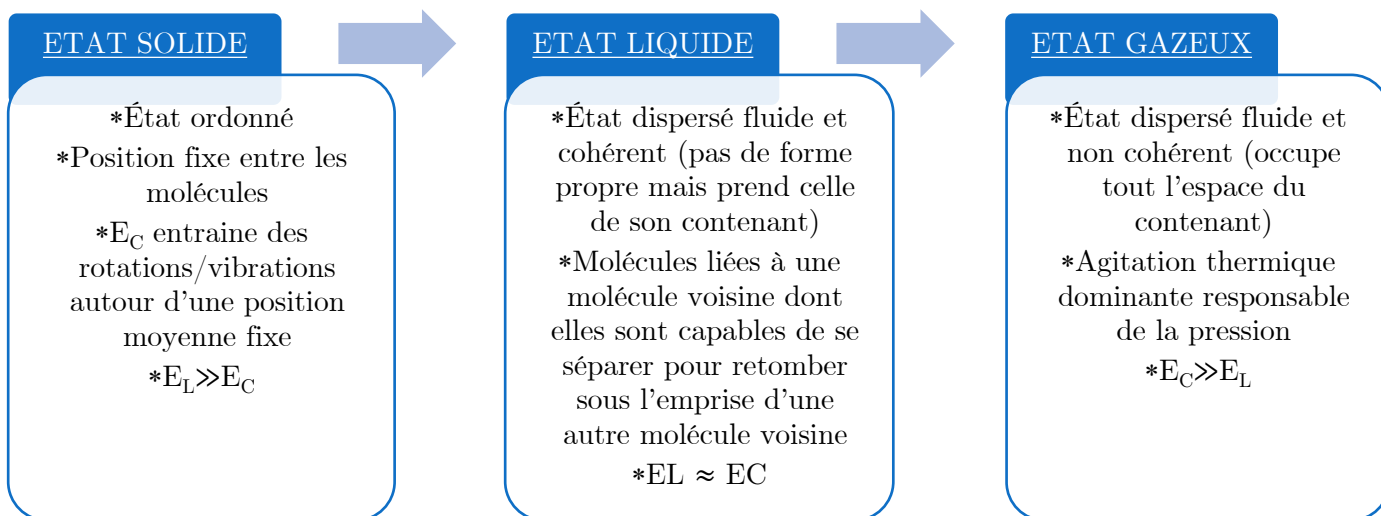


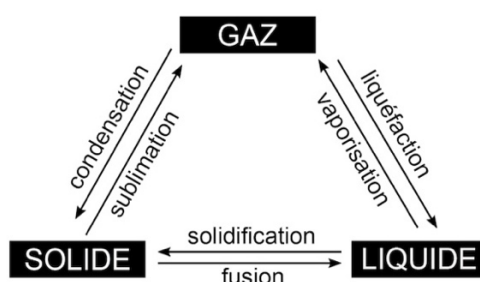
LES ETATS DE LA MATIERE

I. LES 3 ETATS DE LA MATIERE (RAPPEL)

A. Les 3 états



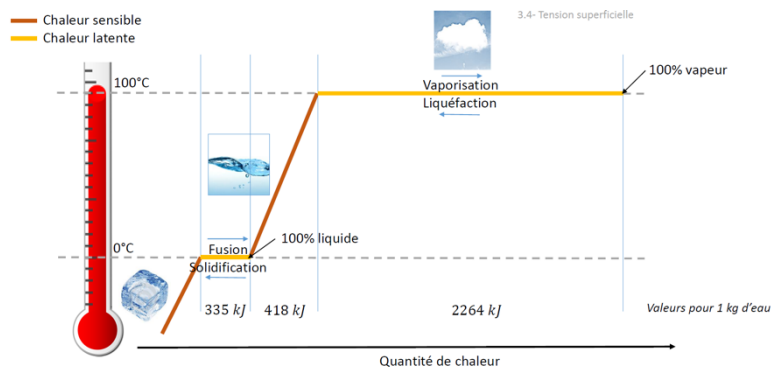
B. Passage d'un état à l'autre



C. Exemple de l'eau

Quand on part de la glace, on va augmenter la température jusqu'à 0°C grâce à la chaleur **sensible**. Si à 0°C on continue à fournir de l'énergie, cette énergie consistera en chaleur **latente** qui permettra la **fusion** et donc le passage à l'état liquide.

Une fois le passage à l'état liquide réalisé, si on continue à fournir de l'énergie on va augmenter la chaleur **sensible** et donc augmenter la température jusqu'à 100°C . Et à 100°C cette énergie sera de nouveau de la chaleur **latente** pour provoquer la **vaporisation** et donc entraîner le passage de l'état liquide à l'état gazeux.



→ Donc la chaleur sensible permet l'augmentation de la température alors que la chaleur latente elle permet le changement d'état comme la fusion et la vaporisation !



