

Cours 1 : Physique de la matière



Bonjour à tous et bienvenue sur la première fiche de biophy. C'est un cours assez simple à ne pas négliger qui a relativement peu changé par rapport à la PACES sauf la partie 1 totalement nouvelle. Cette fiche est complète. Les parties en vert sont les parties qui étaient en PACES mais qui ne sont plus au programme cette année (on ne sait jamais).

Bon courage.

Un **rayonnement ionisant** est électromagnétique ou particulaire et peut **produire** directement ou indirectement des **ionisations** sur les atomes lors de leur traversée de la matière. Ces effets biologiques servent notamment pour les **explorations médicales ou des traitements**. On va les étudier pour voir leurs effets sur la santé.

Ils ont été découverts par des physiciens dans un intervalle de temps court :

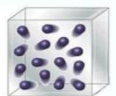
- ♥ Röntgen : découvre les rayons X en 1895
- ♥ Becquerel et les Curie : pour la radioactivité naturelle en 1896
- ♥ Marie Curie : pour le radium et le polonium en 1898
- ♥ Frédéric et Irène Joliot-Curie : enchainent avec la radioactivité artificielle en 1934

I/ Les états de la matière :

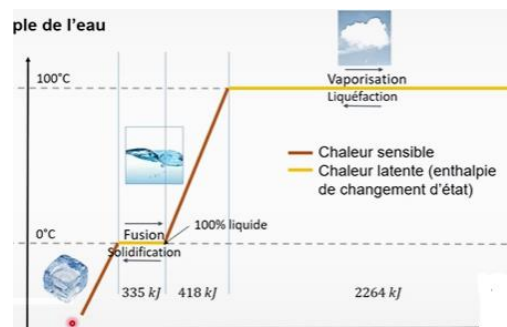
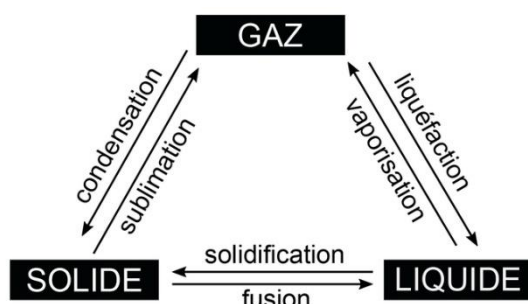
A- Les différents états de la matière (rappels, il lit les diapo) :

On distingue 3 états :

- ▶ L'état solide
 - Etat ordonné solide
 - Les molécules gardent une position fixe entre-elles
 - $E_L \gg E_C$
 - $E_C \rightarrow$ rotations ou vibrations autour d'une position moyenne fixe
- ▶ L'état gazeux
 - Etat dispersé fluide non cohérent (occupent tout l'espace)
 - L'agitation thermique domine (*remarque : responsable de la pression*)
 - $E_C \gg E_L$
- ▶ L'état liquide
 - Etat dispersé fluide cohérent (sans forme propre)
 - $E_L \cong E_C$
 - Les molécules quittent leur voisine et retombent sous l'emprise d'une autre



On peut changer d'état :



B- L'état gazeux :

1- Composition d'un mélange gazeux :

Chaque gaz a une **certaine proportion** dans un mélange de gaz parfait qu'on trouve grâce à la **fraction molaire** :

On a la fraction molaire : $F_i = \frac{n^i}{n_{tot}}$

n_i : nombre de moles du gaz
 n_{tot} : nombre de moles du mélange

Exemple : l'air sec respiré on a $F_{iO_2} = 21\%$ mais on peut l'augmenter en médecine en utilisant des gaz enrichis en oxygène qui eux ont une $F_{iO_2} = 60\%$.

2- Notion de pression partielle :

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

Exemple de l'air sec respiré :

Sachant que la pression atmosphérique vaut :

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

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

En altitude, on a plus de difficultés à respirer car il y a une **diminution de la pression atmosphérique**, comme la fraction molaire ne

change on a donc un changement de la pression partielle d'oxygène. Ainsi à **5000 m** $P_{atm} = 380 \text{ mmHg}$ et donc $P_{iO_2} = 80 \text{ mmHg}$.

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 $P_{iO_2} = F_i \times (760 - 47) = 150 \text{ mmHg}$ (47 mmHg = pression occupée par la vapeur d'eau).

