



Cours: Structure de la matière

Présenté par: Dr. TABET ZATLA Amina

Promotion 2024-2025 1^{ère} année Médecine Dentaire

I. **Rappels et notions fondamentales**

La matière se trouve dans la nature sous forme de mélanges (homogène ou hétérogène), et sous formes de corps purs.

Un corps pur est caractérisé par ses propriétés chimiques ou physiques (température de fusion, température d'ébullition, masse volumique, indice de réfraction, etc...). On distingue deux catégories de corps purs :

✓ **Corps purs simples** constitués d'un seul type d'élément

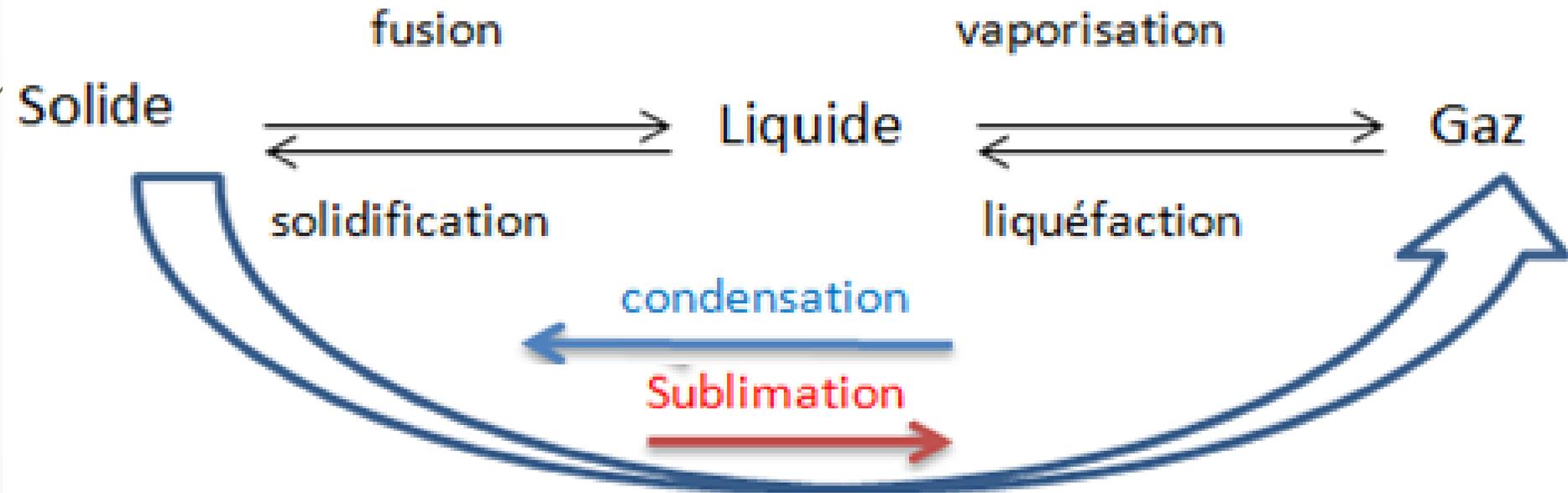
Exemple : O_2 , O_3 , H_2 , Fe, etc....

✓ **Corps purs composés** constitués de deux ou plusieurs éléments

Exemple: H_2O , $FeCl_2$, HCl , H_2SO_4 , etc...).

1. Etats de la matière

La matière existe sous trois formes : **solide**, **liquide** et **gaz**. La température et la pression jouent un rôle très important dans le changement d'état. Le passage de la matière de l'état solide à l'état liquide se fait par **fusion**, de l'état liquide à l'état gazeux par **vaporisation** et de l'état solide à l'état gazeux par **sublimation**.

