

1. Les ondes mécaniques
2. La lumière
3. Interaction lumière – matière

1. Les ondes mécaniques

Lorsqu'on jette une pierre sur un plan d'eau, on crée localement une perturbation qui se traduit par une déformation de la surface de l'eau qui se propage.

Une onde progressive est une perturbation qui se propage de proche en proche dans un milieu. Une onde ne transporte pas de matière, mais uniquement de l'énergie.

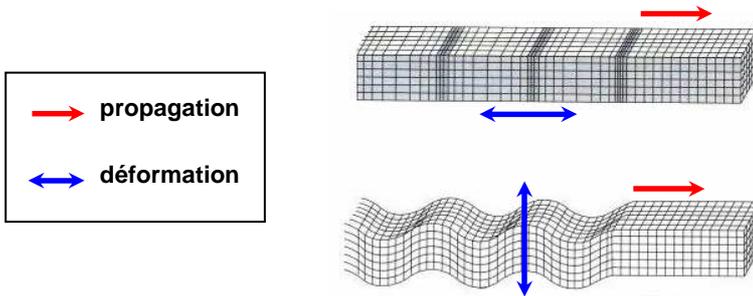
Si la perturbation est celle d'un milieu matériel comme dans le cas de la surface de l'eau, on parle alors d'onde mécanique (exemples : son, vague, onde sismique, ...).

A noter :

La lumière est une onde mais non mécanique car elle n'est pas liée à une perturbation (oscillation) de la matière puisqu'elle peut se propager dans le vide.



Onde mécanique progressive



Si la déformation du milieu est parallèle au déplacement de l'onde, on parle d'onde longitudinale.

Si la déformation du milieu est perpendiculaire au déplacement de l'onde, on parle d'onde transversale.

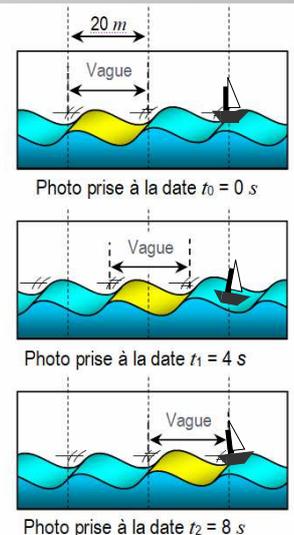
Exercice 1 :

La houle est un mouvement ondulatoire de la surface de la mer qui présente un aspect relativement régulier. Des vagues de forme très similaire se suivent à même vitesse constante.



Sur le schéma de droite, on suit le déplacement d'une vague particulière de la houle (vague jaune).

1. Quelle est la direction de propagation de la houle ?
2. Quelle est la direction dans laquelle se déforme la surface de l'eau ?
3. En déduire le type d'onde de la houle.
4. Sachant que la longueur d'onde λ d'une onde donnée est la longueur du motif qui se répète régulièrement, déterminer la longueur d'onde de cette houle.
5. Sachant que la période T d'une onde périodique est le temps nécessaire pour qu'un motif se déplace pour prendre la place du motif suivant, déterminer la période de cette houle.
6. En déduire la vitesse (ou célérité) de la houle sur ce schéma.
7. Déterminer la fréquence f avec laquelle le bateau, immobile dans le plan de l'océan, oscille verticalement du fait du passage des vagues.



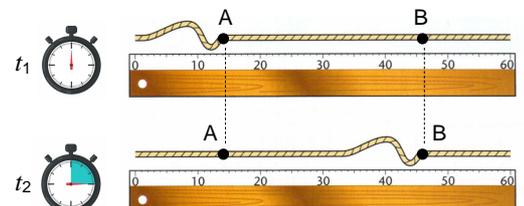
A retenir :

- Un phénomène périodique est un phénomène qui se répète identique à lui-même et à intervalle de temps régulier appelé période T .
- La fréquence d'un phénomène périodique f correspond au nombre de fois que ce phénomène se répète en une seconde. Elle se calcule à l'aide de la relation : $f = \frac{1}{T}$ | T en s, f en Hz
- Comme une onde périodique progressive (mécanique ou non) parcourt sa propre longueur d'onde λ pendant une durée correspondant à sa propre période, la vitesse (ou célérité) de l'onde peut donc se déterminer avec l'expression ci-contre : $v = \frac{\lambda}{T}$ | v en m/s, λ en m, T en s

Exercice 2 :

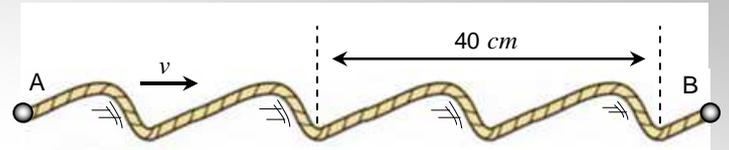
Déterminer l'expression de la vitesse en fonction de λ et f .

