



Biophysique

Physique de la matière

# Table des matières

01 Les états de la matière

02 Notion de masse et d'énergie

03 Particules et ondes

04 Structure électronique de l'atome

OI

Les états de la matière



# Rappel: les trois états de la matière



Solide

- Etat **ordonné**, position **fixe** des molécules
- $E_C$  = rotations/vibrations autour d'une position fixe
- $-E_L \gg E_C$  +++



Liquide

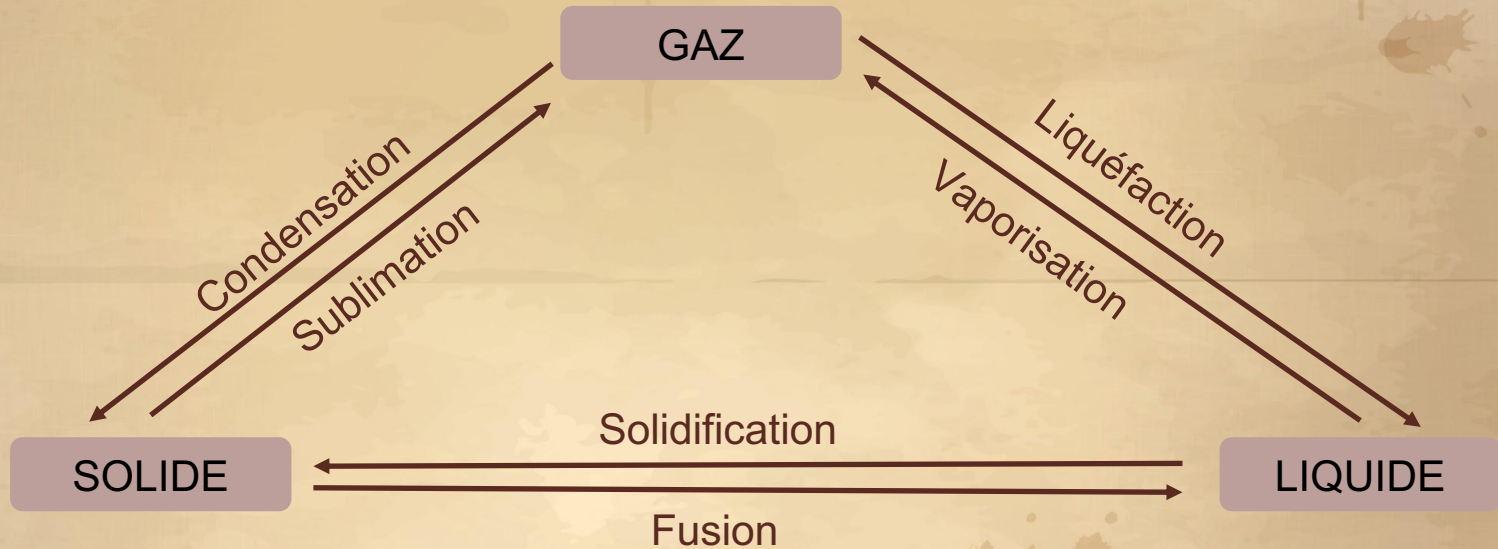
- Etat **dispersé**, fluide, **cohérent**
- Molécules liées à une molécule voisine
- $E_L \approx E_C$  +++



Gazeux

- Etat dispersé, fluide, **non cohérent** ++
- Agitation thermique responsable de la pression
- $E_L \ll E_C$  +++

# Passage d'un état à l'autre:



# Exemple de l'eau



## Chaleur sensible

Quantité d'énergie que l'on peut fournir à un corps SANS obtenir un changement d'état +++



