



Royaume du Maroc
Ministère de l'Éducation Nationale
du Préscolaire & des Sports

CENTRE RÉGIONAL DES MÉTIERS DE L'ÉDUCATION ET DE LA FORMATION
Casablanca-Settat

Complément de formation en chimie:

Structure de la matière

Plan

- Les constituants de l'atome
- La spectroscopie atomique
- Les nombres quantiques
- La structure électronique des atomes
- Le tableau périodique des éléments
- L'électronégativité
- Les liaisons chimiques

Les constituants de l'atome

- **Atome:**

=> Noyau TRES DENSE, Chargé POSITIVEMENT

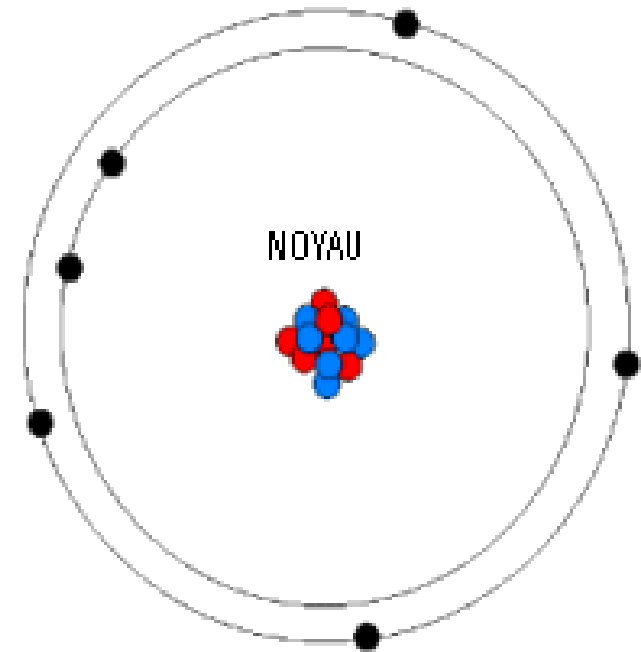
-> 2 types de particules (Protons et neutrons), appelées Nucléons

=> Périphérie entourée d'électrons chargés NEGATIVEMENT

Les constituants de l'atome

● Proton ● Neutron ● Electron

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$$



Les constituants de l'atome

- **Nucléide** = Espèce atomique symbolisée par A_ZX

- Z : Numéro atomique => Nombre de protons

- A : Nombre de masse => Nombre de nucléons

- N : Nombre de Neutrons

- Pour trouver le nombre de neutrons => $N = A - Z$

Les constituants de l'atome

<i>Caractéristiques des particules</i>		
Particule	Charge électrique	Masse (kg)
Proton	+ Ze	$1,67 \cdot 10^{-27}$
Neutron	0	$1,67 \cdot 10^{-27}$
Electron	- Ze	$9,1 \cdot 10^{-31}$

- Le rayon d'un atome est de l'ordre de 10^{-10} m.
- Le rayon du noyau est de l'ordre de 10^{-15} m.

Les constituants de l'atome

- **Isotopes**: même Z , mais nombre de neutrons ($A-Z$) différents.

Ex.: $^{12}_6\text{C}$ et $^{13}_6\text{C}$

- La proportion des isotopes (exprimée en %) dans la nature est appelée **abondance isotopique naturelle**
- Les isotopes radioactifs possèdent un noyau instable

Les constituants de l'atome

- **Un élément chimique** est défini par le nombre de protons z présents dans le noyau
- **Un corps pur simple**: ne comprend qu'un seul élément chimique (C , H_2 , O_3 , S_8)
- **Un corps pur composé**: association de plusieurs éléments chimiques (H_2O , CO_2 , H_2SO_4)

Les constituants de l'atome

- **Une espèce chimique**: caractérisée par l'aspect, la formule et les propriétés physico-chimiques;
- un corps simple est une substance constituée par une seule espèce chimique
- **Une entité chimique**: composante d'une espèce chimique: NaCl est formé d'entités ioniques ou H₂O d'entités atomiques

Les constituants de l'atome

- Masse atomique réelle (kg ou u.m.a) = Masse d'un atome réel
- On considère qu'un atome réel de l'isotope $^{12}_6\text{C}$ pèse:
 $1,99625 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$ correspond à 12 u exactement
- Donc $1 \text{ u} = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
(approximativement) $1 \text{ u} = m_p = m_n$

