

## Noyau et électrons

**Définition : Atome**

Un *atome* est une entité électriquement neutre, constituée d'un noyau chargé positivement et de  $n_e$  électrons chargés négativement liés au noyau et formant le *cortège électronique*.

Le *noyau* est formé de  $n_p = n_e$  *protons* chargés positivement, et de  $n_n$  *neutrons*, électriquement neutres.

Un *ion* est une entité électriquement chargée, formée par ajout ou retrait d'électrons d'un atome (ou d'une molécule). C'est un *cation* (resp. *anion*) si sa charge est positive (resp. négative).

**Définition : Nombre de masse  $A$** 

On nomme *nombre de masse*, noté  $A$  le nombre de nucléons  $A = n_p + n_n$  d'un noyau. Avec les masses :

**électron**  $m_e = 9,109\,382\,69(16) \cdot 10^{-31}$  kg,

**proton**  $m_p = 1,672\,621\,71(29) \cdot 10^{-27}$  kg,

**neutron**  $m_n = 1,674\,927\,28(29) \cdot 10^{-27}$  kg,

on peut *approximer* la masse  $m_a$  d'un atome ou ion selon  $m_a \simeq Am_p$ .

## Charge

**Définition : Nombre de charge  $Z$** 

La charge  $q$  de toute objet physique est un multiple de la *charge élémentaire*  $e$  dont la mesure actuelle est  $e = 1,602\,176\,53(14) \cdot 10^{-19}$  C. On a :

**électron**  $q_e = -e < 0$ ,

**proton**  $q_p = +e > 0$ ,

**neutron**  $q_n = 0$ .

La neutralité d'un atome implique  $n_e = n_p$ . On désigne par  $Z = n_p$  le *nombre de charge* ou *numéro atomique*.

## Élément chimique

**Définition : Élément chimique**

Un *élément chimique*  $\chi$  est caractérisé par son nombre de charge  $Z$ .

Un *corps pur* est constitué d'une seule espèce chimique.

Un *corps pur simple* (resp. *composé*) est constitué d'un seul (resp. de plusieurs) élément.

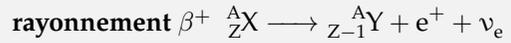
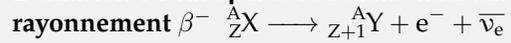
## Isotope

**Définition : Définition**

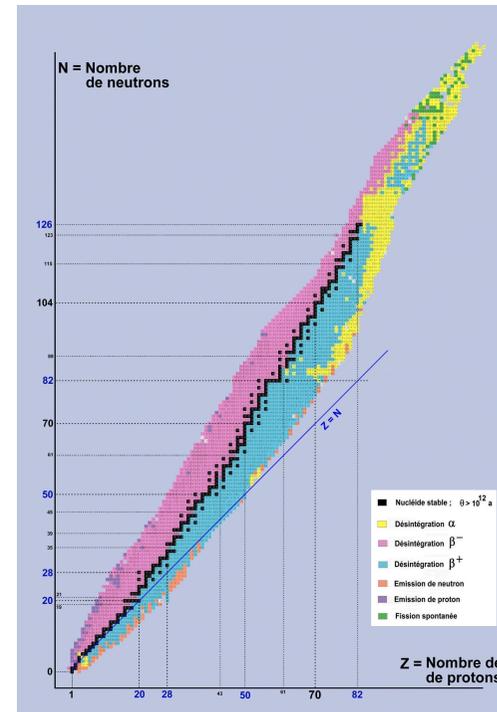
Les *isotopes* d'un élément chimique sont des atomes de même numéro atomique  $Z$  mais de nombre de masse  $A$  différents. Ils sont présents naturellement dans des proportions différentes, caractérisées par leur *abondance naturelle*.

## Masse

## Stabilité

**Définition : Principales réactions nucléaires****Durée de vie****Définition : Durée de vie**

Les désintégrations radioactives d'un noyau instable obéissent à des cinétiques d'ordre 1, caractérisées par leur temps de demi-réaction nommé *période radioactive*, notée  $T$ .

**Masses atomique et molaire****Vallée de stabilité**

**Définition : Mole**

On définit l'*unité de masse atomique* de symbole  $u$  comme un douzième de la masse d'un atome de  $^{12}_6\text{C}$ .