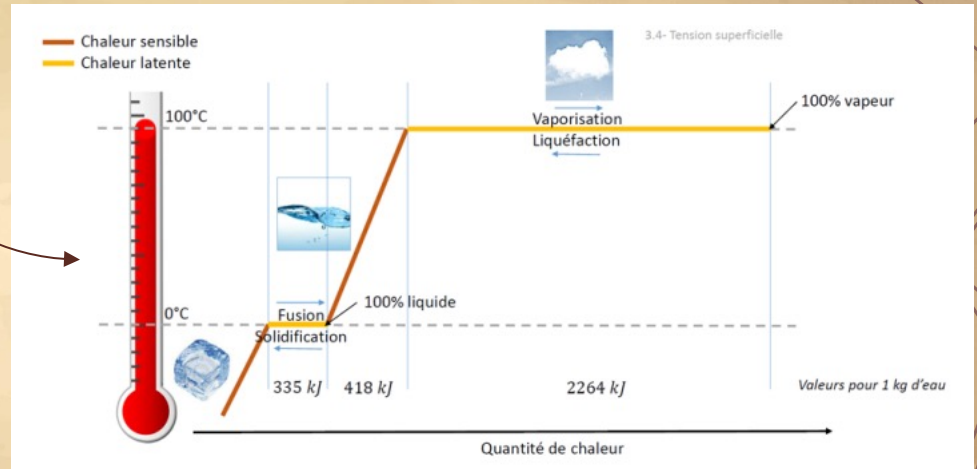
## Chaleur latente

Quantité d'énergie qu'il faut fournir à un corps pour obtenir un changement d'état à T et P constantes

Chaleur **sensible**

Chaleur **latente**

Chaleur latente = changement d'état  
Chaleur sensible = augmentation de la température +++



# Petit point sur l'état gazeux

## Composition d'un mélange gazeux

Un mélange gazeux est composé de différents gaz, chaque gaz est présent selon une certaine proportion, donnée par la fraction molaire  $F_i$

$$\text{Fraction molaire: } F_i = \frac{n_i}{n_{tot}} \text{ +++}$$

Avec  $n_i$  : nombre de moles du gaz

$n_{tot}$  : nombre total de moles du mélange

## Notion de pression partielle

C'est la pression qu'exercerait un gaz si ce gaz occupait seul le volume du mélange

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

# Instant QCM !

QCM 1 : A propos des différents états de l'eau, veuillez indiquer la (les) propositions exactes:

- A) L'état liquide est un état fluide et non cohérent
- B) Pour l'état solide, l'énergie cinétique est très supérieure à l'énergie de liaison
- C) Le passage d'un état gazeux à un état liquide s'appelle la liquéfaction
- D) Le passage d'un état solide à un état liquide s'appelle la liquéfaction
- E) Les propositions A, B, C, et D sont incorrectes.

# Instant QCM !

Correction : C

- A) Faux : L'état liquide est fluide et **cohérent**
- B) Faux : C'est l'inverse
- C) Vrai
- D) Faux : De solide à liquide c'est la **fusion** !
- E) Faux

# Instant QCM !

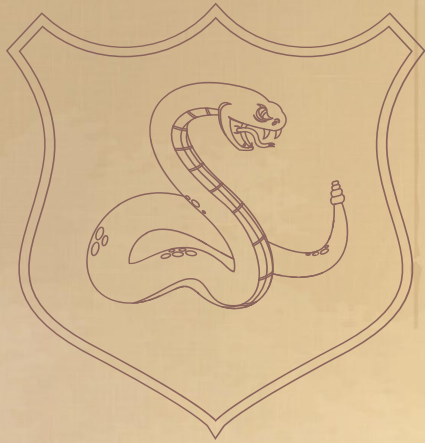
QCM 2 : A propos des différents états de l'eau, veuillez indiquer la (les) propositions exactes:

- A) La chaleur sensible est la force qu'il faut fournir à un corps pour augmenter sa température sans obtenir de changement d'état
- B) La chaleur latente permet le changement d'état
- C) La chaleur sensible permet l'augmentation de la température
- D) La pression partielle est la pression qu'exerceraient les molécules du gaz si ce gaz occupait seul le volume du mélange
- E) Les propositions A, B, C, et D sont incorrectes.

# Instant QCM !

Correction : BCD

- A) Faux : La chaleur sensible est une quantité d'énergie et non une force
- B) Vrai
- C) Vrai
- D) Vrai
- E) Faux



# O2

## Notion de masse et d'énergie

# La masse en mécanique classique

## Définition



C'est la mesure de la quantité de matière d'un corps.

On la mesure en kg ou en g mais pas adaptés à la physique

Il faut trouver une **unité de masse cohérente avec la nomenclature des noyaux:**



A : nombre de masse (nombre de nucléons)

Z : numéro atomique (nombre de protons)

# Masse (molaire) atomique:

## Définition



C'est la **masse d'une mole d'atome** (en g) +++

C'est la masse de N atomes avec  $N = 6,02 \times 10^{23}$  (le nombre d'Avogadro)

Masse	Hydrogène ${}^1_1H$	Carbone ${}^{12}_6C$	Oxygène ${}^{16}_8O$
d'un atome en g	$0,167 \cdot 10^{-23}$	$2 \cdot 10^{-23}$	$2,657 \cdot 10^{-23}$
d'une mole d'atomes en g masse atomique	1,007	12	15,994
A nombre de masse (nombre de nucléons)	1	12	16

(Le nombre de masse A est l'entier le plus proche de la masse atomique)

La masse molaire nous donne des chiffres manipulables mais elle concerne un nombre élevé d'atomes.