Les constituants de l'atome

- **Mole** = quantité de masse d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 12g de $^{12}_6\text{C}$
- 1 mole de $^{12}_6\text{C} = 12\text{g.mol}^{-1}$
- **Nombre d'Avogadro:** Nombre d'atomes réels contenus dans 1 mole de l'isotope $^{12}_6\text{C}$ de carbone
 $\Rightarrow N_A = 12.10^{-3} / 1,99265.10^{-26} = 6,022.10^{23} \text{ mol}^{-1}$

La spectroscopie atomique

- La spectroscopie atomique prouve l'existence de **niveaux d'énergie quantifiés** dans l'atome: **spectres d'absorption ou d'émission discontinus**
- Bohr, à partir du modèle planétaire de Rutherford, attribue à chaque orbite électronique une énergie quantifiée E_n
- Un photon est émis lorsque l'e- passe d'un niveau d'énergie supérieur à un niveau inférieur: $h\nu_{n,m} = E_m - E_n$
- Le spectre de l'H est régi par la loi de Ritz:

$$\sigma = \frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

La spectroscopie atomique

- L'énergie E_n de l'électron en eV, associée à chaque valeur de n est:

$$E_n = \frac{-13,6}{n^2} \quad (\text{en eV})$$

- Remarque: la mécanique quantique redonne les niveaux d'énergie du modèle de Bohr
- L'énergie de l'électron est quantifiée
- Pour une même valeur de E_n , il y a plusieurs orbitales possibles, valeurs l , m_l différentes
- Le niveau d'énergie E_n est dégénéré.

La spectroscopie atomique

- Les diagrammes énergétiques se déduisent des résultats expérimentaux, simplement pour les hydrogénoïdes (monoélectroniques):

$$E_n = - \frac{13,6 Z^2}{n^2} \quad (\text{en eV})$$

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

- Plus difficilement pour les atomes polyélectroniques (nécessité de sous-niveaux énergétiques s, p, d...)

Les nombres quantiques

- La mécanique quantique prouve que l'état probabiliste d'un e- est caractérisé par le quadruplet n, l, m_l, m_s .
- $n = 1, 2, 3, \dots$ nombre quantique principal, il définit la couche énergétique (K, L, M..;)
- l = nombre quantique secondaire ou nombre quantique azimutal. Il définit la sous couche énergétique.
- La valeur de l dépend de celle de n :

$$l: 0, 1, 2, 3, \dots, (n-1)$$

Les nombres quantiques

- m_l = nombre quantique tertiaire ou magnétique. Il définit l'orientation de l'orbitale
- la valeur de m_l dépend de celle de l .
- à chaque valeur de l correspond les valeurs de m :

m_l : $-l, (-l + 1), (-l + 2), \dots, -1, 0, 1, \dots, l$

Il y a donc dégénérescence des niveaux d'énergie

- Le nombre quantique de spin $s = \frac{1}{2}$ est associé au mouvement propre de l' e^-
- Deux orientations possibles : $m_s = +\frac{1}{2}$ ou $m_s = -\frac{1}{2}$

Structure électronique des atomes

- **Couche électronique**: définie par le nombre quantique **n**
- Les électrons possédant le même nombre n appartiennent à la même couche
- $n = 1 \rightarrow$ couche K
- $n = 2 \rightarrow$ couche L
- $n = 3 \rightarrow$ couche M
- $n = 4 \rightarrow$ couche N

Structure électronique des atomes

- **Sous-couche électronique:** définie par le nombre quantique l
- Tous les électrons possédant les mêmes valeurs de n et l appartiennent à la même sous-couche
- $l = 0 \rightarrow$ sous-couche s
- $l = 1 \rightarrow$ sous-couche p
- $l = 2 \rightarrow$ sous-couche d
- $l = 3 \rightarrow$ sous-couche f
- On désigne une sous-couche particulière en indiquant la valeur de n et de l , ex: sous-couche 2p, 3d ou 4s