II. ÉTAT GAZEUX : QUELQUES ELEMENTS APPLIQUES A LA RESPIRATION

A. Composition d'un mélange gazeux

Définition : Le mélange gazeux est composé de différents gaz, et chaque gaz est présent avec une certaine proportion qui est donnée par la **fraction molaire** notée F_i .

$$F_i = \frac{n_i}{n_{tot}}$$

Fraction molaire :

n_i : nb moles du gaz composant
 n_{tot} : nb moles du mélange

Exemple : air sec respiré : $F_i O_2 = 21\%$ mais on peut l'augmenter en médecine en utilisant des gaz enrichis en oxygène qui eux ont une $F_i O_2 = 60\%$.

→ Patient qui respire à 30 l/min, donc $0,21 \times 30 = 6,3$ l/min ;

On ajoute de l'oxygène pur à 10 l/min ; on obtient 16,3 l/min ;

$$F_i = \frac{16,3}{30+10} = \frac{16,3}{40} = 0,4$$

B. Notion de pression partielle

Définition : c'est la pression qu'exercerait les molécules du composant s'il occupait seul le volume du mélange. Elle est liée à la fraction molaire :

$$P_i = F_i \times P_{tot}$$

P_{tot} : pression du mélange

Exemple de l'air sec respiré :

Sachant que la pression atmosphérique vaut :

$P_{atm} = 1013 \text{ hPa} = 760 \text{ mmHg}$ on a donc

$$P_i = F_i \times 760 \text{ mmHg}$$

| Gaz | F_i (%) | P_i (mmHg) |
|---------------------------|-----------|--------------|
| Diazote N_2 | 78,00 | 592,7 |
| Dioxygène O_2 | 21,00 | 160 |
| Gaz rares inertes | 0,92 | 7 |
| Dioxyde de carbone CO_2 | 0,04 | 0,3 |

En altitude cependant on a plus de difficultés à respirer car on a une diminution de la pression atmosphérique, comme la fraction molaire ne change pas on a alors un changement de la pression partielle d'oxygène.

Ainsi à 5000 m, $P_{atm} = 380 \text{ mmHg}$ et donc $P_i O_2 = 80 \text{ mmHg}$.

L'air inspiré est différent de l'air sec car il est saturé en **vapeur d'eau** lorsqu'il passe dans les voies aériennes supérieures.

Ainsi $P_i O_2 = F_i \times (5760-47) = 150 \text{ mmHg}$ (on soustrait 47 mmHg car c'est la pression occupée par la vapeur d'eau).

C. Gaz dissous dans le sang

Lorsque les gaz passent dans le sang ils vont devoir **passer de l'état gazeux à l'état dissous**.

En effet les molécules de gaz se dissolvent dans les liquides et donc acquièrent une concentration.

Selon la **loi de Henry** on a :

$$C_i = \alpha_i \times P_i$$

α_i : coefficient de solubilité



Comme on peut voir sur ce tableau la solubilité du CO₂ qui est 20 fois supérieur à celui de l'O₂.

| Gaz | α_i [mmol.L ⁻¹ .kPa ⁻¹] |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Diazote N ₂ | 0,006 |
| Dioxygène O ₂ | 0,0105 |
| Dioxyde de carbone CO ₂ | 0,225 |

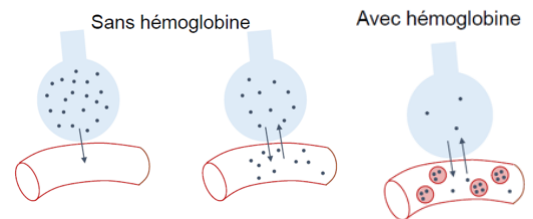
La répartition dans le sang :

- Pour l'O₂ : la forme dissoute est négligeable, car il est essentiellement lié à l'hémoglobine
- Pour le CO₂ : la forme dissoute représente seulement 6%, car il est essentiellement converti dans le plasma sous forme de bicarbonates qui représente 92%, la forme liée à l'hémoglobine est négligeable (2%)
- Seuls les gaz inertes sont purement dissous.

D. Transfert alvéolo-capillaire de l'O₂

Diffusion à travers la membrane alvéolo-capillaire

- Cette diffusion se fait selon la **loi de Fick** et en fonction du **gradient de pression partielle**.
- Ainsi : $P_iO_2 = 150 \text{ mmHg} = 19950 \text{ Pa}$ donc $C(O_2) = \alpha P_iO_2 = 209 \text{ mmol.l}^{-1}$



Le transfert érythrocytaire

- Dès que l'oxygène est dans le plasma, il n'y reste pas car il traverse directement la membrane du globule rouge et se **fixe à l'hémoglobine** grâce à une réaction chimique. Ainsi la concentration dissoute dans le plasma reste très faible.

