longitudinale. La perturbation est une variation de la pression, appelée **pression acoustique**

• Comme toutes les ondes mécaniques, l'onde sonore ne peut exister que dans un milieu matériel. Plus le milieu est dense, plus la vitesse (célérité) de l'onde sonore est importante.

• **La célérité des ondes sonores dépend de leur milieu de propagation :**

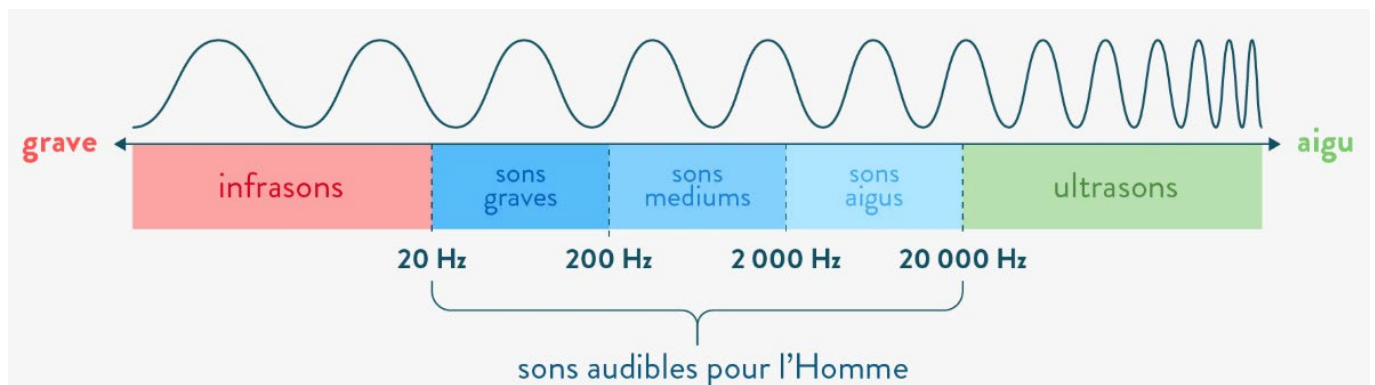
Milieu à la température de 20°C	Air	Eau douce	Acier
Célérité du son (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	340	1500	5800

C.2. Les ondes sonores et ultrasonores



- L'onde sonore peut être périodique. La perturbation est alors une vibration du milieu. **L'onde sonore périodique est alors caractérisée par une fréquence et une longueur d'onde**, répondant aux définitions énoncées précédemment.

Suivant la valeur de la fréquence, on définit les sons audibles, les ultrasons et les infrasons

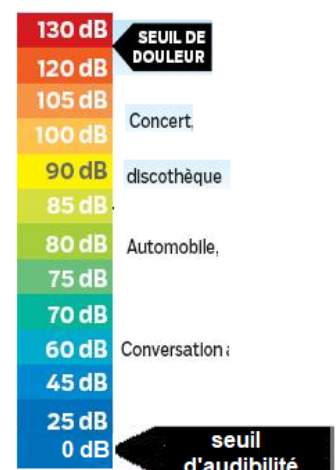


Remarque : Dans un même milieu, à la même température et à la même pression, les ultrasons se déplacent à la même vitesse que les sons audibles

C.3. Le niveau sonore

♦ **Le niveau sonore est la grandeur qui décrit notre perception du volume sonore.** Il s'exprime en décibel (dB) et se mesure à l'aide d'un sonomètre

Remarque : Le niveau sonore se note « L » (de l'anglais level)



Séquence 2

Les ondes électromagnétiques

[RETOUR AU
SOMMAIRE](#)
A. Lumière et ondes électromagnétiques

A.1. Modèle ondulatoire de la lumière		P1
A.2. Définition		P1
A.3. Grandeurs caractérisant une onde électromagnétique		P1

B. Les spectres de rayonnements lumineux

B.1. Les sources de rayonnements		P2
B.2. Le spectre d'émission		P3
B.3. Le spectre d'absorption		P4

A. Lumière et ondes électromagnétiques**A.1. Modèle ondulatoire de la lumière**

• Certaines propriétés de la lumière ne peuvent pas être expliquées par le modèle géométrique du rayon de lumière. La dispersion en est un exemple. Les physiciens ont alors été amenés à établir un modèle « ondulatoire » de la lumière. Celui-ci consiste à décrire la lumière comme des ondes : **les ondes lumineuses** qui sont des ondes périodiques décrites par les mêmes grandeurs physiques que les ondes mécaniques : *période, fréquence, célérité et longueur d'onde*.