3- Gaz dissous dans le sang :

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

La répartition dans le sang :

La solubilité du CO_2 qui est 20 fois supérieur à celui de l' O_2 .

- ♥ Pour l' O_2 : forme dissoute = négligeable, car essentiellement lié à l'hémoglobine

- ♥ Pour le CO_2 : la forme dissoute = 6%, car essentiellement converti dans le plasma sous forme de **bicarbonates** = 92%, la forme liée à l'hémoglobine est négligeable (2%)

- ♥ Seuls les **gaz inertes** sont purement dissous

4- Transfert alvéolo-capillaire de l' O_2 :

→ DIFFUSION A TRAVERS LA MEMBRANE ALVEOLO-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 $C(O_2) = \alpha P_{iO_2} = 209 \text{ mmol} \cdot l^{-1}$

→ LE TRANSFERT ERYTHROCYTAIRE

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** par une réaction chimique. Ainsi la concentration dissoute dans le plasma reste très faible.

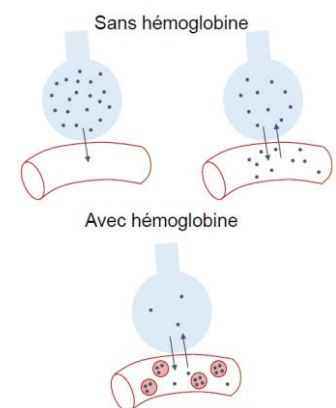
P_{tot} : pression du mélange

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

Les valeurs ne sont pas à retenir

Gaz	α_i [$\text{mmol} \cdot L^{-1} \cdot kPa^{-1}$]
Diazote N_2	0,006
Dioxygène O_2	0,0105
Dioxyde de carbone CO_2	0,225

Les valeurs ne sont pas à apprendre



→ SATURATION ARTERIELLE EN OXYGENE

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.

C- L'état solide : quelques éléments appliqués à l'os :

1- 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**. On va parler 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

$\Delta L/L$: 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.

2- 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 :

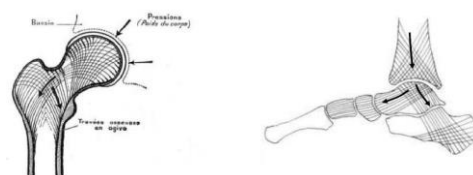
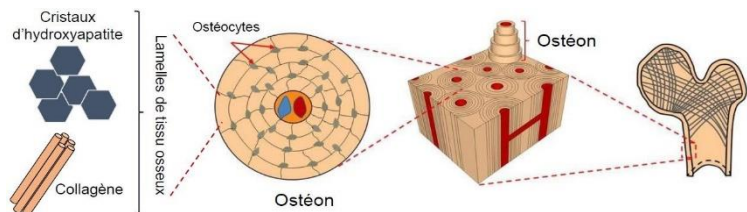
$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$. Donc cet ensemble d'ostéons forment l'os compact.

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

3- 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 :



II/ Masse et énergie :

A- Masse en mécanique classique (kg dans le SI)

La masse chiffre la **quantité de matière d'un corps**. Mais entre le kg et le gramme (chimie), ces unités sont inadaptées à la masse de l'atome. De plus on doit avoir des unités cohérentes avec la nomenclature.

B- Masse molaire atomique (g)

Elle est définie par la **masse d'une mole d'atome**. Elle concerne beaucoup d'atomes et est utilisée en chimie.

Une mole d'atome est définie par $\mathcal{N}$ qui est le **nombre d'Avogadro**, choisi de façon qu'une mole de carbone 12 soit égale à 12 grammes.
Donc $\mathcal{N} \approx 6.02 \cdot 10^{23}$ atomes.

On choisit le **nombre de masse A** comme l'entier le plus proche de la masse atomique en g.

C- L'unité de masse atomique

On l'utilise pour manipuler les **atomes individuellement**. C'est une unité hors SI, utilisée en physique. Elle correspond à **1/12^{ème} de la masse d'un atome de carbone 12**.