Saturation artérielle en oxygène

- C'est le rapport entre l'hémoglobine qui fixe l'oxygène sur l'hémoglobine totale :

$$SaO_2 = \frac{HbO_2}{Hb_{tot}}$$

- Elle est normale si **SaO₂ > 95%** ainsi l'hémoglobine est **presque saturée en oxygène**, donc fixe beaucoup d'oxygène, ainsi la concentration en oxygène dans le plasma diminue. Permettant ainsi le maintien d'un gradient favorable à la diffusion dans le sens alvéole-sang de l'oxygène.

III. ÉTAT SOLIDE : QUELQUES ELEMENTS APPLIQUES A L'OS

A. Rappel sur les déformations élastiques

Les solides ont une certaine élasticité ce qui leur permet sous une contrainte de se déformer avec un retour à la configuration initiale quand la contrainte cesse. C'est donc une déformation transitoire.

Dans ce cours on parlera surtout de la contrainte longitudinale qui se caractérise par la compression qui s'exerce sur les os.



Ces propriétés de déformabilité sont régies par une loi : la loi de Hooke exprime la force qui produit la déformation.

$$F = \gamma S \frac{\Delta L}{L}$$

γ : module d'élasticité de Young

S : surface de la section

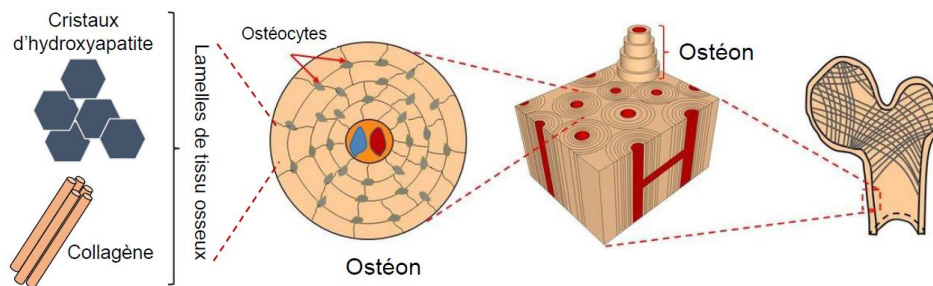
$\frac{\Delta L}{L}$: raccourcissement/allongement

Le module de Young c'est le rapport entre la contrainte et la déformation, donc plus il est élevé plus la matière est rigide.

B. Structure de l'os

L'os est composé de 2 types de structure : l'os spongieux (essentiellement nutritif ou se fait principalement le développement de la moelle hématopoïétique) et l'os compact, cependant seul l'os compact est intéressant sur le plan de la mécanique.

→ L'os compact : a pour unité structurale l'ostéon qui est lui-même composé d'un empilement de lamelle qui associent une matrice organique (aussi appelée ostéoïde qui est riche en collagène) et une composante minérale comprenant des cristaux de *phosphate de calcium hydraté* ou hydroxyapatite : $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$. Donc cet ensemble d'ostéons forment l'os compact.



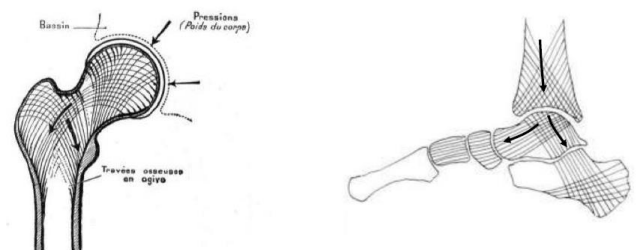
→ La matrice organique conditionne les propriétés élastiques alors que la partie minérale détermine la résistance aux déformations.

C. Propriétés mécaniques de l'os compact

L'os compact a des propriétés mécaniques qui sont dites **anisotropes** c'est-à-dire qu'elles **dépendent de la direction**.

Le **module d'élasticité de Young** est plus élevé dans le sens **longitudinal** des travées que dans le sens transversal.

Ainsi les travées osseuses sont organisées pour répondre au mieux aux pressions ainsi les directions des travées osseuses correspondent aux forces de pression. On peut remarquer ces travées sur les schémas ci-dessous :



NOTION DE MASSE ET D'ENERGIE

I. LA MASSE EN MECANIQUE CLASSIQUE

La masse est définie comme la mesure de la **quantité de matière d'un corps**. Dans le système international (SI) elle s'exprime en **kg**.