➤ Il a été établi au XVIII^{ème} siècle que les ondes lumineuses n'étaient qu'un domaine particulier appartenant à la catégorie des **ondes électromagnétiques**.

A.2. Définition

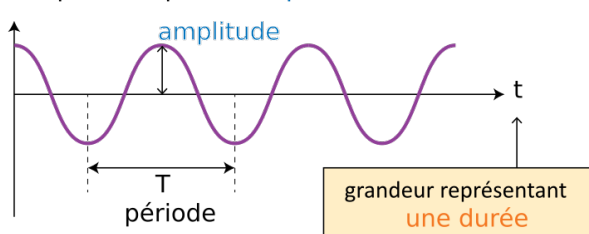
♦ Une onde est **électromagnétique** si la perturbation est une variation des propriétés électriques et magnétiques du milieu. Une onde électromagnétique peut se propager dans tous types de milieux : **les milieux matériels et le vide**.

Exemples d'ondes électromagnétiques : les ondes lumineuses, les ondes radio, les micro-ondes...

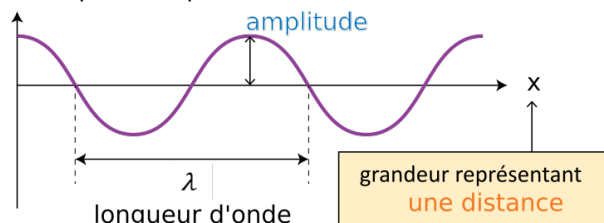
A.3. Grandeurs caractérisant une onde électromagnétique

• **Les ondes électromagnétiques sont des ondes sinusoïdales**. Les graphiques ci-dessous permettent alors de définir la période T , la longueur d'onde λ et l'amplitude d'une onde électromagnétique :

champ électrique en un point du milieu



champ électrique en à un instant donné



!!! Attention : ces deux graphiques se ressemblent mais ne montrent pas du tout la même chose : le premier montre une évolution temporelle alors que l'autre montre une évolution spatiale !

Amplitude de l'onde : L'amplitude est la valeur maximale du champ électrique.

♦ Relation entre fréquence, période, célérité et longueur d'onde :

La longueur d'onde correspond à la distance parcourue par la perturbation pendant une durée égale à une période. On a donc :

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda \times f \quad \Leftrightarrow \quad \lambda = c \times T = \frac{c}{f}$$

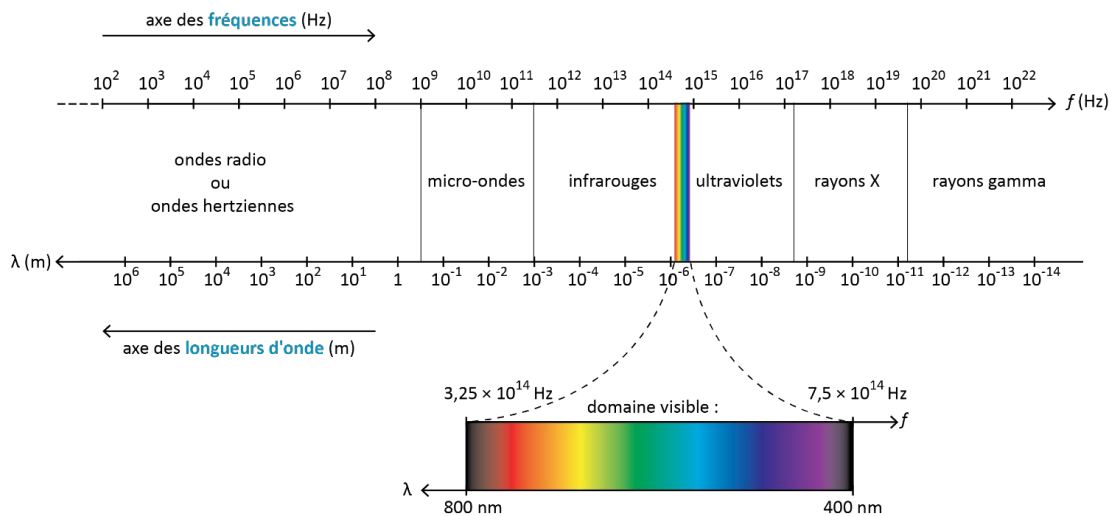
Avec: λ (longueur d'onde en m) , T (période en s), c (célérité ou vitesse en m.s^{-1}), f (fréquence en Hz).