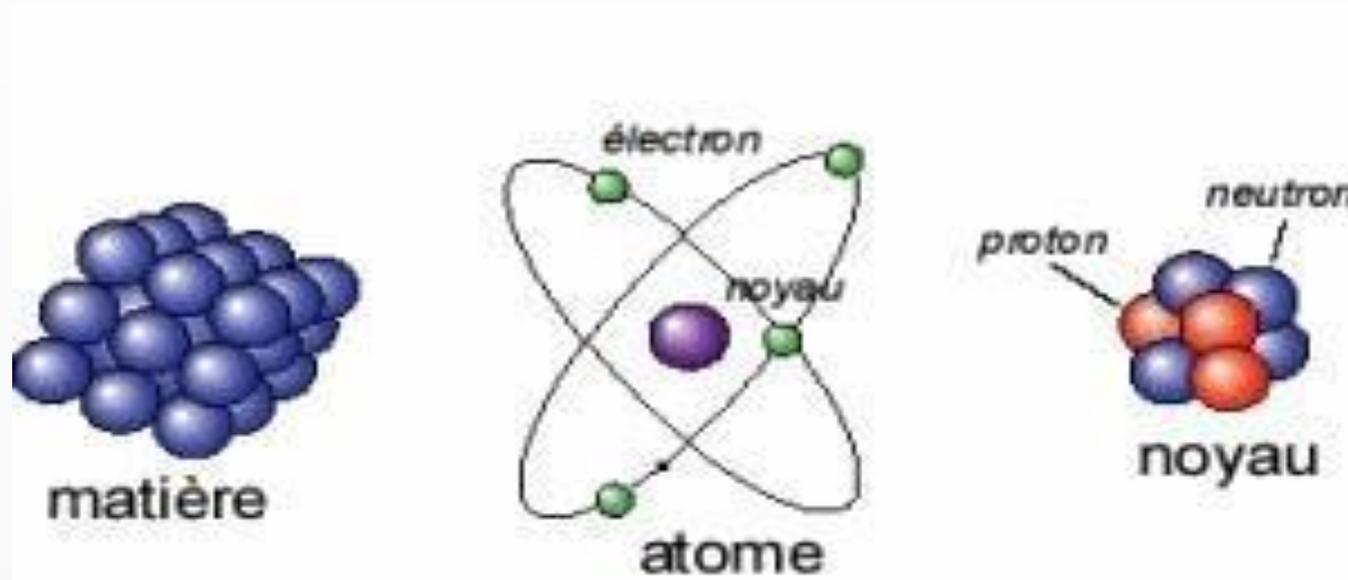


2. Atomes et molécules

2.1 Atomes

La matière est formée à partir de grains élémentaires: **les atomes**.

L'atome est un ensemble électriquement neutre comportant une partie centrale, le noyau (protons + neutrons), où est centrée pratiquement toute sa masse, et autour duquel se trouvent des électrons.



2.1.1 Le noyau

Le noyau renferme **deux types** de particules massives

- Le **proton** qui a une charge de **$+1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$** (coulombs) ce qui correspond à la charge élémentaire pour une masse de **$1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$** .
- Le **neutron** qui a, quant à lui, une charge **nulle** pour une masse de **$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$** .

On remarque donc que protons et neutrons ont une masse proche mais une charge totalement différente. Le noyau a donc une charge **positive**. Les neutrons et les protons constituent les **nucléons** qui sont maintenus ensemble par interaction forte.

2.1.2 Le nuage électronique

Il correspond à l'ensemble des électrons. Un électron a une charge de $-1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ et une masse de $0,911 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$. Il est donc **1800 fois moins lourd** que le proton. Sa charge est **négative** et juste opposée à celle du proton. Un atome comporte autant d'électrons que de protons (sa charge globale est donc nulle) et l'univers renferme exactement le même nombre de protons que d'électrons. Les électrons occupent tout l'espace de la matière. Le noyau contient l'essentiel de la masse de l'atome.

2.1.3 Identification des éléments

Représentation

A chaque élément chimique, on a associé un symbole. Il s'écrit toujours avec une majuscule, éventuellement suivie d'une minuscule :

Nombre de nucléons
(somme des protons et
des neutrons)

A

X

Z

Numéro atomique
= nombre de protons

Symbole de l'élément
chimique

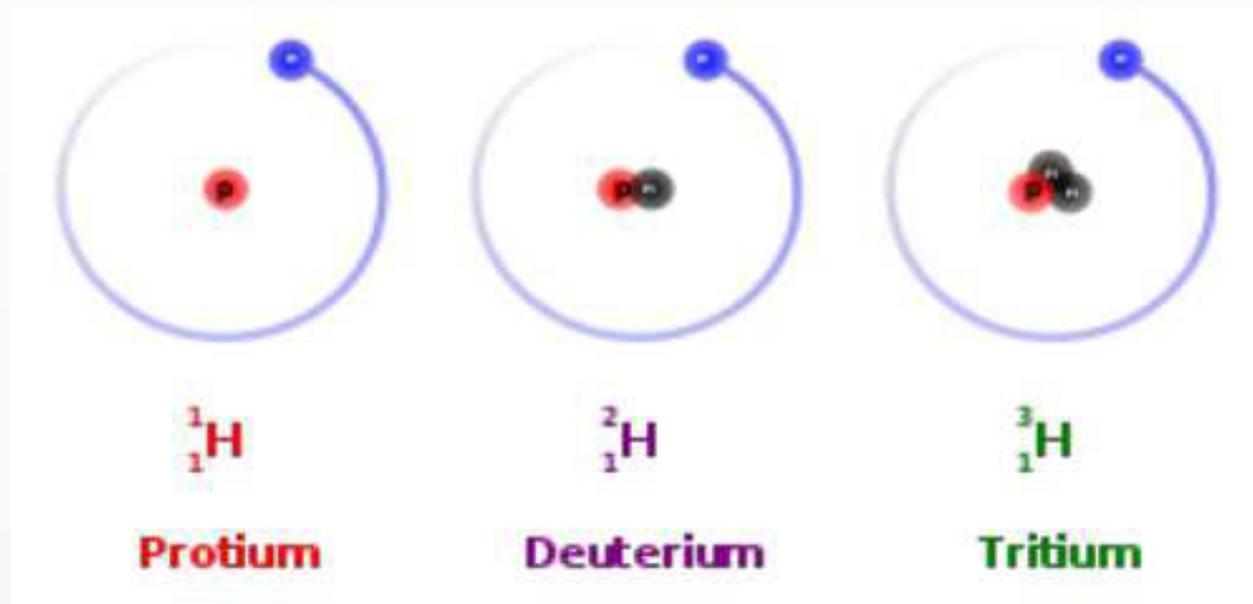
Z est appelé numéro atomique ou nombre de charge, il désigne le nombre de protons (c'est aussi le nombre d'électrons pour un atome neutre). Pour un élément quelconque, la charge du noyau (protons) est $+Ze$. De même la charge des électrons sera $-Ze$.