La *masse atomique*  $m(^A_Z\text{X})$  d'un isotope  $^A_Z\text{X}$  de l'élément  $X$  est un nombre sans dimension défini comme :

$$m(^A_Z\text{X}) = 12 \times \frac{\text{masse d'un atome de } ^A_Z\text{X}}{\text{masse d'un atome de } ^{12}_6\text{C}}$$

Une *mole* est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités qu'il y a d'atomes dans 12 g de  $^{12}_6\text{C}$ .

Le *nombre d'Avogadro* est le nombre d'entités dans une mole. Sa mesure actuelle est :

$$\mathcal{N}_A = 6,022\,141\,5(10) \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

**Définition : Masse atomique**

La *masse molaire atomique d'un isotope*  $^A_Z\text{X}$ , notée  $M(^A_Z\text{X})$ , est la masse d'une mole de  $^A_Z\text{X}$ .

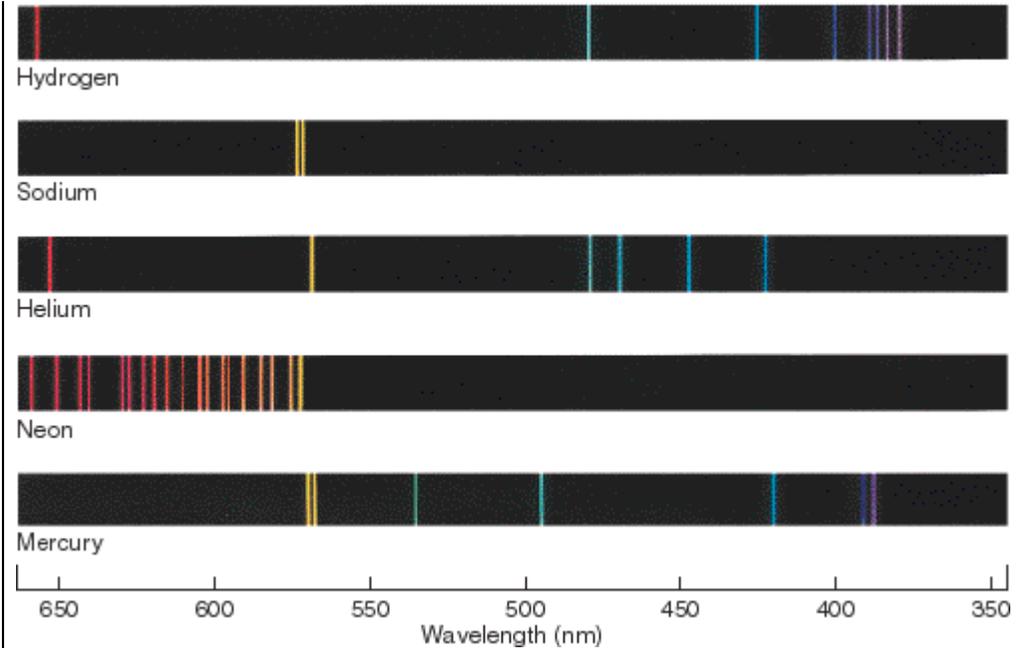
La *masse molaire atomique d'un élément*  $X$ , notée  $M(X)$ , est la moyenne pondérée des masses molaires atomiques des isotopes de  $X$ , en proportion de leur abondance naturelle.

**Observations expérimentales****Définition : Spectre d'émission**

Les longueurs d'ondes discrètes émises sont nommées *raies*. L'ensemble des raies constitue le *spectre d'émission* de l'atome.



Spectre de H

**Spectres de différents éléments****Transitions électroniques****Interaction atome-rayonnement**

La conservation de l'énergie totale du système (atome + photon) lors de l'émission ou de l'absorption d'un photon se traduit par :