Remarque :

Lorsque l'onde électromagnétique se déplace dans le vide, on a $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Lorsque l'onde électromagnétique se déplace dans l'air, on a $c \approx 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Les ondes électromagnétiques sont classées en fonction de leur fréquence (ou de leur longueur d'onde)



B. Spectres de rayonnements lumineux

B.1. Les sources de rayonnements

- On appelle **source de rayonnement primaire** une source qui **émet** son propre rayonnement
- La source peut émettre un rayonnement **monochromatique**, (rayonnement constitué d'une onde électromagnétique de longueur d'onde unique) ou **polychromatique** (rayonnement constitué de plusieurs ondes de longueurs d'ondes différentes)

→ **Les sources à incandescence**, sources de lumières dites « chaudes » :

Tout corps chaud émet des ondes électromagnétiques dans le visible lorsqu'il est maintenu à une température suffisamment élevée : c'est le phénomène d'**incandescence**.

Exemples : les étoiles, les lampes à filament (dites « lampes à incandescence »), etc.

→ **Les sources à luminescence**, sources de lumières dites « froides » :

Tous les processus d'émission de lumière autres que l'incandescence sont qualifiés de luminescentes.

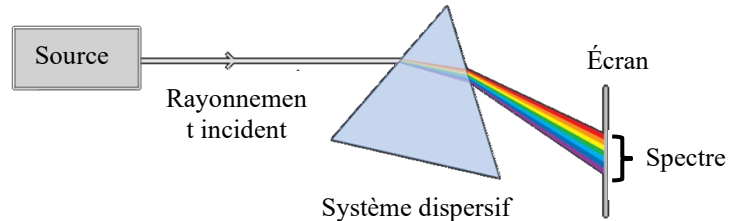
Exemples : laser, lampe à vapeur de mercure, etc.

B.2. Le spectre d'émission

♦ On appelle « **système dispersif** » un milieu qui sépare les unes des autres les différentes ondes monochromatiques qui constituent un rayonnement polychromatique.

Exemples : le prisme, le réseau.

• Le spectre d'un rayonnement lumineux est la figure obtenue lorsqu'il a traversé un système dispersif



• Si la lumière est polychromatique, chaque onde qui la compose est déviée dans une direction différente selon sa longueur d'onde. Le spectre obtenu est alors constitué de raies colorées. À chaque raie colorée correspond une onde monochromatique composant la lumière analysée.

Un moyen pour obtenir des informations sur une source de lumière est d'étudier le spectre de la lumière qu'elle émet.

Spectre de la lumière émise par un gaz

Un atome seul, après avoir été excité (par chauffage ou par des décharges électriques), n'émet qu'un nombre très faible d'ondes monochromatiques.

Dans un gaz, les atomes sont très éloignés les uns des autres, si bien qu'ils émettent les mêmes ondes qu'un atome seul.

Le spectre de la lumière émise est alors constitué de quelques **raies d'émission** sur un fond noir.



Souvent, le spectre de la lumière émise par une source à luminescence est un spectre de raies d'émission. C'est le cas des lampes à vapeur et du laser.

Spectre de la lumière émise par un solide ou un liquide

Les raies d'émission des atomes, lorsqu'ils sont proches les uns des autres, s'élargissent et deviennent des bandes.

Au sein d'un solide ou d'un liquide, les atomes sont en contact les uns des autres : les bandes deviennent alors tellement larges qu'elles se chevauchent.

Un solide ou un liquide chauffé émet donc une lumière dont le **spectre est continu**.



Le spectre de la lumière émise par une source à incandescence est un spectre continu, le spectre s'enrichit vers le bleu quand la température de la source augmente.

Spectre de la lumière blanche

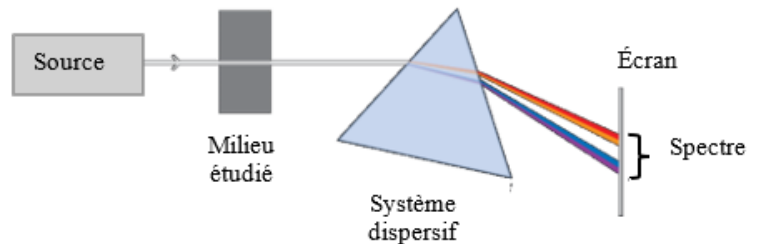
Les physiciens appellent « **lumière blanche** » une lumière polychromatique composée de TOUTES les ondes du domaine visible (=ensemble des ondes lumineuses perceptibles par l'œil)

Le spectre d'émission de la lumière blanche est continu, les longueurs d'ondes sont comprises entre 400 nm et 800 nm



B.3. Le spectre d'absorption

- Un moyen pour obtenir des informations sur le comportement d'un milieu vis-à-vis de la lumière consiste à étudier le spectre d'une lumière initialement blanche ayant traversé ce milieu :



- Le spectre obtenu contient toutes les couleurs du spectre de la lumière blanche qui n'ont pas été absorbées par le milieu. Les parties noires du spectre correspondent alors aux ondes qui ont été absorbées.