A est appelé nombre de masse, il désigne le nombre de nucléons (protons + neutrons).

Si N représente le nombre de neutrons, on aura la relation : **$A = Z + N$**

- **Isotopes**

Ce sont des atomes de **même numéro atomique Z** et de **nombre de masse A différent**. Un élément peut avoir un ou plusieurs isotopes. Il n'est pas possible de les séparer par des réactions chimiques, par contre cela peut être réalisé en utilisant des techniques physiques notamment la spectroscopie de masse.



- **Masse atomique**

La masse atomique est égale à la somme des masses des constituants de l'atome :

$$m_{at} = Zm_e + Zm_p + Nm_n \text{ (kg)}$$

L'utilisation de cette unité n'est pas commode, des unités chimiques plus faciles à manipuler ont donc été choisies ; le terme de référence étant le carbone 12.

Par définition, l'unité de masse atomique qu'on note **u.m.a** est le **1/12** ème de la masse d'un atome de carbone 12 (^{12}C).

$$\text{u.m.a} = 1/12 m_c$$

- **Nombre Avogadro**

La constante d'Avogadro est le nombre d'entités élémentaires contenues par mole de ces mêmes entités. Le symbole de la constante d'Avogadro est **NA** et son unité est **mol⁻¹**. Le calcul du nombre d'atomes dans 12 g de carbone donne : (Les unités pour la relation suivante)

$$N_A = \frac{12}{1.9926 \times 10^{-23}} = 6,02288 \times 10^{23}$$

La valeur approchée du nombre d'Avogadro est: **NA= 6,022 x 10²³ mol⁻¹**

- **Mole et masse molaire**

Les masses des atomes sont toutes très petites (entre 10^{-24} et 10^{-26} kg) et donc peu pratiques à utiliser dans le monde macroscopique.

La mole (mol) est l'unité que les chimistes utilisent pour exprimer un grand nombre d'atomes.

On définit une mole comme étant le nombre d'atomes qu'il y a dans 12g de carbone 12.

Le nombre d'atomes dans une mole est appelé Nombre d'Avogadro ($N_A = 6.023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$).

La masse molaire (M) est la masse d'une mole d'atomes. L'unité de masse atomique est le $1/12$ de la masse d'un atome de carbone 12.

$$1 \text{ uma} = \frac{1}{12} \times Mm({}^{12}_6\text{C}) = \frac{1}{12} \times \frac{12}{N_A}$$

$$|1 \text{ uma} = 1,6605 \times 10^{-24} \text{ g}$$

Exemple :

$$M_{m\text{Na}} = 3,8 \times 10^{-23} \text{ g} \Rightarrow M_{\text{Na}} = m \times N = 23 \text{ g/mol.}$$

2.2. Molécules

Une molécule est une union de deux ou plusieurs atomes liés entre eux par des liaisons. C'est la plus petite partie d'un composé qui a les mêmes propriétés que le composé.

Exemples :

H_2O , H_2 , HCl , H_2SO_4 , etc....

- **Masse molaire moléculaire**

La masse molaire moléculaire est la masse d'une mole de molécules. Elle est égale à la somme des masses atomiques des éléments qui la constituent.

Exemple :

$$M_{NaOH} = M_{Na} + M_O + M_H = 40 \text{ g/mol}$$

Et la masse d'une molécule *NaOH* est $M_{mNaOH} = 40/NA = 6,6 \cdot 10^{-23} \text{ g} = 40 \text{ u.m.a.}$

LA THÉORIE DE DALTON (1808)

- Toute matière est constituée d'atomes, de minuscules particules indivisibles d'un élément qui ne peuvent être ni créées ni détruites.
- Les atomes d'un élément sont identiques en termes de masse et d'autres propriétés et sont différents des atomes de tout autre élément. (Ceci contient **les principales idées nouvelles de Dalton** : une masse et des propriétés uniques pour les atomes d'un élément donné).
- Les atomes d'un élément ne peuvent pas être convertis en atomes d'un autre élément. Dans les réactions chimiques, les atomes des substances d'origine se recombinent pour former des substances différentes.
- Les composés résultent de la combinaison chimique d'un rapport spécifique d'atomes de différents éléments. La nature ondulatoire de la lumière

Comment la théorie explique-t-elle les lois de masse ?