$1u = 1/\mathcal{N} \approx 0,166 \cdot 10^{-23} g$. Elle est égale à la masse molaire atomique mais en u. Exemple :

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

- ⇒ Le **nombre de nucléons** (sans unités)
- ⇒ 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)

Masse	Nombre de masse A	Mole d'atome	1 atome	Atome en g
$^{16}_8O$	16	N atomes = 15,994 g	15,994 u	$15,994/N = 2,657 \cdot 10^{-23}$

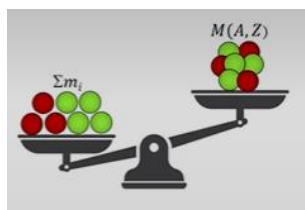
Application QCM : On vous demandera principalement de trouver (5 fois depuis 2016++) :

- ♥ Le **nombre de masse** = A, sans unité, entier supérieur le plus proche de la masse molaire atomique en g ou la masse d'un atome en u, égale au nombre de nucléons
- ♥ La **masse molaire atomique** = masse atomique = masse de N atomes soit 1 mole en g
- ♥ La **masse d'un seul atome en u** (qui est égale à la masse molaire atomique)
- ♥ La **masse d'un atome (en g)**. Pour trouver la masse d'un seul atome vous devez diviser la masse d'une mole par le nombre d'Avogadro.
- ♥ Le nombre de neutron à partir du nombre de masse et le nombre de proton (**N=A-Z**)

D- Relation masse énergie :

La **masse** est définie en mécanique **classique** comme la **résistance à l'accélération**. En mécanique **quantique**, Einstein la décrit comme une **forme d'énergie** grâce à $E=mc^2$. On peut définir alors l'**équivalence masse énergie** comme : $1u = \frac{m_{\text{électron}} \cdot c^2}{1eV \text{ en Joule}} = 931 \text{ MeV}/c^2$.

E- Le défaut de masse :



Pour tout groupe cohérent de particules, il correspond un **défaut de masse** qui est lié à l'énergie de liaison de ses particules entre-elles.

La masse d'un noyau constitué est inférieure à la somme des masses de ses nucléons. Pour avoir ce défaut de masse on calcule :

$$\Delta M = [(M_{\text{proton}} \cdot \text{nb de protons}) + (M_{\text{neutron}} \cdot \text{nb de neutron})] - M_{\text{du noyau constitué}}$$

Pour ensuite trouver l'énergie de liaison :

$$E = \Delta M \cdot 931,5 \text{ MeV}$$

Le défaut de masse de l'**atome** (incluant la masse des électrons) permet de trouver l'énergie de liaison qui lie **les électrons à l'atome**. Celui des **molécules** permet de trouver l'énergie de liaison des **atomes entre eux**. Il y a donc des ordres de grandeur très différents :

	Noyau/Nucléons	Atomes/électrons	Molécules/atomes
Energie de liaison	MeV	keV	eV

III/ Particules matérielles :

Particule	Electron = négaton, e-, rayonnement cathodique, β^-	Proton	Neutron
Masse au repos (g)	$9,109 \cdot 10^{-28}$		
Masse au repos (u)	$1/2000u = 0,5 \cdot 10^{-3}$	1,007	1,009
Masse relativiste ?	OUI	NON	NON
Charge (Coulomb)	$-e = -1,602 \cdot 10^{-19}$	$+e = +1,602 \cdot 10^{-19}$	0
Equivalence masse/énergie	$0,511 \text{ MeV}/c^2$	$938,28 \text{ MeV}/c^2$	$939,56 \text{ MeV}/c^2$
Stabilité hors du noyau	/	OUI	NON

La **masse** d'un électron n'est **pas constante** dans toutes les situations et peut être considérée

$$m(\text{nouvelle}) = \frac{m_0(\text{initiale})}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

comme **relativiste**. Tout objet projeté avec une certaine énergie verra cette **énergie transformé en masse**.

v^2 est la vitesse de la particule au 2

c^2 est la célérité de la lumière au 2

Plus la vitesse est proche de la célérité plus la masse augmente.

Lorsque l'électron a 50% de la célérité comme vitesse, sa masse est 1,15 fois plus grande. Soit $10,48 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

La charge de l'électron permet de définir une unité hors SI : l'**électron volt**. Elle permet d'**exprimer** l'énergie de manière adaptée aux **énergies mises en jeu dans l'atome**.