$$h\nu = E_h - E_b$$

**États stationnaires de l'atome d'hydrogène**

**Définition : États stationnaires**

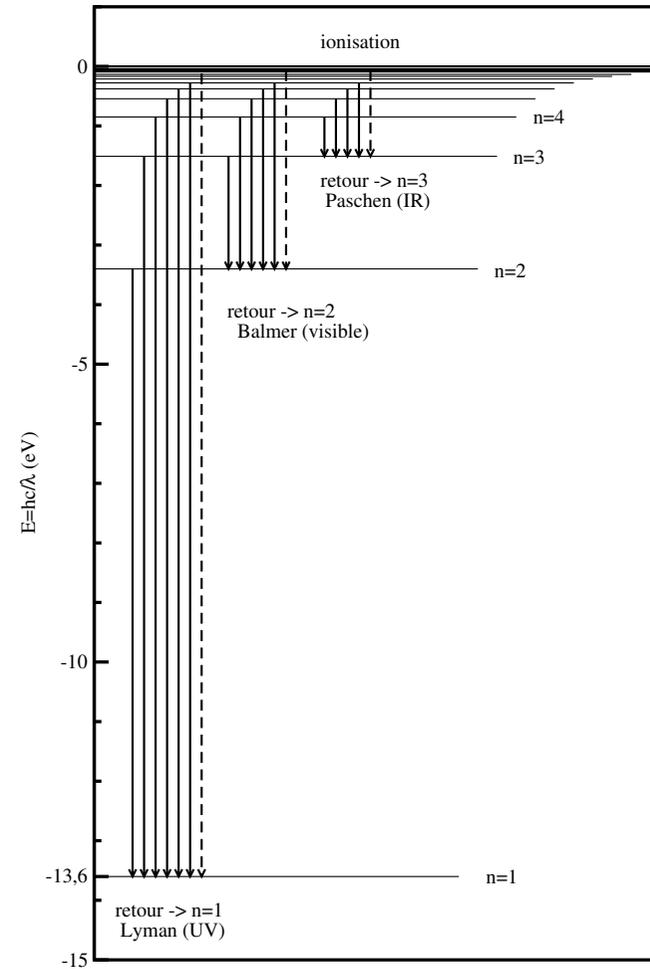
Les états quantiques qui n'évoluent pas en fonction du temps sont répartis de manière discrète ; on les nomme *états quantiques stationnaires*. Leur énergie  $\mathcal{E} = \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_{\text{pot}}$  (et d'autres grandeurs comme le moment cinétique...) est en particulier *stationnaire*.

**Atome d'hydrogène**

Dans le cadre de la mécanique quantique, l'énergie de l'électron d'un atome d'hydrogène dans un état quantique stationnaire est quantifiée *ie* elle ne peut prendre que les valeurs discrètes :

$$\mathcal{E}_n = -\frac{E_0}{n^2}, \quad \text{avec } n \in \mathbb{N}^* \quad E_0 = 13,605\,692\,3(12) \text{ eV.}$$

On dit que l'électron se trouve dans *l'état d'énergie*  $\mathcal{E}_n$ .

**Nombres quantiques****Définition : Dégénérescence**

S'il existe  $p$  ( $p > 1$ ) états quantiques stationnaires de même énergie  $\mathcal{E}$ , le niveau d'énergie est dit *dégénéré*,  $p$  est sa dégénérescence.

**Diagramme énergétique**

**Nombres quantiques et orbitales atomiques**

Un état quantique stationnaire, de l'atome d'hydrogène est complètement décrit par la données de 4 nombres entiers ou demi-entiers.

3 sont relatifs au mouvement orbital de l'électron :

- $n \in \mathbb{N}^*$  : nombre quantique principal,
- $l \in \mathbb{N} \in [0; n - 1]$  : nombre quantique secondaire/azimuthal
- $m_l \in \mathbb{Z} \in [-l; l]$  : nombre quantique magnétique

La donnée du triplet  $\{n, l, m_l\}$  caractérise complètement une orbitale atomique, notée  $O.A.$ .

Le quatrième est le **nombre de spin**  $m_s = \pm \frac{1}{2}$  relatif au moment cinétique intrinsèque de l'électron nommé spin.

L'énergie d'un état est donnée par  $-\frac{E_0}{n^2}$ , sa dégénérescence est  $2n^2$  (en comptant les deux états de spin  $m_s = \pm \frac{1}{2}$ ).

**Grandeurs quantifiées**

**Grandeurs quantifiées**

$n$  l'énergie :  $\mathcal{E}_n = -\frac{E_0}{n^2}$ ,

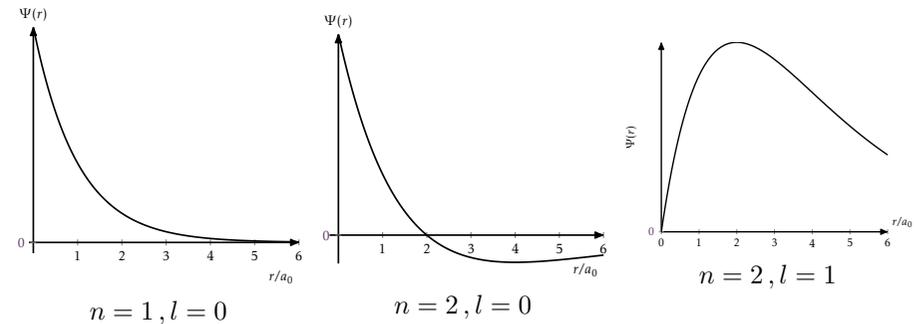
$l$  la norme du moment cinétique, noté  $\vec{L}$ . On a  $L = \sqrt{l(l+1)}\hbar$ ,