- **Conservation de la masse.** Les atomes ne peuvent être ni créés ni détruits (postulat 1 de Dalton), ni convertis en d'autres types d'atomes (postulat 3 de Dalton). Par conséquent, une réaction chimique, dans laquelle les atomes sont combinés différemment, ne peut pas entraîner de changement de masse.
- **Composition définie.** Un composé est une combinaison d'un rapport spécifique d'atomes différents (Postulat 4 de Dalton), dont chacun a une masse particulière (Postulat 2 de Dalton). Ainsi, chaque élément d'un composé constitue une fraction fixe de la masse totale.
- **Proportions multiples.** Les atomes d'un élément ont la même masse (postulat 3 de Dalton) et sont indivisibles (postulat 1 de Dalton). Les masses de l'élément B qui se combinent avec une masse fixe de l'élément A donnent un petit rapport de nombres entiers parce que des nombres différents d'atomes B se combinent avec chaque atome A dans différents composés.

Quelques observations importantes qui ont conduit au modèle de l'atome

- Expérience de J.J. Thompson : il a suggéré qu'il existait des particules encore plus petites que l'atome. On les a appelées électrons. Voir : <https://www.youtube.com/watch?v=raFcsFdrkdg>
- Expérience de Robert Millikan : il a suggéré que les électrons découverts par Thompson avaient une charge négative de $-1,602 \times 10^{-19}\text{C}$. Elle suggère également que la masse de l'électron est de $9,109 \times 10^{-28}$ g. Voir : <https://www.youtube.com/watch?v=a9UyOIZFwj0>
- Le modèle d'Ernest Rutherford : un atome est composé d'un noyau chargé positivement entouré d'électrons, qui sont chargés négativement,

Informations préliminaires

Physique classique et physique quantique

La physique classique est l'ensemble des théories qui décrivent de nombreux aspects de la nature à l'échelle macroscopique. Cependant, elle n'est pas suffisante pour les décrire à petite échelle (ou à l'échelle atomique et subatomique).

Le terme « subatomique » désigne tout ce qui est plus petit qu'un atome, c'est-à-dire les électrons, les protons, les neutrons, etc...

La physique quantique est une théorie fondamentale de la physique qui décrit le comportement de la nature à l'échelle des atomes et des particules subatomiques.

21

La mécanique quantique diffère de la physique classique en ce que l'énergie, le moment cinétique, le moment angulaire et d'autres quantités d'un système lié sont limités à des valeurs discrètes (quantification) ; les objets ont des caractéristiques à la fois de particules et d'ondes.

Informations préliminaires

Les sous-particules sont des particules dont la taille est inférieure à celle de l'atome. Elles comprennent :

les électrons

les protons

les neutrons

Les électrons sont **des particules élémentaires**, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas formés de particules plus petites et qu'ils ne peuvent pas être divisés davantage (jusqu'à présent !!!).