Cependant le kg comme le gramme (utilisé en chimie) n'est pas adapté pour les atomes isolés ou pour les particules élémentaires (physique). Il faut trouver une unité de masse cohérente avec la nomenclature des noyaux :



A : nombre de masse (nb nucléons)
Z : numéro atomique (nb protons)

II. LA MASSE (MOLAIRE) ATOMIQUE

C'est la masse d'une mole d'atome, elle s'exprime en **gramme** et est définie comme la masse de \mathcal{N} atomes (\mathcal{N} : le nombre d'Avogadro $\mathcal{N} = 6,02.10^{23}$)

Le nombre d'Avogadro \mathcal{N} a été choisi pour qu'**une mole d'atomes de carbone 12 ait une masse de 12g**. Le nombre de masse A est l'entier le plus proche de la masse atomique exprimée en g.

| Masse | Hydrogène 1_1H | Carbone ${}^{12}_6C$ | Oxygène ${}^{16}_8O$ |
|-------------------------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| d'un atome en g | 0,167.10 ⁻²³ | 2.10 ⁻²³ | 2,657.10 ⁻²³ |
| d'une mole d'atomes en g (masse atomique) | 1,007 | 12 | 15,994 |
| A nombre de masse (nombre de nucléons) | 1 | 12 | 16 |

La masse molaire nous donne des chiffres manipulables, cependant elle concerne un nombre élevé d'atomes, ainsi cette unité est plutôt utilisée en chimie.

III. L'UNITE DE MASSE ATOMIQUE (U)

C'est une unité particulière car elle est hors SI mais elle est adaptée à l'échelle des atomes isolés donc on l'utilise en physique.

Définition : elle correspond à 1/12ème de la masse **d'un atome** de carbone 12.

$$1u = \frac{12g}{\mathcal{N}} \times \frac{1}{12} = \frac{1}{\mathcal{N}} = \frac{1}{6,02.10^{23}} = 0,166.10^{-23} \text{ g}$$

| Masse | Hydrogène 1_1H | Carbone ${}^{12}_6C$ | Oxygène ${}^{16}_8O$ |
|-------------------------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| d'un atome en g | 0,167.10 ⁻²³ | 2.10 ⁻²³ | 2,657.10 ⁻²³ |
| d'une mole d'atomes en g (masse atomique) | 1,007 | 12 | 15,994 |
| d'un atome en unité de masse atomique | 1,007 | 12 | 15,994 |
| A nombre de masse (nombre de nucléons) | 1 | 12 | 16 |

Elle est adaptée pour décrire les masses des particules élémentaires.

On a ainsi :

$$M_u = m_g \times \mathcal{N}$$



On peut donc constater que :

La masse en u s'exprime par le même nombre que la masse d'une mole d'atome en g.mol^{-1} .

La valeur numérique de A peut exprimer 3 quantités selon son unité ou son absence d'unités :

→ Le **nombre de nucléons** (sans unité)

→ La valeur entière la plus proche de la **masse d'une mole d'atomes** (en g)

→ La valeur entière la plus proche de la **masse d'un atome** (en u)

IV. RELATIONS MASSE/ENERGIE

→ En mécanique classique :

La masse est définie comme la **résistance aux accélérations** (utilisée pour calculer la force nécessaire pour qu'un corps acquière une accélération).

→ Énergie d'une masse au repos :

Selon Einstein une masse au repos est une énergie :