L'électronvolt : énergie cinétique acquise par un électron sans vitesse initiale sous l'effet d'une différence de potentiel de 1 Volt. $1\text{eV} = E_c = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Lorsque le proton est hors du noyau il est stable. Cependant le **neutron se désintègre spontanément en un proton, un électron et un antineutrino avec un surplus d'énergie de 0,78 MeV**.

Pour les autres particules :

Particule	Positon β^+	Neutrino et antineutrino	Hydrogène	Alpha = noyau atome hélium
Définition	C'est l'antiparticule de l'électron.	Ils expliquent la radioactivité β^+ et β^-		Formée de 4 nucléons : 2 protons + 2 neutrons.
Masse	$0,5 \cdot 10^{-3}u =$ même masse que e^-	Quasi nulle	$1 \cdot m_p + 1 \cdot m_e = 1,0075 u$	$4,0015u$ (< à la masse de 2 protons et 2 neutrons)
Charge	$1,602 \cdot 10^{-19} = +1eV$ charge inverse d' e^-	Nulle	0	$3,204 \cdot 10^{-19}C = 2 \cdot e^+$

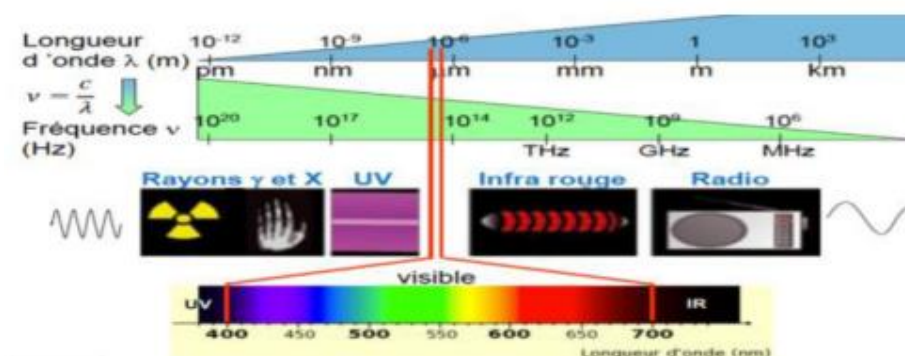
IV/ Rayonnement électromagnétique (REM) :

A- Représentation classique :

Une onde EM est définie comme les **perturbations d'un champs électromagnétique** qui se **propagent dans le vide** à la **vitesse de la lumière**. Ils **résultent de la propagation d'un champ électrique** et d'un **champ magnétique** qui vibrent en **phase perpendiculaires** l'un par rapport à l'autre et par rapport à la direction de propagation.

On définit la longueur d'onde λ comme la plus petite longueur séparant 2 points dans un même état. La fréquence ν en Hertz se calcule par c/λ .

La **fréquence et la longueur d'onde sont inversement proportionnelles et décrivent le spectre des OEM** qui est large. Alors que l'énergie et la fréquence sont proportionnelles. Les fréquences très élevées correspondent aux REM ionisants.



B- Représentation quantique :

Une OEM ne cède ou ne gagne de l'énergie que par **quantités discontinues** qui sont des **multiples de $E=h\nu$** (h = constante de Planck $6,62 \cdot 10^{-34}$).

Ces paquets d'énergies sont nommés **quantum de Planck** et sont calculés de 2 façons. (ATT. Bien manier les formules

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{20 \cdot 10^{-26}}{\lambda} \text{ Joule}$$

et connaître les unités correspondantes).

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

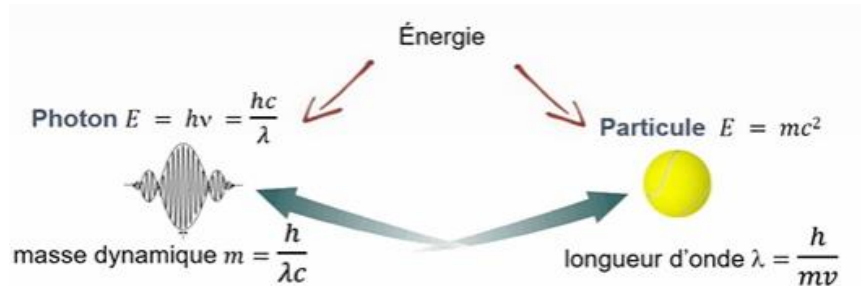
(HORS SI) c'est la relation de Duane et Hunt.