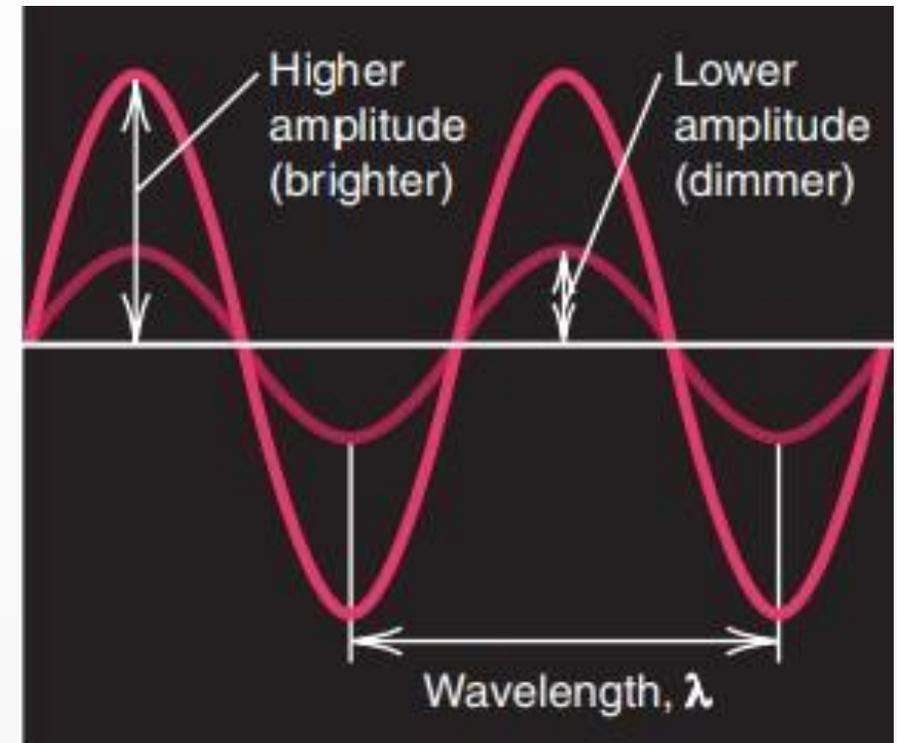
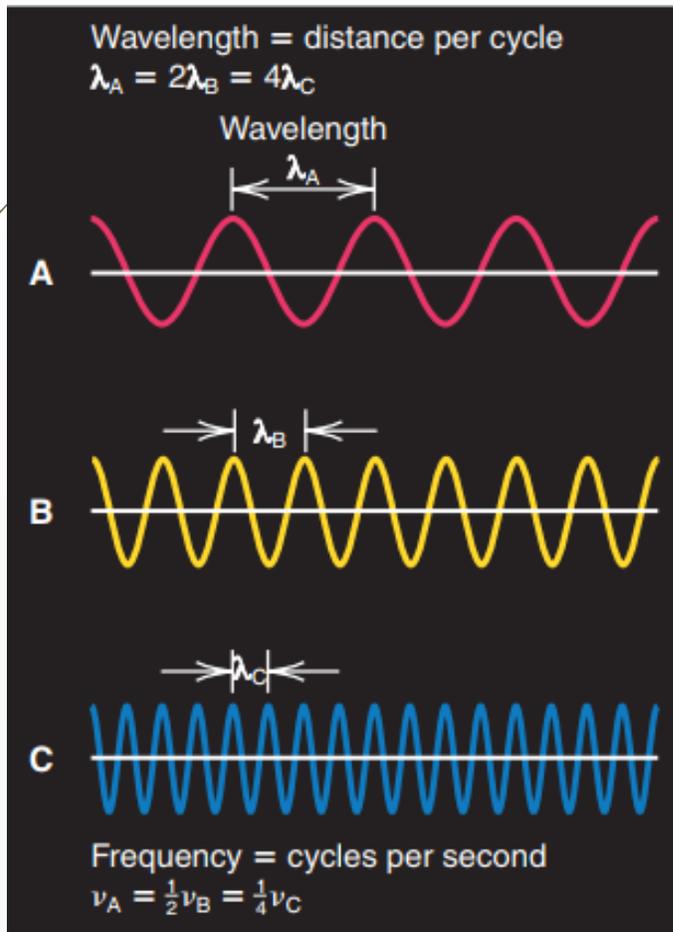
22

Les protons et les neutrons sont **des particules composites**, c'est-à-dire qu'ils sont formés de particules plus petites et peuvent être divisés en particules élémentaires plus petites.

La nature ondulatoire de la lumière

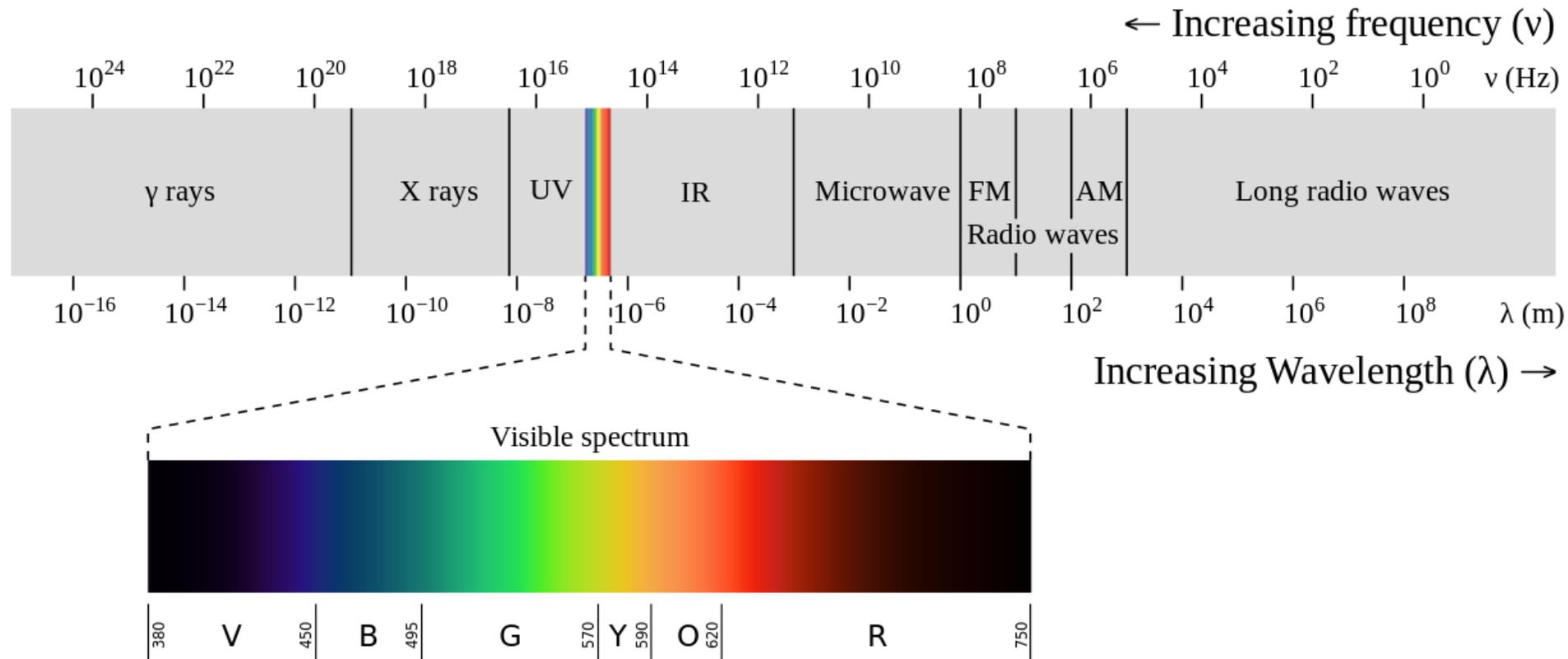
La lumière peut être décrite comme un flux continu de photons qui se déplacent de manière ondulatoire.