# Unité de masse atomique

## Définition

Hors SI

Adaptée à l'échelle des atomes → utilisée en physique

$1 u = 1/12^{\text{ème}}$  de la masse d'un atome de carbone  $^{12}$

$$1u = \frac{12g}{N} \times \frac{1}{12} = \frac{1}{N} = \frac{1}{6,02 \times 10^{23}} = 0,166 \times 10^{-23}$$

Masse	Hydrogène $^1_1H$	Carbone $^{12}_6C$	Oxygène $^{16}_8O$
d'un atome en g	$0,167 \cdot 10^{-23}$	$2 \cdot 10^{-23}$	$2,657 \cdot 10^{-23}$
d'une mole d'atomes en g (masse atomique)	1,007	12	15,994
d'un atome en unité de masse atomique	<b>1,007</b>	<b>12</b>	<b>15,994</b>
A nombre de masse (nombre de nucléons)	1	12	16

$$M_u = m_e \times N$$

# Quelques remarques...



La masse en u s'exprime par le même chiffre que la masse d'une mole d'atome en  $g \cdot mol^{-1}$



La valeur numérique de A peut exprimer 3 quantités selon son unité:

- Pas d'unités → Nombre de **nucléons**
- g → valeur entière la plus proche de la **masse d'une mole d'atomes**
- u → valeur entière la plus proche de la **masse d'un atome**

# Relation masse/énergie

Toi content d'être à la TTR

En mécanique classique

Masse = la résistance aux accélérations

En mécanique quantique

Einstein décrit une masse au repos comme une énergie


$$E_0 = m_0 c^2$$

Avec c la vitesse de la lumière

$$1u = \frac{m_{\text{électron}} \cdot c^2}{1\text{eV en Joule}} = \frac{0,166 \times 10^{-26} \times (2,9979 \cdot 10^8)^2}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$$

# Défaut de masse:

Tous groupe cohérent de particules a un défaut de masse, lié à l'énergie de liaison de ses particules +++

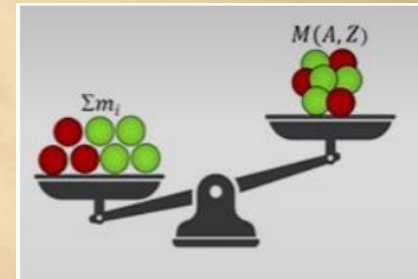
 *Au niveau du noyau : MeV*

La masse du noyau constitué est inférieure à la somme de la masse des nucléons +++

$$\Delta M(a, Z) = \sum m_i - M(A, Z)$$

$(\Delta M = \{(M \text{ proton} \times \text{nb proton}) + (M \text{ neutron} \times \text{nb neutron})\} - M \text{ noyau constitué})$

Équivalence en énergie:  $E = \Delta M c^2$   
donc  $E_L = 931,5 \times \Delta M$



# Défaut de masse:



*Au niveau de l'atome : keV*

La masse de l'atome constitué est inférieure à la somme de la masse de ses constituants +++

$$\Delta\mathcal{M}(A, Z) = M(A, Z) + Zm_e - \mathcal{M}(A, Z) = E_{le}$$



*Au niveau de des molécules : eV*

La masse d'une molécule est inférieure à la somme des masses des atomes qui la composent.

Ce défaut de masse correspond à l'énergie de liaison des molécules.

# Conclusion

*Exemple du carbone 12:*

Nombre de nucléons:  $A = 12$

On peut mesurer sa masse de différentes manières:

- Masse atomique: 12g
- Masse d'un atome: 12u

Avec l'équivalence masse/énergie, on trouve l'énergie de liaison:

- E au niveau des électrons (défaut de masse de l'atome)  $E = 0,277 \text{ keV}/c^2$
- E au niveau des nucléons (défaut de masse du noyau)  $E = 92 \text{ MeV}/c^2$

Toi qui essaie de t'enfuir de ce cours



# Instant QCM !

QCM 4 : A propos du Californium (CF,  $Z = 98$ ,  $A = 252$ ), indiquez la (les) proposition(s) exacte(s):