ATT λ en nm.

IV/ Dualité onde-particule :

On considère les **OEM** comme des **objets particuliers** depuis Einstein : les **photons**. Les ondes sont donc considérées comme des corpuscules avec une **masse exclusivement dynamique** que l'on calcule $m = \frac{h}{\lambda c}$

Louis De Broglie associe à toute **particule** une **représentation ondulatoire**. On peut donc associer à toute particule (possédant une masse et une vitesse) une onde qu'on nomme **onde de matière** : $\lambda = \frac{h}{mv}$



Récap :

- ♥ **Einstein** : les ondes ont une masse exclusivement dynamique
- ♥ **De Broglie** : les particules possédant une masse en mouvement ont une longueur d'onde de matière

V/ Structure électronique :

Il y a 2 modèles :

Rutherford (1911)	Bohr (1913)
Grâce à l'expérience de la feuille d'or (cf. cours sur le noyau), la majorité des particules ne sont pas déviées donc la matière est pleine de vide . Il détermine le modèle planétaire de Rutherford avec un noyau chargé positivement de 10^{-15}m où est concentrée la masse et des charges négatives autour formant un ensemble à 10^{-10}m . (+ développé dans le cours du noyau)	Conséquence directe de la dualité onde-particule . Il prédit que seules certaines orbites sont possibles pour les électrons . Il faut que la taille de l'orbite soit compatible avec sa nature ondulatoire. « l », doit être un multiple de la longueur d'onde : $l = 2\pi r = n\lambda$. Le rayon est quantifié selon un nombre fini d'orbites de rayon : $n\lambda/2\pi$ L'intensité des liaisons des e- dépend de r

A- Conséquences du modèle de Bohr sur l'énergie de l'électron :

On peut alors calculer l'**énergie d'une orbitale** n par $W_n = -13,6 \frac{1}{n^2} \text{eV}$.

L'**énergie de l'électron** est alors **toujours négative** contrairement à l'énergie de liaison.

L'**énergie de liaison** est l'énergie qu'il faut apporter pour **arracher un électron** de l'édifice atomique. Elle est **toujours positive** et est la **valeur absolue de W**.

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

L'énergie de l'électron et celle de liaison sont des **énergies discontinues** en fonction de n .

On peut alors calculer le rayon d'un orbite par $r_n = n^2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-10} \text{ m}$.

L'électron de la couche K possède le W le plus faible et l'énergie de liaison la plus forte.

Les électrons peuvent passer d'une orbite à l'autre s'ils absorbent un quantum d'énergie.

Récap :

- ♥ **Energie de l'électron** : toujours négative
- ♥ **Energie de liaison** : toujours positive, énergie pour arracher l'électron de l'édifice atomique
- ♥ **L'électron le plus proche du noyau a l'énergie la plus faible et l'énergie de liaison la plus forte**

B- Généralisation à n'importe quel électron :

Dans un atome possédant plusieurs électrons, ces derniers vont se gêner et subir l'influence du **nuage électronique : effet écran σ** .

On doit en tenir compte dans le calcul de l'énergie :

$Z \rightarrow$ numéro atomique

$\sigma \rightarrow$ effet écran

$n \rightarrow$ couche électronique ≥ 1

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

C- Remplissage des couches selon le modèle de Bohr :

On ne met que $2n^2$ électrons maximum par couche (n). Donc pour la couche K qui est $n=1$ on peut avoir $2 \cdot 1^2 = 2$.

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

D- Conclusion :

- ♥ Les atomes sont construits selon le modèle de Bohr avec $2n^2$ électrons par couche.
- ♥ Les électrons de la couche K sont les plus fortement liés
- ♥ Les électrons de la couche la plus externe sont les moins fortement liés
- ♥ **Si les premières couches sont complètes l'atome est dans son état fondamental**
- ♥ **Si ce n'est pas le cas il a un excès d'énergie et est dans un état excité.**

Dédicace à mes fillottes en PASS : Sophie et Maureen mes championnes. Dédicace à Oscar (qui fait trop le fou), et Elise (qui a détruit cet examen). Et évidemment dédicace au tuto gang avec qui je passe une année de folie malgré le coooovid (Alexis, Amélie, Anahita, Carl, Céleste, Simon, et Yanis).

Bon courage à tous, ne lâchez rien.