Les photons sont des particules sans masse qui se déplacent toujours à la vitesse de la lumière dans le vide, soit $2,99792458 \times 10^8$ m/s.



La nature ondulatoire de la lumière

Ce flux continu de photons représente un type de rayonnement qui appartient à un rayonnement plus large appelé rayonnement électromagnétique. Il s'agit d'une propagation d'énergie par des champs électriques et magnétiques dont l'intensité augmente et diminue au fur et à mesure qu'ils se déplacent dans l'espace.



Le spectre électromagnétique est la compilation de toutes les ondes existantes qui se déplacent à la même vitesse dans le vide, mais qui diffèrent par leur fréquence et, par conséquent, par leur longueur d'onde.

Quelques unités importantes

Fréquence, notée ν , et exprimée en Hertz Hz dans l'unité SI. $\nu = c / \lambda$

Longueur d'onde λ , exprimée en unité de longueur (m) dans l'unité SI.

Constante de Planck $h = 6,626 \times 10^{-34}$ J.s ou $6,626 \times 10^{-34}$ kg x m²/s

Pulsation ω , exprimée en radians par seconde (rad/s) dans l'unité SI.

Vitesse de la lumière c , une constante qui vaut $2,99792458 \times 10^8$ m/s (ou 3×10^8 m/s)

Nombre d'onde ν^{-1} , également appelé fréquence spéciale, utilisé en spectroscopie. $\nu^{-1} = 1 / \lambda$.

À ne pas confondre avec :

Énergie des photons E , exprimée en joules J dans l'unité SI, ou en électron-volt eV

($1\text{eV} = 1,60217653 \times 10^{-19}$ J).

Le caractère ondulatoire de la lumière

Le rayonnement électromagnétique est un continuum d'énergie rayonnante qui comprend de nombreuses lumières.

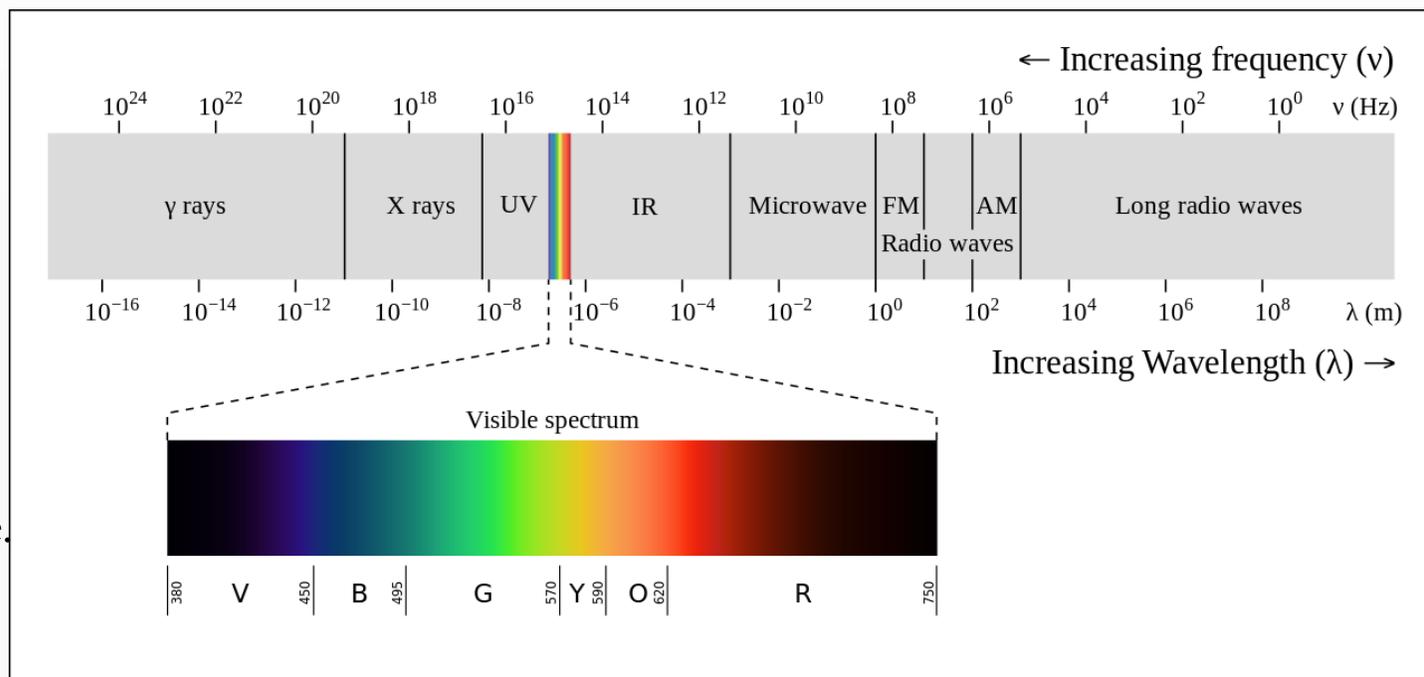
Chaque lumière est un flux de nombreux photons qui se déplacent dans l'espace à la manière d'une onde, caractérisée par sa fréquence (ou longueur d'onde). Une lumière peut être plus intense, c'est-à-dire que son amplitude est plus élevée, ou moins intense, c'est-à-dire que son amplitude est plus faible.