Structure électronique des atomes

- Le triplet (n, l, m_l) est appelé **orbitale** ou case quantique; il contient toute l'information sur la particule quantique
- Le **quadruplet** (n, l, m_l, m_s) est un état quantique.
- Pour une orbitale, on a ainsi 2 états quantiques, et à un numéro de couche n seront associés **$2n^2$ états quantiques.**

Structure électronique des atomes

Couche	n	l	m_l	orbitales	Nombre d'orbitales
K	1	0	0	1s	1
L	2	0	0	2s	1
		1	-1 ; 0 ; 1	2p	3
M	3	0	0	3s	1
		1	1 ; 0 ; 1	3p	3
		2	-2 ; -1 ; 0 ; 1 ; 2	3d	5
N	4	0	0	4s	1
		1	-1 ; 0 ; 1	4p	3
		2	-2 ; -1 ; 0 ; 1 ; 2	4d	5
		3	-3 ; -2 ; -1 ; 0 ; 1 ; 2 ; 3	4f	7

Structure électronique des atomes : configuration électronique

- Configuration électronique de l'atome: c'est la répartition des e- dans les différents niveaux d'énergie.
- **l'état fondamental** correspond à la configuration **de plus basse énergie**, les autres configurations décrivent des états excités.

Structure électronique des atomes : configuration électronique

- Les configurations électroniques d'un atome dans son état fondamental découlent des: Principe d'exclusion de Pauli, Principe de stabilité de Klechkovski, et Principe de remplissage de Hund

Structure électronique des atomes : configuration électronique

- **Principe d'exclusion de Pauli:**
- Dans un atome, deux électrons ne peuvent avoir le même nombre de quadruplet de nombres quantiques (n, l, m_l, m_s).
- Une orbitale atomique peut donc contenir au maximum deux électrons de nombres de spin m_s opposés.

Structure électronique des atomes : configuration électronique

- Principe de stabilité de Klechkovski:
- L'état fondamental correspond à l'énergie minimale.
- On classe les orbitales atomiques par ordre de $n+1$ croissant. Si deux OA ont la même valeur de $n + 1$, on commence par remplir l'OA de n le plus faible
- Parmi les sous-couches encore vides, la première à se remplir est celle pour laquelle $(n + 1)$ est la plus faible: on commence par remplir 2s(2+0) puis 2p (2+1) et 3s (3+0)
- Si 2 sous-couches vides sont caractérisées par la même valeur de la somme $(n+l)$, celle de plus faible nombre quantique principal n se remplit la première

Structure électronique des atomes : configuration électronique

Principe de stabilité de Klechkovsky: $(n + 1)$ minimal
schéma mnémotechnique

$\begin{matrix} n \\ l \end{matrix}$	1	2	3	4	5	6	7
0	1s	→ 2s	↗ 3s	↗ 4s	↗ 5s	↗ 6s	↗ 7s
1		↓ 2p	↘ 3p	↘ 4p	↘ 5p	↘ 6p	↘ 7p
2			↓ 3d	↘ 4d	↘ 5d	↘ 6d	↘ 7d
3				↓ 4f	↘ 5f	↘ 6f	↘ 7f

Structure électronique des atomes : configuration électronique

- Exception à la règle de Klechkovsky:
- $_{24}\text{Cr}$, $_{29}\text{Cu}$..
- stabilisation particulière des sous couches électroniques partiellement ou totalement remplies.

Structure électronique des atomes : configuration électronique

- **Principe de remplissage de Hund:**
- Elle permet de prévoir la présence ou pas d'électrons célibataires dans les OA
- Quand des OA ont même énergie (OA dites dégénérées) et que le nombre d'électrons ne suffit pas pour les remplir, l'état de plus basse énergie est obtenu en utilisant le maximum d'OA avec des spins parallèles.
- Exemple: ${}_6\text{C}$; ${}_7\text{N}$

Structure électronique des atomes : configuration électronique

- On enlève les e- de la couche occupée de n le plus grand pour obtenir un cation
- On rajoute les e- sur la couche vacante de n le plus faible pour obtenir un anion

Structure électronique des atomes : configuration électronique

- Les e- de valence correspondent à ceux de la couche de n le plus grand. On leur adjoint ceux d'une sous-couche $n-1$ si elle n'est que partiellement remplie.
- Les e- de cœur correspondent aux e- des couches et sous-couches saturées, donc de plus basse énergies.
- Très souvent, les propriétés chimiques d'un élément étant liés uniquement à sa couche externe, ou couche de valence, on se contente de donner sa configuration de valence.