$$E_0 = m_0 c^2$$

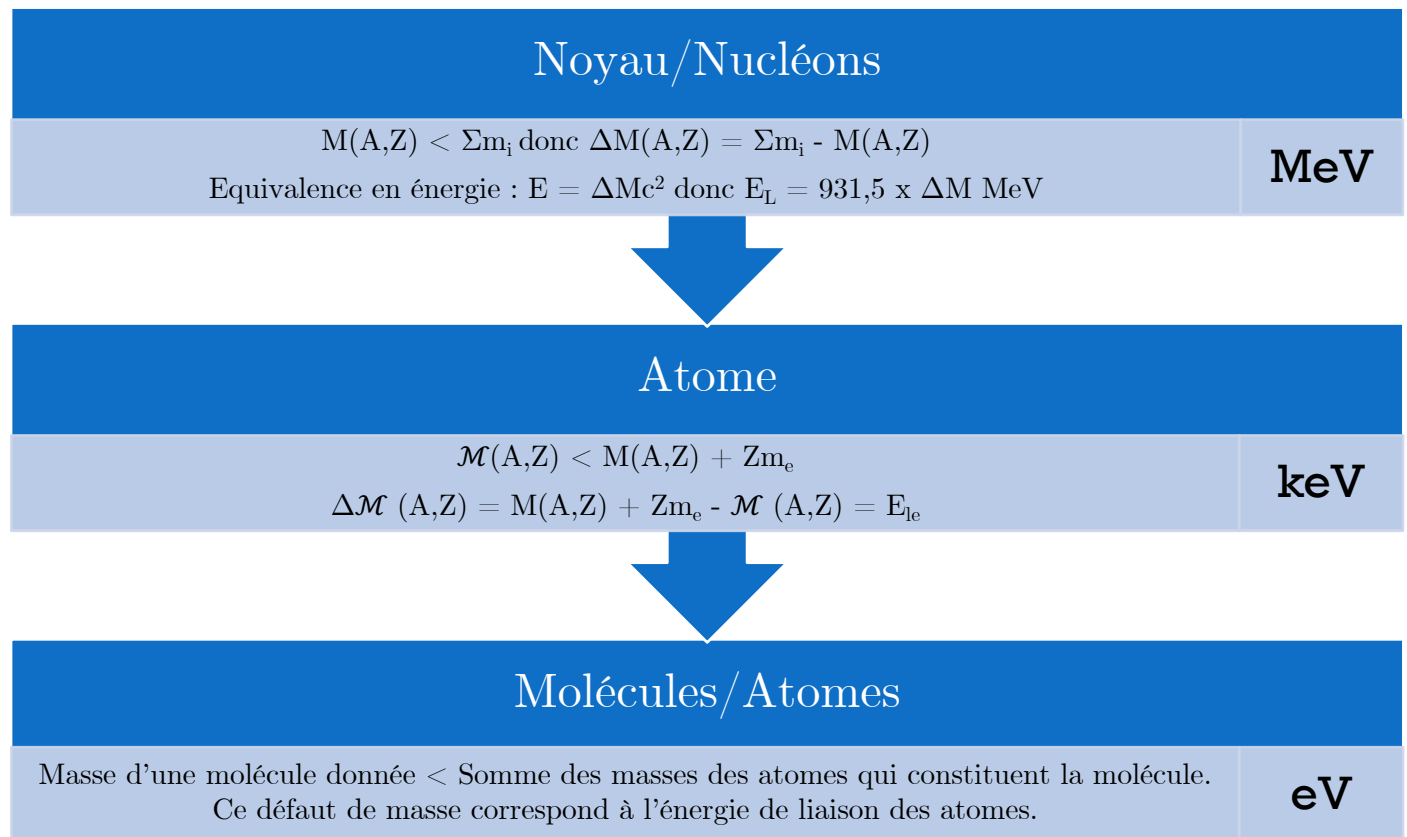
c : vitesse de la lumière

→ Équivalence masse/énergie pour 1u :

$$1u = \frac{0,166 \cdot 10^{-26} \times (2,9979 \cdot 10^8)^2}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 931 \text{ MeV}/c^2$$

V. DEFAT DE MASSE

Définition : Tout groupe cohérent de particule a un défaut de masse qui est lié à l'énergie de liaison de ses particules entre elles.



VI. CONCLUSION

Exemple du carbone 12 :

→ Nombre de nucléons : $A = 12$

→ On a différentes façons de mesurer sa masse :

- * La masse atomique = 12g
- * La masse d'un atome = 12u

→ Avec l'équivalence masse/énergie : $E_0 = m_0c^2$ on trouve les énergies de liaison :

- * L'énergie de liaison des **électrons** (on parle du défaut de masse au niveau atomique)
 $E = 0,277 \text{ keV}/c^2$
- * L'énergie de liaison des **nucléons** (on parle du défaut de masse au niveau nucléaire)
 $E = 92 \text{ MeV}/c^2$



I. PARTICULES MATERIELLES

A. L'électron

Synonyme : électron négatif ou négaton. C'est la particule qui constitue le rayonnement cathodique d'un tube à rayon X et qui est émise lors des transformations radioactives β^- .

Caractéristiques de l'électron :

* **Masse au repos** : $m_e = 9,1909 \cdot 10^{-28} \text{ g} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ u} = \frac{1}{2000} \text{ u}$

La masse au repos de l'électron est donc très faible.

* **Masse relativiste** : Sa vitesse est non négligeable par rapport à la célérité de la lumière c
 → particule relativiste :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

m_0 : masse au repos

Exemple : si elle a une vitesse $v = 0,5 c$ on a ainsi $m = 1,15 m_0$

* **Équivalence masse/énergie** : $E_0 = m_0 c^2 = 931 \times 0,548 \cdot 10^{-3} = 0,511 \text{ MeV} = 511 \text{ keV}$

* **Charge négative** : $e^- = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

* **Unité d'énergie** : électron volt (eV), pour exprimer l'énergie de manière adaptée aux énergies mises en jeu par l'atome, qui correspond à l'énergie acquise par un électron sans vitesse initiale sous l'effet d'une différence de potentiel de 1 volt.

On a $1 \text{ eV} = E_C = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

B. Le proton et le neutron

| | Proton (1_0p) | Neutron (1_0n) |
|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Masse au repos | $m_p = 1,007 \text{ u}$ | $m_n = 1,009 \text{ u}$ |
| Vitesse | Non relativiste | Non relativiste |
| Charge | $E^+ = 1,602 \cdot 10^{-19}$ | Nulle |
| Stabilité | Stable | Instable hors du noyau : se décompose immédiatement |

C. L'atome d'hydrogène

Comme son noyau est composé d'un seul proton et sachant que la masse du proton au repos vaut : $m_p = 1,007 \text{ u}$ et que la masse de l'électron au repos vaut : $m_e = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ u}$.