- Dans le cas d'une onde progressive non périodique, la vitesse de propagation de la perturbation est : $v = \frac{x_B - x_A}{t_2 - t_1}$ | v en m/s, x en m, t en s



Exercice 3 :

On excite l'extrémité libre d'une corde à sauter en lui faisant faire des vaguelettes régulières se déplaçant avec une célérité constante de $1,8 \text{ m/s}$.

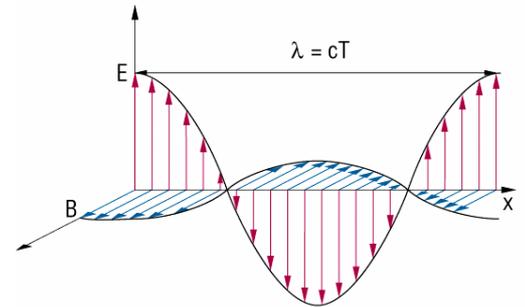


1. D'après la figure ci-contre, déterminer la longueur d'onde λ de l'onde circulant sur la corde.
2. Cette onde est-elle progressive ? Justifier. Est-elle mécanique ? Justifier. Est-elle transversale ? Justifier.
3. Cette onde transporte-t-elle de la matière avec elle ?
4. Cette onde transporte-t-elle de l'énergie ? Si oui, de quel type ?
5. Calculer la période puis la fréquence de cette onde.
6. À la date $t_A = 23,7 \text{ s}$ le point A arrête d'osciller. Avec quel retard noté τ le point B fera-t-il de même ? En déduire la date t_B où il sera enfin lui aussi immobile.