- A) Il a 98 protons
- B) La masse d'un atome de Californium est de 252 g
- C) La masse d'un atome de Californium est de 252 u
- D) Il a 153 nucléons
- E) Les propositions A, B, C et D sont incorrectes

# Instant QCM !

Correction : AC

- A) Vrai
- B) Faux : La masse d'un **atome** n'est pas en g !!
- C) Vrai
- D) Faux : Il a 153 neutrons et 251 nucléons
- E) Faux

# Instant QCM !

QCM 3 : A propos des notions de masse et d'énergie, indiquez la (les) proposition(s) exacte(s):

- A) La masse de l'atome constitué est supérieure à la somme des masses de ses constituants
- B) Le défaut de masse est lié à l'énergie de liaison
- C) Une unité de masse atomique correspond à  $1/12^{\text{ème}}$  de la masse d'un atome de carbone 14
- D)  $N = 6,02 \times 10^{23}$
- E) Les propositions A, B, C et D sont incorrectes

# Instant QCM !

Correction : BD

- A) Faux : C'est l'inverse: la masse de l'atome est inférieure à la somme des masses de ses constituants
- B) Vrai
- C) Faux : De carbone 12 (désolée...)
- D) Vrai
- E) Faux

# 03

## Particules et ondes



# Particules matérielles



## L'électron

C'est la particule qui constitue le rayonnement cathodique d'un tube à rayons X, émise lors des transformations radioactives  $\beta^-$ .

*Caractéristiques:*

- $m_e = 9,109 \cdot 10^{-28} g = 0,5 \cdot 10^{-3} u$ , sa masse est très faible
- Sa vitesse est non négligeable par rapport à  $c \rightarrow$  C'est une particule RELATIVISTE

+++

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

Masse au repos

- Equivalence masse/énergie:  $E_0 = m_0 c^2 = 931 \times 0,548 \cdot 10^{-3} = 0,511 \text{ MeV} = 511 \text{ keV}$
- Charge:  $e^- = -1,602 \cdot 10^{-19} C$
- Son unité d'énergie est l'eV

$$1 \text{ eV} = E_c = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J} \text{ +++}$$

# Particules matérielles



Le proton et le neutron:

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

# Particules matérielles



## L'atome d'hydrogène

Son noyau est composé d'un seul proton ( $m_p = 1,007 u$ ), et on a  $m_e = 0,5 \cdot 10^{-3} u$   
 $\rightarrow m_H = 1 \times m_p + 1 \times m_e = 1,0075 u$



## Particules matérielles

Particules	Propriétés	Masse au repos	Charge
Positron $\beta^+$	Antiparticule de l'électron	$m = 0,5 \cdot 10^{-3}$	$+ 1,602 \cdot 10^{-19} C$
Neutrino $\nu$ et antineutrino $\bar{\nu}$	Explique les radioactivités $\beta^+$ et $\beta^-$	Quasi nulle	Nulle
Particule $\alpha$	4 nucléons : $2p + 2n$ Noyau de l'hélium : ${}^4_2He$ Notée : $\alpha, \alpha^{++}, {}^4_2He, He^{++}$	$m = 4,0015 u$ $< 2m_p + 2m_n$	$+ 3,204 \cdot 10^{-19} C$ $= 2 \times e^+$