Ainsi la masse de l'atome d'hydrogène vaut : $m_H = 1 \times m_p + 1 \times m_e = 1,0075 \text{ u}$ donc selon le degré de précision on peut dire que : $m_H = 1 \times m_p = 1,007 \text{ u}$.



D. Particules matérielles

| Particules | Propriétés | Masse au repos | Charge |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Positon β^+ | Antiparticule de l'électron | $m = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ u}$ | $+ 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ |
| Neutrino ν et antineutrino $\bar{\nu}$ | Expliquent la radioactivité β^+ et β^- | Quasi nulle | Nulle |
| Particule α | 4 nucléons : $2p + 2n$ Noyau de l'hélium ${}^4_2\text{He}$ Notée : $\alpha, \alpha^{++}, {}^4_2\text{He}, \text{He}^{++}$ | $m = 4,0015 \text{ u} < 2m_p + 2m_n$ | $+ 3,204 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 2 \times e^+$ |

II. ONDES ELECTROMAGNETIQUES

A. Représentation ondulatoire classique

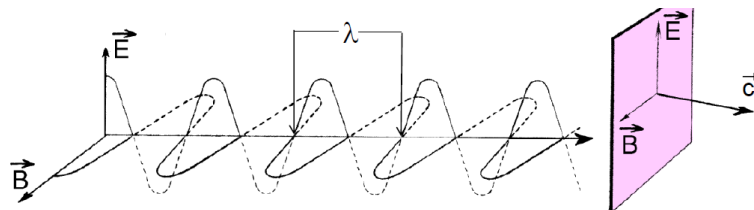
C'est une perturbation du champ électromagnétique qui se **propage dans le vide à la vitesse de la lumière** : $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

C'est la propagation simultanée d'un champ électrique et d'un champ magnétique qui vibrent en phase, et qui sont perpendiculaires l'un par rapport à l'autre et par rapport à la direction de propagation.

On caractérise les ondes électromagnétiques par :

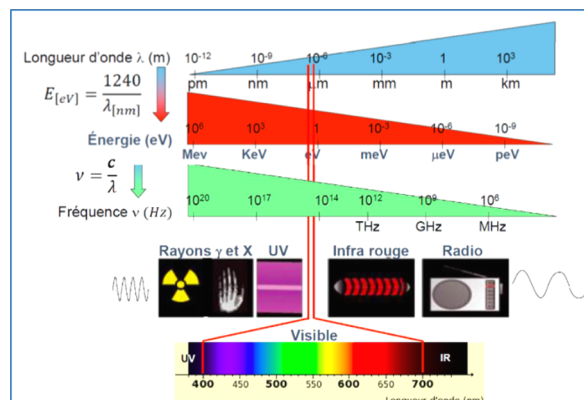
→ Leur **longueur d'onde**, notée λ , qui est la plus petite distance séparant 2 points dans un même état d'excitation

→ Leur **fréquence**, notée ν , avec le rapport suivant : $\nu = \frac{c}{\lambda} \text{ Hz}$



B. Le spectre des ondes électromagnétiques

On peut voir que les ondes qui ont une longueur d'onde courte, ils ont une fréquence et une énergie élevée et inversement. Le domaine du visible est très étroit s'étendant de 400 à 700 nm



C. Représentation quantique

Une onde EM ne peut céder ou acquérir de l'énergie qu'elle transporte que par des quantités discontinues, multiples

On a donc : $E = h\nu$ ou $E = \frac{hc}{\lambda}$ en J

La relation de Duane et Hunt : on peut relier E et λ dans les unités adaptées (E en eV et λ en nm) :

$$E = \frac{1240}{\lambda}$$

III. DUALITE ONDE/PARTICULE

On a en général : les particules qui ont une masse et donc produisent des collisions, on a aussi les ondes qui elles n'ont pas de masse et sont à l'origine du phénomène de diffraction.

A. Selon Einstein

Les OEM peuvent être considérées comme de nature corpusculaire = les photons.

Comme on a $E = mc^2$ pour une particule de masse m et on a $E = \frac{hc}{\lambda}$ du quantum de Planck on trouve ainsi :

$$E = mc^2 = \frac{hc}{\lambda} \rightarrow m = \frac{h}{\lambda c}$$

→ On peut donc considérer les ondes comme des corpuscules appelés **photons**. Ils ont une masse théorique qui est exclusivement dynamique.

B. Selon Broglie

On peut associer à chaque particule une représentation ondulatoire.

Comme on a $m = \frac{h}{\lambda c}$ pour un photon on a donc pour une particule $m = \frac{h}{\lambda v}$ avec v la vitesse de la particule.

La relation d'Einstein vaut pour toutes les particules dont l'électron.