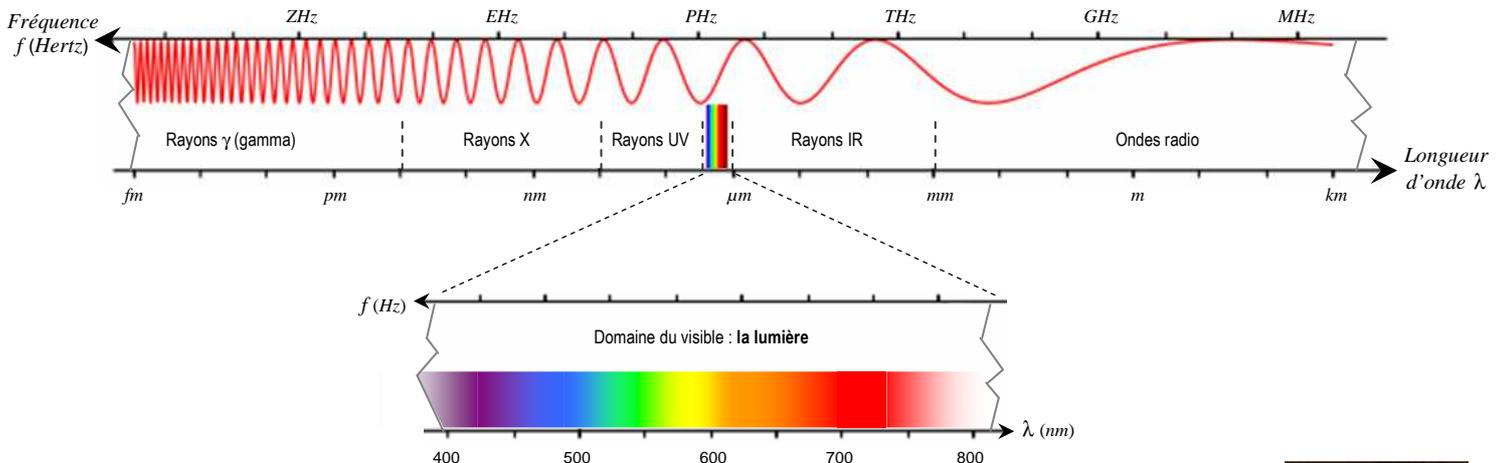
2. La lumière

Les particules chargées composant la matière créent autour d'elles un champ électrostatique E . Du fait de l'agitation thermique, ces particules vibrent, entraînant avec elle leur champ électrique. Or ce mouvement du champ électrique va créer un champ magnétique qui va perturber le champ électrique. Cette perturbation du champ électrique va alors perturber le champ magnétique, et ainsi de suite...

C'est ainsi que se forme dans l'espace autour de chaque particule, des perturbations périodiques constituées d'un champ électrique conjugué à un champ magnétique que l'on appelle des **ondes électromagnétiques**. Ces ondes non matérielles se déplacent à une vitesse appelée célérité et notée $c = 300\,000 \text{ km/s}$.



Représentation d'une onde électromagnétique

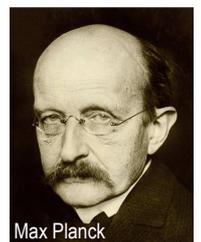


A retenir :

- Les ondes électromagnétiques sont réparties en différents **domaines spectraux** (rayon γ , rayon X, UV...). Le domaine du visible est celui de **la lumière**.
- **La lumière** est une onde électromagnétique de **longueur d'onde** (dans le vide) **comprise entre 400 et 800 nm**.
- **L'énergie \mathcal{E}** d'un rayon de lumière dépend de sa **fréquence ν** (nu) : $\mathcal{E} = h \cdot \nu$
 h est appelée **constante de Planck**

$$\mathcal{E} = h \cdot \nu$$

\mathcal{E} en J
 $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ S.I.}$
 ν en Hz



Max Planck
1858 - 1947

Exercice 4 :

1. Déterminer la période et la fréquence dans le vide d'un rayon de lumière verte de longueur d'onde 540 nm .
2. Montrer que l'énergie \mathcal{E} d'un rayon de lumière de longueur d'onde λ peut aussi se calculer avec la formule : $\mathcal{E} = \frac{hc}{\lambda}$
3. En déduire l'énergie d'un rayon de lumière violette de longueur d'onde 400 nm .
4. Montrer qu'un rayon de lumière rouge possède moins d'énergie qu'un rayon de lumière bleu.
5. Déterminer la durée maximale de transmission d'une donnée envoyée par ondes radio du Rover martien *Perseverance* vers la Terre sachant que le rayon orbital de la Terre et celui de Mars valent respectivement $150 \cdot 10^6 \text{ km}$ et $225 \cdot 10^6 \text{ km}$.



3. Interaction lumière – matière

3.1. La dualité onde - corpuscule

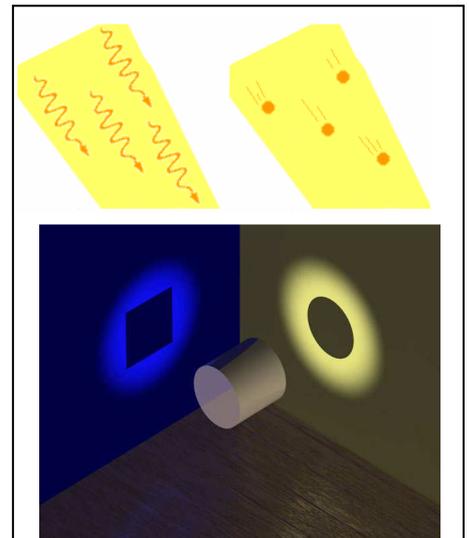
Un rayon de lumière (au sens large, c'est-à-dire une onde électromagnétique en général) peut être perçu, selon l'expérience qui est faite, comme une onde (modèle ondulatoire) ou comme un particule (modèle corpusculaire) appelée **photon**.