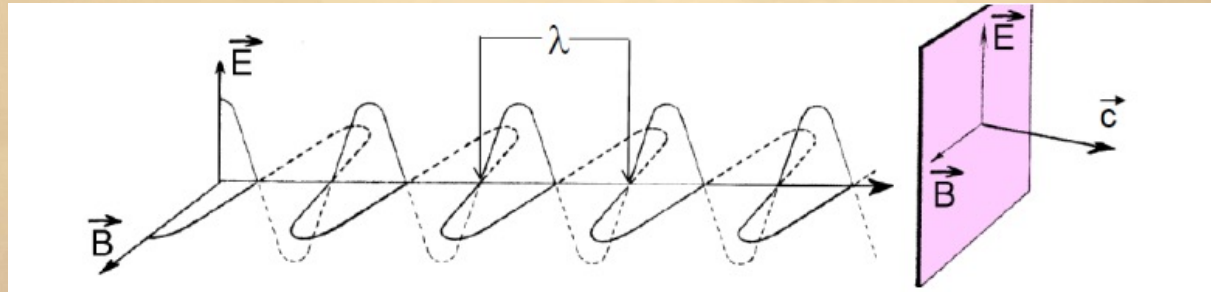
# Ondes électromagnétiques

## Représentation ondulatoire de la matière

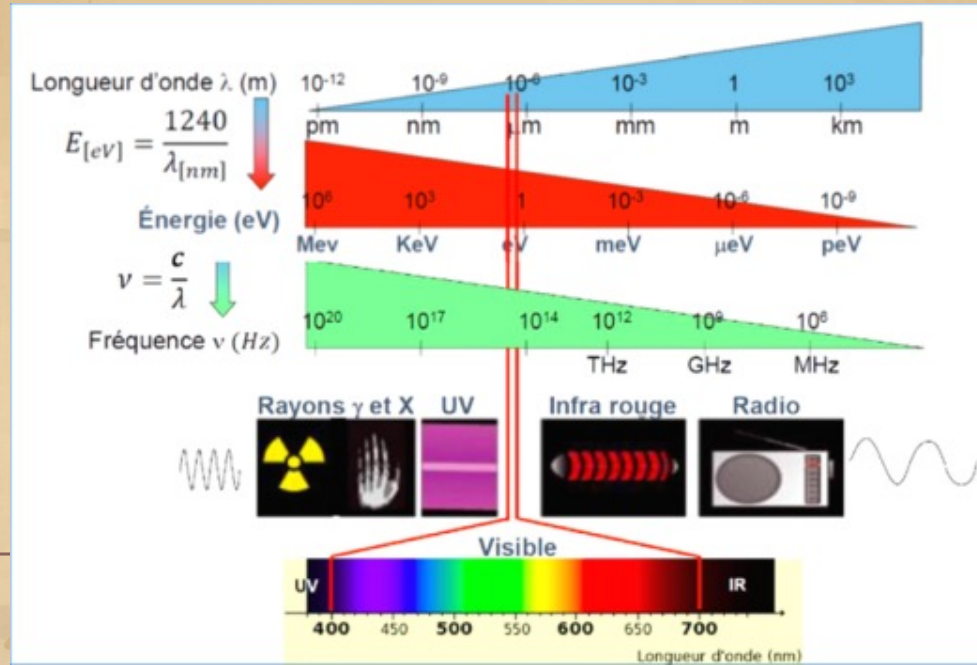
= perturbation du champ électromagnétique, qui se propage à la vitesse de la lumière  
= propagation simultanée d'un champ électrique et d'un champ magnétique qui vibrent en phase, qui sont perpendiculaire et l'un à l'autre et par rapport à la direction de propagation.

On caractérise les OEM par:

- Leur **longueur d'onde  $\lambda$** , = plus petite distance entre deux points de même excitation
- Leur **fréquence  $\nu$** , que l'on exprime selon la formule:  $\nu = \frac{c}{\lambda}$  en Hz



# Spectre des ondes électromagnétiques:



## Représentation quantique

Une OEM de cède/n'acquiert de l'énergie que par **quantum de Planck**  
(= paquets d'énergie discontinu, multiples de  $E = h\nu$ ,  $h$  la constante de Planck,  $6,62 \cdot 10^{-34}$ )

- $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$  en J

- Relation de Duane et Hunt: ⚠ E est en eV et  $\lambda$  en nm ⚠

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

# Dualité onde/particule

*Einstein*

Les OEM peuvent être considérées  
comme ayant une nature  
corpusculaire: les photons

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

On considère une onde comme une  
masse dynamique

*Broglie*

On peut associer à chaque particule  
une représentation ondulatoire

$$m = \frac{h}{\lambda v}$$

Pour toutes particules, avec  $v$  la vitesse  
des particules

Une particule de masse  $m$  en  
mouvement peut être caractérisée par  
une longueur d'onde

# Instant QCM !

QCM 3 : A propos de l'électron, indiquez la (les) proposition(s) exacte(s):

- A) C'est une particule relativiste
- B) Sa vitesse est non négligeable par rapport à la célérité de la lumière  $c$
- C) Sa masse est très faible
- D) Son unité d'énergie est l'électron volt (eV)
- E) Les propositions A, B, C et D sont incorrectes

# Instant QCM !

Correction : ABCD

- A) Vrai
- B) Vrai
- C) Vrai
- D) Vrai
- E) Faux

# Instant QCM !

QCM 4 : A propos des particules, indiquez la (les) proposition(s) exacte(s):

- A) Le neutron est stable hors du noyau
- B) Le proton est une particule non relativiste
- C) Le neutron est une particule non relativiste
- D) La charge du neutron est de  $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- E) Les propositions A, B, C et D sont incorrectes