Ainsi pour toute particule de masse m et de vitesse v on peut associer une onde : $\lambda = \frac{h}{mv}$

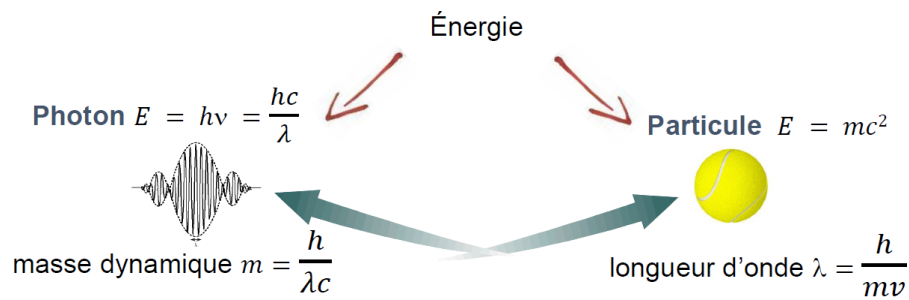
→ D'après **Einstein** on peut considérer une **onde λ avec une masse dynamique**

→ D'après **De Broglie** une **particule de masse m en mouvement** peut être caractérisée par une **longueur d'onde**



IV. CONCLUSION

L'énergie peut être transportée de différentes manières : soit par un photon, soit par une particule :



Cependant cette théorie a des limites en pratique car elle dépend de l'échelle :

- Si on a un **électron** qui a une différence de potentiel de 100 V sa longueur d'onde sera de l'ordre : $\lambda = 1,2 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ donc on est dans l'ordre de grandeur du noyau (10^{-15} m)
- Si on a une **balle de tennis** à 100 km/h ici la longueur d'onde sera de l'ordre de : $\lambda = 4,2 \cdot 10^{-34} \text{ m}$, il n'y aura donc pas de manifestation ondulatoire à cette échelle car elle est en dehors de l'échelle du monde physique.



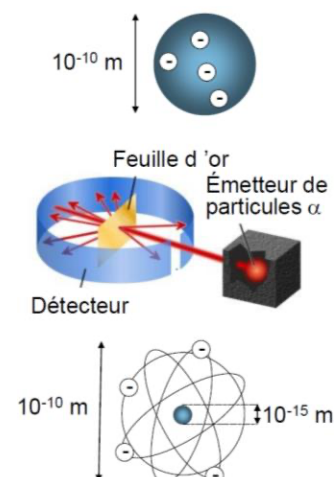
ELEMENTS SUR LA STRUCTURE ELECTRONIQUE DE L'ATOME

I. LE MODELE DE RUTHERFORD (1911)

Jusqu'au début du XXème siècle l'atome était considéré comme une **sphère pleine positive** sur laquelle étaient accrochées des charges négatives.

Rutherford a effectué une expérience qui consiste à **émittre des particules α** qui bombardent une cible (une feuille d'or), et ainsi **détecter les déviations** de ces particules.

Il a pu donc observer que la diffusion des particules à travers la feuille métallique était **incompatible avec le modèle sphérique** car une majorité des particules α n'étaient **pas déviées**, il a donc conclu que la matière est **pleine de vide**. La plupart des particules alpha ne sont pas pleines comme il le pensait.



Il décrit ainsi le **modèle planétaire** :

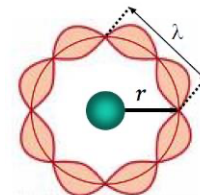
→ Dans ce modèle la **masse** serait **concentrée au niveau du noyau** qui lui-même est chargé **positivement** (10^{-15}m).

→ Et les **électrons** chargés négativement sont **refoulés à la périphérie** du vide péri-nucléaire (10^{-10}m).

II. LE PRINCIPE DU MODELE DE BORD

Le modèle de Bohr est une conséquence directe de la **dualité onde-particule** :

Si on considère un atome d'hydrogène composé d'un proton et d'un électron qui gravite autour de lui, pour que cet électron puisse tourner autour du noyau, il faut que le périmètre de cette l'orbite soit compatible avec la nature ondulatoire de l'électron.



La circonférence de l'orbite doit donc pouvoir loger un nombre entier de longueur d'onde de l'électron :

$$l = 2\pi r = n\lambda$$

n : nombre entier

Le rayon r de orbites possible est donc quantifié : il y a un nombre fini d'orbites de rayons :

$$r = n \frac{\lambda}{2\pi}$$

L'intensité de la liaison des électrons dépend de l'orbite sur laquelle il va se positionner.