La lumière peut être **d'une seule longueur d'onde** et est appelée **monochromatique**.

La lumière peut avoir **plusieurs longueurs d'onde** et est dite **polychromatique**.

La lumière blanche est polychromatique.

Le laser est monochromatique.



Le caractère ondulatoire de la lumière

- À la fin du XIXe siècle, on croyait que la matière et l'énergie étaient distinctes. On pensait que la matière était constituée de particules, tandis que l'énergie sous forme de lumière (rayonnement électromagnétique) était décrite comme une onde.
- **Les particules** étaient des éléments ayant une masse et dont la position dans l'espace pouvait être spécifiée.
- **Les ondes** étaient décrites comme étant sans masse et délocalisées, c'est-à-dire que leur position dans l'espace ne pouvait pas être spécifiée.
- On supposait également **qu'il n'y avait pas d'interaction entre la matière et la lumière.**



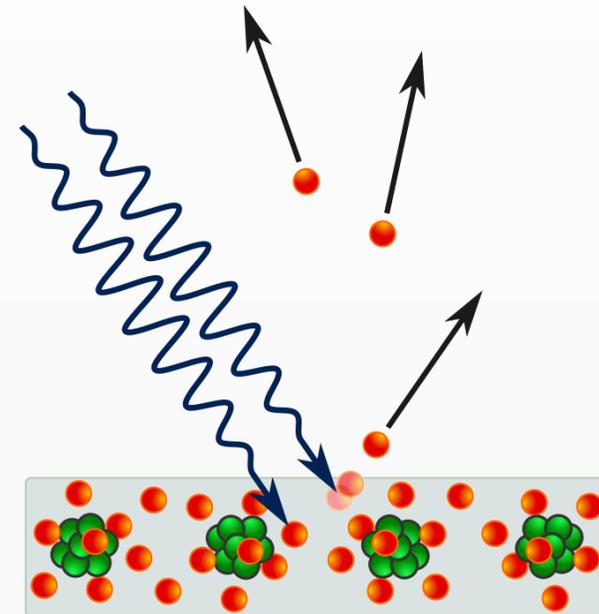
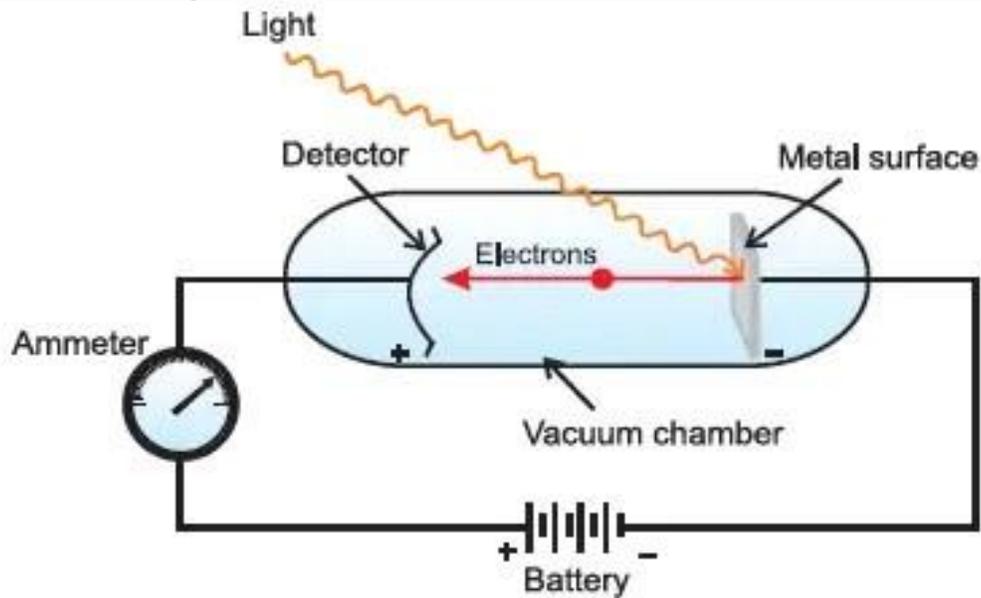
La nature ondulatoire de la lumière - Le problème