Absorption de la lumière par un gaz :

Si un gaz est traversé par de la lumière initialement blanche, les ondes qu'il absorbe sont les mêmes que celle qu'il émettrait s'il était lui-même la source.

Conséquence sur le spectre :

Le spectre de la lumière émise par une source gazeuse et le spectre de la lumière blanche ayant traversé ce même gaz sont complémentaires.

Exemple : spectre d'absorption et d'émission de l'hydrogène



Spectre d'une lumière blanche ayant traversé de l'hydrogène

Spectre de la lumière émise par une lampe à hydrogène

Séquence 3

Le modèle corpusculaire de la lumière

[RETOUR AU
SOMMAIRE](#)

A. Le photon

A.1. le photon, quantum d'énergie

P1

A.2. Classification des ondes électromagnétiques

P1

B. Quantification de l'énergie d'un atome

B.1. Les niveaux d'énergie

P2

B.2. Interprétation des spectres de raies d'émission

P2

B.3. Interprétation des spectres de raies d'absorption

P3

A. Le photon

A.1. Le photon, quantum d'énergie

• Le modèle ondulatoire de la lumière, étudié dans la séquence précédente, ne permet pas d'interpréter toutes les expériences faisant intervenir la lumière. (ex : l'effet photoélectrique)

➔ Pour interpréter ces faits expérimentaux que le modèle ondulatoire ne permettait pas de prévoir :

♦ Albert Einstein a proposé en 1905 de décrire la lumière comme un flux **de quanta d'énergie indivisibles : LES PHOTONS**.

Un photon possède une masse nulle, une charge électrique nulle mais une énergie régie par la loi de Planck-Einstein : **$E = h \cdot \nu$**

Unité SI :

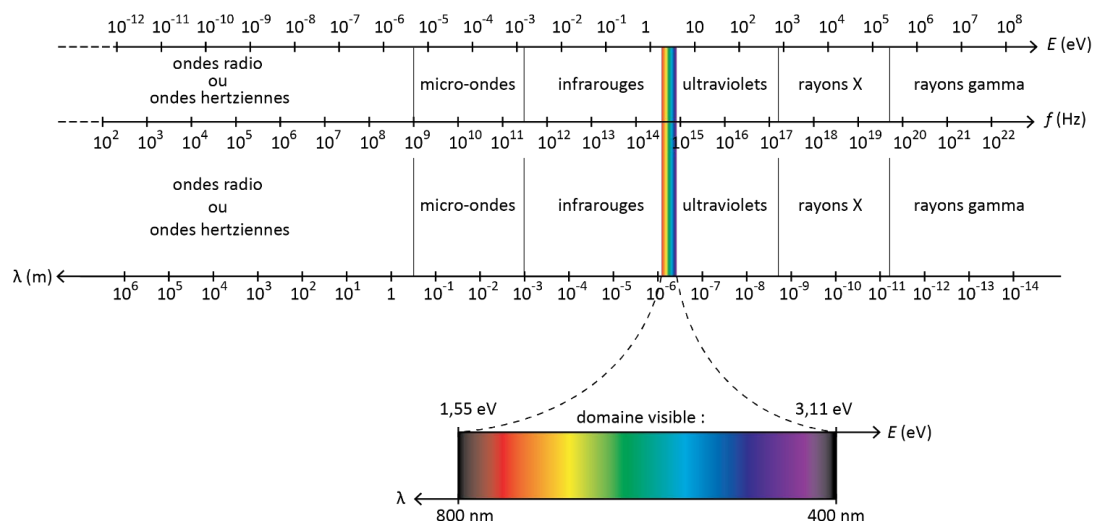
- E : énergie du photon (en J)
- ν : fréquence du rayonnement en Hz
- $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$: constante de Planck

Remarque :

L'énergie d'un photon est souvent exprimée en électronvolt (eV) : **$1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$**

A.2. Classification des ondes électromagnétiques selon l'énergie du photon

Principaux domaines d'ondes électromagnétiques, classés selon leur fréquence, leur longueur d'onde dans le vide et l'énergie du photon (en eV) :



B. Quantification de l'énergie d'un atome

B.1. Les niveaux d'énergie

Fait expérimental :

Lorsqu'ils sont chauffés ou excités électriquement, des atomes isolés les uns des autres au sein d'une vapeur (par exemple dans une lampe spectrale) n'émettent que quelques ondes monochromatiques de fréquences bien distinctes. Cela se traduit par des spectres de raies d'émission.