- 1677 :  **C. Huygens** montre que la lumière doit avoir une nature ondulatoire pour rendre compte des lois de *Snell-Descartes*.
- 1704 :  **I. Newton** publie son livre intitulé *Opticks* dans lequel il considère la lumière comme composée de corpuscules.
- 1861 :  **T. Young** montre expérimentalement (avec l'expérience des deux fentes) que la lumière est un phénomène de nature ondulatoire.
- 1861 :  **J. C. Maxwell**, en s'appuyant sur les travaux de l'expérimentateur **M. Faraday**, interprète la lumière comme une onde électromagnétique.
- 1905 :  **A. Einstein** invente le concept de **dualité onde-corpuscule** pour la lumière.
- 1924 :  **L. de Broglie** étend ce concept à toutes les particules, matérielles ou non.

L'énergie de la lumière est transportée par des particules appelées **photons** qui présentent un **aspect corpusculaire** ou **ondulatoire** selon l'expérience.
En réalité, la particule photon n'est ni une onde ni un corpuscule.

C'est un **quantum d'énergie** ayant :

- une masse nulle : $m = 0 \text{ kg}$
- une charge nulle : $q = 0 \text{ C}$
- une vitesse toujours égale à c dans le vide avec $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$



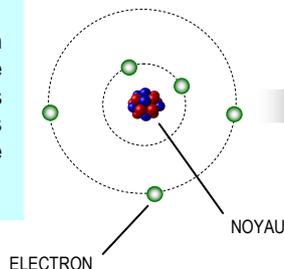
Métaphore du cylindre :

Dans un monde en 2D, Un cylindre sera perçu soit comme un cercle soit comme un rectangle selon le point de vue.
 De la même manière, le photon est vu soit comme une onde soit comme un corpuscule, mais il n'est ni l'un ni l'autre.

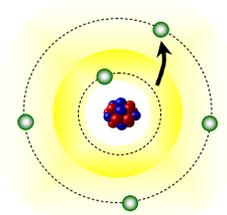
3.2. Emission de lumière

Les électrons autour du noyau d'un atome sont situés sur différentes **couches électroniques** associées à des **niveaux d'énergie** bien définis. **Les électrons ne peuvent être que sur un de ces niveaux d'énergie tout en pouvant sauter d'un niveau à un autre.**
 Ainsi, l'énergie d'un atome ne peut prendre que certaines valeurs bien précises : **l'énergie de l'atome est donc quantifiée.**

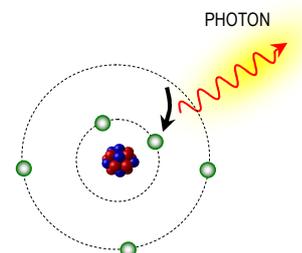
Lorsqu'un atome est dans son niveau de plus basse énergie appelé **état fondamental**, tous ses électrons occupent toutes les places de plus basse énergie autour du noyau.



Lorsque l'on chauffe l'atome, du fait de l'agitation thermique, certains de ses électrons peuvent être expédiés sur un niveau d'énergie supérieur libre. L'atome est alors dans un **état dit excité**.



Une fois dans un état excité, l'atome peut à tout moment se désexciter sans aucune stimulation extérieure en faisant retomber un de ses électrons vers un niveau d'énergie inférieur resté libre. Lors de cette transition électronique, l'atome perd son trop plein d'énergie en émettant un photon : c'est **l'émission spontanée**



Exercice 5 :

Les niveaux d'énergie en électron-Volt (eV) du seul électron dans un atome d'hydrogène sont donnés par la formule $\mathcal{E}_n = -13,6 / n^2$ avec n appelé nombre quantique principal.

Lorsque l'électron est dans son premier niveau d'énergie (ou niveau fondamental car niveau d'énergie le plus bas possible), $n = 1$. Dans le premier état excité de l'atome, et donc le deuxième niveau d'énergie possible pour l'électron, $n = 2$.

1. Calculer l'énergie de l'atome lorsqu'il se trouve dans son troisième état excité. Préciser la valeur de n .
2. Déterminer l'énergie dégagée par le photon qu'émet cet atome lorsqu'il retourne à son état fondamental.

Donnée : $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Un atome qui se retrouve dans un état excité (par décharge électrique, absorption de lumière, chauffage,...) caractérisé par un niveau d'énergie \mathcal{E}_{sup} retourne spontanément dans son état fondamentale ou dans un état excité de moindre énergie \mathcal{E}_{inf} en émettant un photon.

L'énergie \mathcal{E} de ce photon émis correspond précisément à l'énergie perdue par l'atome.