- Le rayonnement d'un objet chaud doit être émis par ses atomes. Si chaque atome ne peut émettre que certaines quantités d'énergie, il s'ensuit que chaque atome ne possède que certaines quantités d'énergie.
- L'énergie d'un atome est donc quantifiée : elle se présente en quantités fixes, au lieu d'être continue.
- Chaque changement dans l'énergie d'un atome se produit lorsque l'atome absorbe ou émet un ou plusieurs « paquets », ou quantités définies, d'énergie. Chaque paquet d'énergie est appelé un quantum (« quantité fixe » ; pluriel, quanta). Un quantum d'énergie est égal à $h\nu$.
- Ainsi, un atome change d'état énergétique en émettant (ou en absorbant) un ou plusieurs quanta, et l'énergie du rayonnement émis (ou absorbé) est égale à la différence entre les états énergétiques de l'atome :



L'effet photoélectrique et la dualité onde-corpuscule

L'effet photoélectrique désigne le phénomène par lequel des électrons sont émis à la surface d'un métal lorsque celui-ci est frappé par la lumière.





L'effet photoélectrique et la dualité onde-corpuscule

Les observations suivantes caractérisent l'effet photoélectrique.

1. Les études dans lesquelles la fréquence de la lumière est modifiée montrent qu'aucun électron n'est émis par un métal donné en dessous d'une fréquence seuil spécifique ν_0 .
2. Pour une lumière de fréquence inférieure à la fréquence seuil, aucun électron n'est émis quelle que soit l'intensité de la lumière.
3. Pour une lumière dont la fréquence est supérieure à la fréquence seuil, le nombre d'électrons émis augmente avec l'intensité de la lumière.
4. Pour une lumière de fréquence supérieure à la fréquence seuil, l'énergie cinétique des électrons émis augmente linéairement avec la fréquence de la lumière.

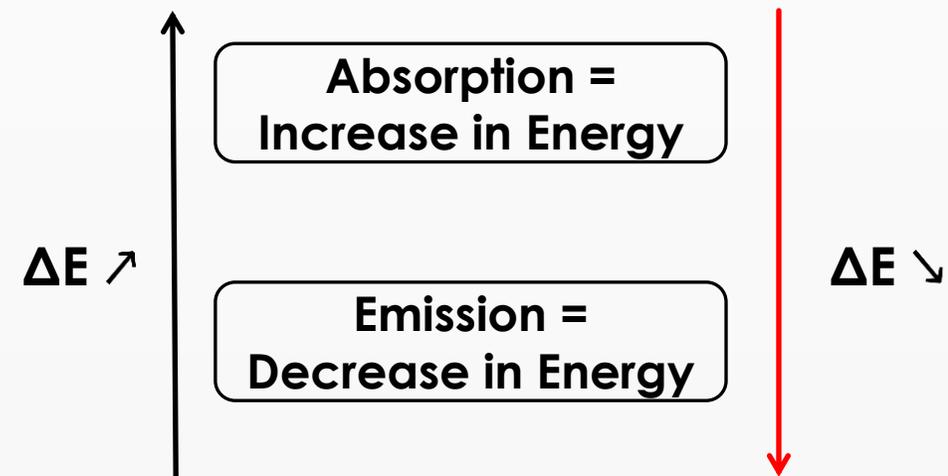
L'effet photoélectrique et la dualité onde-corpuscule

Les électrons étant des leptons et les photons des bosons, tous deux des particules élémentaires, les photons doivent avoir leur propre énergie qui est transmise aux électrons lors de l'interaction. C'est pourquoi Einstein a suggéré que le rayonnement électromagnétique pouvait être considéré comme un flux de photons. Chaque atome modifie son énergie, ΔE_{atom} , lorsqu'il absorbe ou émet un photon, dont l'énergie est liée à sa fréquence et non à son amplitude.

L'énergie de chaque photon est donnée par l'expression

31

$$\Delta E_{\text{atom}} = E_{\text{photon}} = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$





L'effet photoélectrique et la dualité onde-corpuscule

L'énergie de chaque photon est donnée par l'expression :

$$\Delta E_{\text{atom}} = E_{\text{photon}} = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

D'autre part, Einstein a montré que : $E_{\text{photon}} = m \cdot c^2$

Ce qui suggère que l'énergie a une masse

$$m = \frac{E_{\text{photon}}}{c^2} = \frac{h}{\lambda \cdot c}$$

32

Cela suggère que les photons ont une masse, mais lorsqu'ils sont en mouvement ; les photons au repos (sans mouvement) n'ont pas de masse (rappelez-vous que les photons, tout comme les électrons, sont toujours en mouvement).

C'est ce qu'on appelle **la relativité d'Einstein.**