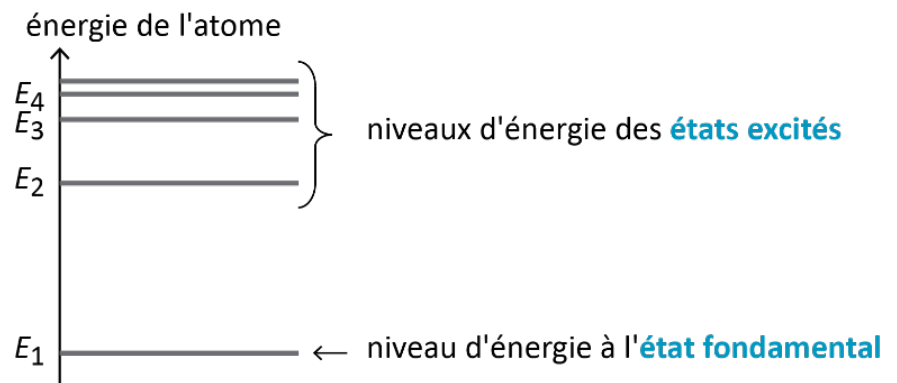
♦ Hypothèse de BOHR (1913) :

L'énergie d'un atome ne peut prendre que certaines valeurs discrètes. On dit que son énergie est **quantifiée**. Ces valeurs sont les **niveaux d'énergie** de l'atome.

États fondamental et excités :

Lorsque l'atome possède l'énergie la plus basse possible, il se trouve dans son **état fondamental**.

- Lorsqu'il se trouve dans un état d'énergie de valeur supérieure à celle de son état fondamental, on dit qu'il est dans un **état excité**.



B.2. Interprétation des spectres de raies d'émission

Comment expliquer l'existence des raies lumineuses dans les spectres de la lumière émise par un gaz ?

Interprétation de l'existence des raies d'émission :

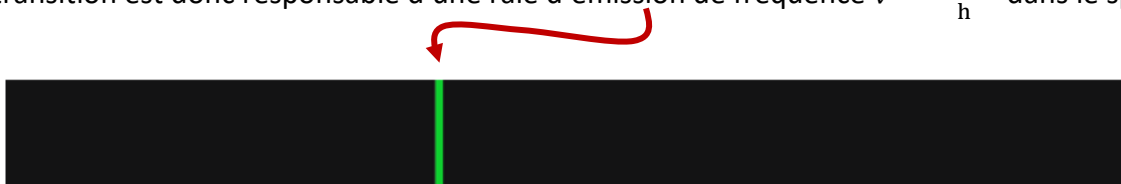
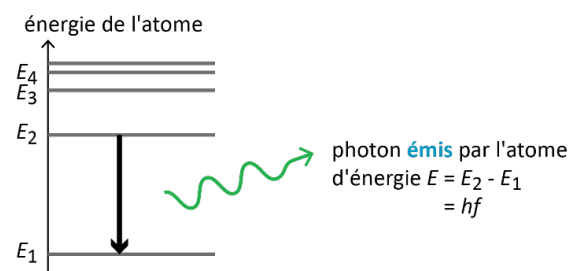
- Si un atome se trouve dans un état excité d'énergie E_2 , il peut se désexciter, c'est-à-dire atteindre un état d'énergie $E_1 < E_2$ **en émettant spontanément UN photon** d'énergie :

$$E_{\text{photon}} = E_2 - E_1$$

- Ce photon est un quantum de lumière de fréquence :

$$\nu = \frac{E_{\text{photon}}}{h} = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

- Cette transition est donc responsable d'une raie d'émission de fréquence $\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$ dans le spectre.



B.3. Interprétation des spectres de raies d'absorption

Comment expliquer l'existence des raies noires dans les spectres de la lumière absorbée par un gaz ?

Interprétation de l'existence des raies d'absorption :

- Un atome se trouve dans un état d'énergie E_1 et intercepte un photon d'énergie E_{photon} .

Si l'atome possède un niveau d'énergie E_2 tel que $E_{\text{photon}} = E_2 - E_1$, alors il passe au niveau d'énergie E_2 et **le photon est absorbé**.

- Le spectre de la lumière blanche incidente est alors amputé d'une de ses ondes, de fréquence :

$$\nu = \frac{E_{\text{photon}}}{h} = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

- Cette transition est donc responsable d'une raie noire d'absorption de fréquence $\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$ dans le spectre.