III. MODELE DE BOHR : ENERGIE DE L'ELECTRON

Les conséquences du modèle de Bohr sur l'énergie de l'électron

Pour l'atome H et l'orbite n on a l'énergie de l'électron qui vaut :

$$W_n = -13,6 \frac{1}{n^2} \text{ eV}$$

→ L'énergie de l'électron W est **négative**, puisqu'on considère qu'il est dans un puits d'énergie



→ L'énergie de liaison E_L de l'électron : c'est l'énergie qu'il faut apporter pour arracher cet électron à l'édifice atomique et l'emporter loin de l'influence du noyau. Les valeurs entre E_L et W sont proches car E_L vaut la valeur absolue de l'énergie de l'électron, elle est donc **positive** :

$$E_L = |W|$$

→ W et E_L sont quantifiés de manière discontinue car elles dépendent de n .

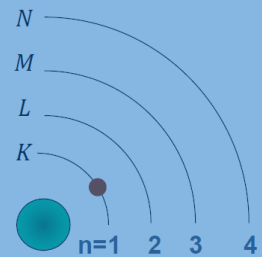
Pour l'atome 1_1H on a ce tableau selon les différentes valeurs de n :

| n | 1 | 2 | 3 | 4 | |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|--|
| r ($10^{-10} m$) | 0,5 | 2 | 4,5 | 8 | |
| Orbite | <i>K</i> | <i>L</i> | <i>M</i> | <i>N</i> | |
| W_n (eV) | -13,6 | -3,4 | -1,5 | -0,8 | |
| | | $W_k/4$ | $W_k/9$ | $W_k/16$ | |

Dans le modèle de Bohr on note les orbites K, L, M ...

→ A l'état **fondamental** de H, l'électron occupe la couche K car c'est la couche qui correspond à l'énergie W_n **minimale** (et donc E_L **maximale**).

→ Il peut passer sur une orbite supérieure par **absorption d'un quantum d'énergie** : *exemple si on apporte une énergie : $\Delta E = 10,2 eV$, on a un passage de la couche K à la couche L.*



IV. GENERALISATION DU MODELE DE BOHR (Z QUELCONQUE)

Nous nous sommes intéressés au niveau d'énergie de l'électron sur un atome d'hydrogène, maintenant nous verrons comment considérer le niveau d'énergie sur n'importe quel atome.

Théoriquement : si on extrapole la formule pour l'hydrogène on trouve

$$W_n = -13,6 \frac{Z^2}{n^2} eV$$

Cependant en réalité on a le **cortège électronique** qui modifie l'interaction noyau/électron (car les électrons se gênent les uns les autres) par un **effet écran** :

$$W_n = -13,6 \frac{(Z-\sigma)^2}{n^2} eV$$

σ : est d'écran

Ex : la couche M du tungstène ($Z=74$) :

→ La valeur théorique : $W_n = -13,6 \frac{74^2}{3^2} = -8275 eV$

→ La valeur réelle : $W_n = -13,6 \frac{(74-30,8)^2}{3^2} = -2820 eV$

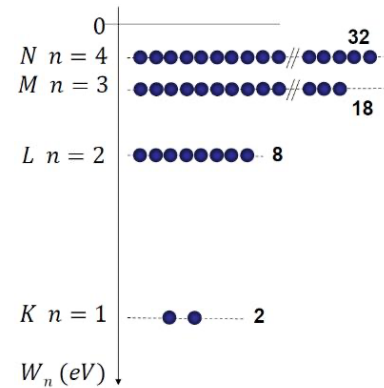


V. REMPLISSAGE DES COUCHES ELECTRONIQUES DANS LE MODELE DE BOHR

Pour savoir combien d'électrons peut contenir une couche on utilise les règles de remplissage :

On a au maximum $2n^2$ électrons par couche :

- Pour la couche K on a au maximum 2 électrons ($2 \times 1^2 = 2$)
- Pour la couche L ($n=2$) on aura 8 électrons
- Pour la couche M ($n=3$) on aura 18 électrons
- Pour la couche N ($n=4$) on aura 32 électrons



VI. CONCLUSION

→ Tous les atomes sont construits selon le même mode de remplissage des couche électroniques avec la règle du modèle de Bohr : $2n^2$

→ Les énergies des électrons dépendent des couches sur lesquelles ils sont positionnés ainsi que du Z de l'atome :

| | Hydrogène $Z = 1$ | Calcium $Z = 20$ | Tungstène $Z = 74$ |
|----------------|-------------------|------------------|--------------------|
| W_k (eV) | - 13,6 | - 4000 | - 69500 |
| W_{ext} (eV) | - 13,6 | - 25,4 | - 5,7 |

→ Les électrons de la couche K sont les plus fortement liés : W_K varie beaucoup selon les atomes (fonction de Z^2 à l'effet écran près)

→ Les électrons de la couche la plus externe sont les moins fortement liés (car il y a un effet écran plus important), W_{ext} varie peu selon les atomes (dépend peu du Z)

→ Lorsque les couches électroniques les plus basses sont complètes, l'atome est alors dans son état fondamental.

→ Si l'atome a acquis une certaine quantité d'énergie alors il est en excès d'énergie, il se trouve donc dans un état excité