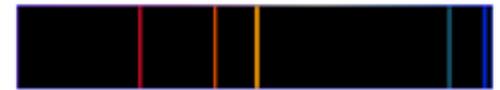
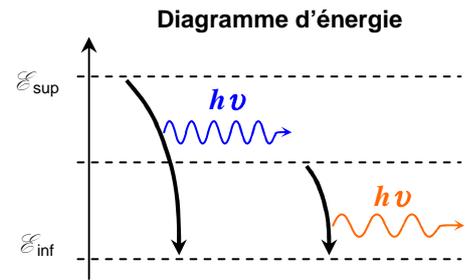
$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{sup}} - \mathcal{E}_{\text{inf}}$$

Ainsi, la longueur d'onde du photon émis sera :

$$\mathcal{E} = \frac{hc}{\lambda} \Leftrightarrow \lambda = \frac{hc}{\mathcal{E}}$$

Comme tous les atomes possèdent des niveaux d'énergie bien définis, ils ne peuvent émettre que certains photons de longueur d'onde bien précise correspondant à une transition énergétique possible de l'atome.

Ceci conduit, dans le domaine du visible, à l'observation de raies colorées dans le spectre de raies d'émission d'un élément chimique donné.



3.3. Absorption de lumière

Un atome qui se retrouve dans un état caractérisé par un niveau d'énergie \mathcal{E}_{inf} ne peut absorber que certains photons d'énergie \mathcal{E} bien précise et ainsi passer dans un état d'énergie \mathcal{E}_{sup} supérieure.

Tout photon d'énergie autre que celle correspondant précisément à une transition possible de l'atome sera ignoré par ce dernier.

L'énergie \mathcal{E} de ce photon correspond précisément à l'énergie gagnée par l'atome.

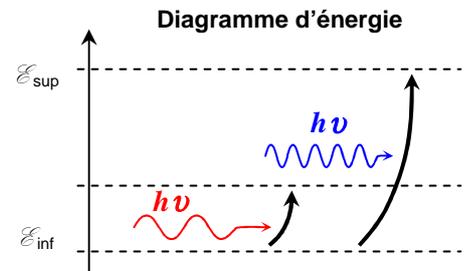
$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{sup}} - \mathcal{E}_{\text{inf}}$$

Ainsi, la longueur d'onde du photon absorbé est :

$$\mathcal{E} = \frac{hc}{\lambda} \Leftrightarrow \lambda = \frac{hc}{\mathcal{E}}$$

Comme tous les atomes possèdent des niveaux d'énergie bien définis, ils ne peuvent absorber que certains photons de longueur d'onde bien précise.

Ceci conduit, dans le domaine du visible, à l'observation des raies noires dans le spectre de raies d'absorption.



Exercice 6 :

- Calculer la longueur d'onde du photon associé à la transition énergétique d'un atome d'hélium passant d'un niveau d'énergie de $-3,03 \text{ eV}$ à un niveau de $-5,14 \text{ eV}$.
- Ce photon est-il émis ou absorbé par l'atome ? Justifier.

Donnée : $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Exercice 7 :

- Déterminer l'énergie initiale \mathcal{E}_{sup} d'un atome d'hydrogène dans son 3^{ème} état excité si le photon qu'il émet, de longueur d'onde $97,3 \text{ nm}$, amène l'atome directement dans son état fondamental d'énergie $\mathcal{E}_{\text{inf}} = -13,6 \text{ eV}$.
- Calculer la variation d'énergie d'un atome d'hydrogène qui passe de $\mathcal{E}_{\text{D}} = -0,37 \text{ eV}$ à $\mathcal{E}_{\text{F}} = -3,39 \text{ eV}$.
- Ce photon est-il émis ou absorbé ? Justifier.
- Représenter cette transition d'énergie sur un diagramme.
- Calculer la fréquence du photon associé à cette transition.

Donnée : $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

A noter :

C'est le physicien danois *Niels Bohr* qui établit en 1913 le premier modèle de l'atome quantique et l'équation de Bohr à la base de la mécanique quantique.

$$E_n = - \left[\frac{m}{2\hbar^2} \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \right] \frac{1}{n^2}$$

Niels Henrik David Bohr
1885 - 1962