# Instant QCM !

Correction : BC

- A) Faux : Le neutron est très instable hors du noyau, il se décompose immédiatement
- B) Vrai
- C) Vrai
- D) Faux : Le neutron n'a pas de charge !
- E) Faux



# O4

Eléments sur la  
structure  
électronique de  
l'atome

## Modèle de Rutherford

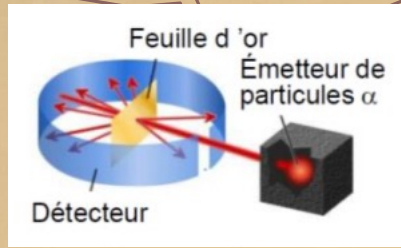


1911

Expérience de Rutherford  
En a conclu que **la matière est pleine de vide**

Décrit le **modèle planétaire**:

- La masse est concentrée au niveau du noyau (+)
- Les électrons (-), refoulés à la périphérie



## Modèle de Bohr



1913

Conséquence directe de la dualité onde-particule

Pense que **seules certaines orbites sont possibles pour les électrons**

La circonférence de l'orbite doit pouvoir loger un nombre fini de  $\lambda$

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

Le rayon des orbites est quantifié:

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

# Modèle de Bohr: énergie des électrons

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

Energie 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

$$E_L = |W|$$

$W$  et  $E_L$  sont quantifiées de manière discontinue, car elles dépendent de n.

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

$$W_k/4 \quad W_k/9 \quad W_k/16$$

(Tableau valable pour l'atome d'hydrogène)

Dans le modèle de Bohr on note les orbites K, L, M...  
Pour l'atome d'H:  
A l'état fondamental, l'électron occupe la couche K (car correspond à la  $W_n$  minimale)  
Il peut passer sur une orbite supérieure par absorption d'un quantum d'énergie

*Exemple:* si on apporte  $\Delta E = W_2 - W_1 = -3,4 + 13,6 = 10,2 \text{ eV}$  on va avoir un passage de l'électron de la couche K à la couche L



# Généralisation du modèle de Bohr

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

Mais dans un atome, on a plusieurs électrons qui vont se gêner entre eux, et subir l'effet du nuage électronique: c'est l'effet écran  $\sigma$

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

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

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

→ La valeur réelle :  $W_n = -13,6 \frac{(74 - 30,8)^2}{3^2} = -28220 eV$

# Remplissage des couches électroniques selon le modèle de Bohr

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

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

# Conclusion

Tous les atomes sont **construits avec le même modèle de remplissage des couches électroniques** (modèle de Bohr):  $2n^2$  électrons par couche;

Les énergies des électrons dépendent des couches sur lesquelles ils sont positionnés et 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 **plus fortement liés**, et ceux de la couche externe sont ceux les moins fortement liés ( $\sigma$  plus important)  
Quand les couches les plus basses sont complètes, l'atome est dans son état fondamental

# Instant QCM!

QCM<sub>5</sub> : A propos de la structure électronique de l'atome, indiquez la (les) proposition(s) exacte(s):

- A) Rutherford considère l'atome comme une sphère pleine
- B) Bohr découvre que la matière est pleine de vide
- C) L'énergie de liaison est l'énergie qui lie l'électron aux autres particules de l'atome
- D) Un électron de la couche K a une énergie de liaison très faible
- E) Les propositions A, B, C et D sont incorrectes

# Instant QCM!

## Correction : E

- A) Faux : C'est l'inverse il pense que la matière est pleine de vide
- B) Faux : Non c'est Rutherford !
- C) Faux : Du tout:  $E_L$  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
- D) Faux : Très élevée !!
- E) Vrai

# Instant QCM!

QCM 6 : A propos de la structure électronique de l'atome, indiquez la (les) proposition(s) exacte(s):

- A) Sur la couche K on a au maximum 2 électrons
- B) L'effet écran concerne tous les atomes ayant plusieurs électrons
- C) Un atome est dans son état fondamental quand ses couches les plus basses sont remplies
- D) Un atome est dans son état excité quand ses couches les plus basses sont remplies
- E) Les propositions A, B, C et D sont incorrectes

# Instant QCM!

Correction : ABC

- A) Vrai
- B) Vrai
- C) Vrai
- D) Faux : cf. item C
- E) Faux



# Fin !

CREDITS: This presentation template was created by **Slidesgo**, including icons by **Flaticon**, and infographics & images by **Freepik**