Le tableau périodique des éléments

- Généralités:
- Chaque période correspond au remplissage d'une nouvelle couche
- chaque colonne(ou groupe) contient les éléments qui ont la même configuration électronique de valence: **même colonne, même famille, même e- de valence**
- Classification en 18 colonnes (groupe), 7 lignes (périodes) par numéro atomique croissant
- Dans une même colonne, on trouve les éléments d'une même famille chimique

Le tableau périodique des éléments: structure en blocs

Bloc s

H	
Li	Be
Na	Mg
K	Ca
Rb	Sr
Cs	Ba
Fr	Ra

Bloc d

Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
Y	Sr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd
La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg
Ac									

Bloc p

					He
B	C	N	O	F	Ne
Al	Si	P	S	Cl	Ar
Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
In	Sb	Te	I	Xe	
Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn

Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Bloc f

Cas de l'Hélium : Bien qu'appartenant au bloc **S** ($1s^2$), celui-ci est placé dans le bloc **p** (groupe des gaz rares).

Le tableau périodique des éléments

- Familles du tableau périodique:
- **Alcalins**: 1^{ère} colonne: Métaux réducteurs, cations très stables, forment des cristaux ioniques avec les halogènes.
- **Alcalino-terreux**: 2^{ème} colonne : Be, Mg, Ca...: Métaux réducteurs, Composés ioniques calcaires.
- **Halogènes**: Avant-dernière colonne : F, Cl, Br, I: Oxydants très puissants, anions très stables. Composés ioniques avec les éléments de la première et deuxième colonne, liaisons de covalence.
- **Gaz rares**: Dernière colonne : He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn: Chimiquement inertes, existent sous forme atomique.

Le tableau périodique des éléments: structure en blocs

	1 IA	2 IIA											13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 0	
1	H												B	C	N	O	F	He	X Solides
2	Li	Be											Al	Si	P	S	Cl	Ar	X Liquides
3	Na	Mg	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIII	9 VIII	10 VIII	11 IB	12 IIB	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	X Gaz
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	X Éléments de synthèse
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
6	Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
7	Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub		Uuq		Uuh		Uuo	
			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

Métaux alcalins
 Métaux alcalino-terreux
 Éléments de transition
 Lanthanides
 Actinides
 Autres métaux
 Non métaux
 Gaz rares

L'électronégativité

- L'électronégativité notée χ traduit la capacité d'un élément à attirer les électrons dans un doublet de liaison
- C'est une grandeur sans dimension (échelle de Pauling, de Mulliken)
- Un élément attracteur est dit électronégatif et possède une valeur de χ élevée. Le **F** est le plus **électronégatif**
- Un élément donneur est électropositif et la valeur de χ est faible. Le **Cs** est le plus **électropositif**
- l'électronégativité χ **augmente** si l'on se déplace dans la classification périodique **de la gauche vers la droite** (dans une période) **ou du bas vers le haut** (dans une colonne)

L'électronégativité

- **Atome électronégatif**  formeront des anions **caractère oxydant**
- **Atome électropositif**  formeront des cations **caractère réducteur**
- Les métaux faiblement électronégatifs sont des réducteurs
- Les halogènes fortement électronégatifs sont des réducteurs
- On peut prévoir **la polarisation des liaisons**: **ionique ou covalente**

Références bibliographiques

- UHL, L. (2013). *Les mille et une questions de la chimie en prépa. 1^{ère} année PCSI* (nouveau programme). Ellipses édition.
- SEVIN, A. (dir). (2016). *Chimie générale, LICENCE, PACES, CAPES* (2^{ème} édition). Dunod.
- BAUDIN, J.B. (2002). *Chimie terminale S obligatoire*. Nathan.
- Sites consultés en octobre 2020:
chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://melusine.eu.org/syracuse/immae/mpsi/physique-chimie/structure_matiere/01.pdf
- *chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://physique-chimie.asso-web.com/uploaded/chapitre-chimie-mod-atome.pdf*
- *chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.lct.jussieu.fr/pagesperso/fuster/1C001/registres.pdf*