$m_l$  la projection  $L_z$  de  $\vec{L}$  sur un axe privilégié  $L_z = m_l\hbar$ ,

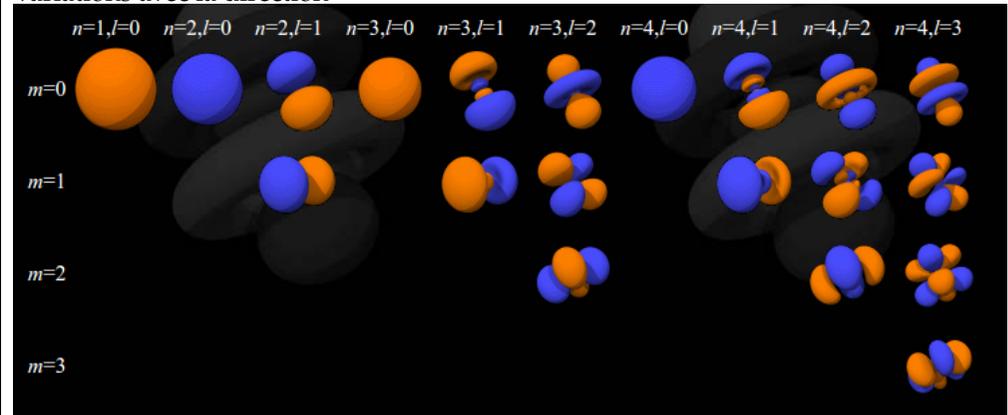
$m_s$  la projection  $S_z$  du moment cinétique intrinsèque  $\vec{S}$  (de norme  $S = \sqrt{\frac{1}{2}(\frac{1}{2} + 1)}\hbar$ ) sur un axe privilégié  $S_z = m_s\hbar$ .

**Structure spatiale**

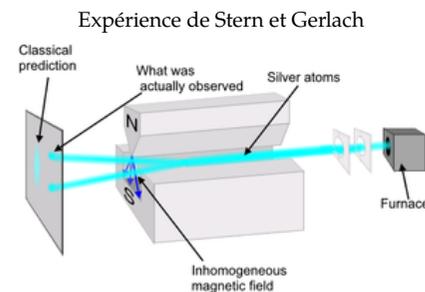
Variations radiales



Variations avec la direction



**Spin**



## État fondamental d'un atome polyélectronique

**Définition : État fondamental**

L'état fondamental d'un atome de nombre de charge  $Z$  est la configuration électronique des  $Z$  électrons  $\{n_i, l_i, m_{li}, m_{si}\}_{i=1..Z}$  pour laquelle l'énergie totale  $\mathcal{E} = \sum_i \mathcal{E}(\{n_i, l_i, m_{li}, m_{si}\})$  est minimale.

## Règles de remplissage

**Règle de Klechkowski**

L'énergie d'un électron dans une orbitale atomique  $\{n, l, m_l, m_s\}$  ne dépend que de  $n$  et  $l$ . Elle est :

- croissante avec  $n + l$ ,
- croissante avec  $n$  à  $n + l$  fixé.

La dégénérescence d'un état

$$\mathcal{E}(n, l) \text{ est } \underbrace{2}_{m_s = -\frac{1}{2} \dots \frac{1}{2}} \times \underbrace{(2l + 1)}_{m_l = -l \dots l}.$$

$n + l$	orbitale
1	1s
2	2s
3	2p < 3s
4	3p < 4s
5	3d < 4p < 5s
6	4d < 5p < 6s

**Principe d'exclusion de Pauli**

Deux électrons ne peuvent occuper un même état quantique, ie de mêmes nombres quantiques  $\{n, l, m_l, m_s\}$ .

**Remplissage des orbitales atomiques**

- une OA  $(n, l, m_l)$  est occupée au plus par 2 électrons de spins opposés (antiparallèles) : on la nomme *boîte quantique*
- une sous couche  $(n, l)$  peut accueillir au maximum
  - $s : 2e^-$
  - $p : 6e^-$
  - $d : 10e^-$
- une sous couche  $(n, l)$  est dite :
  - pleine** si chaque boîte est occupée par  $2e^-$ , qu'on dit *appariés* ; elle contient donc  $2 \times (2l + 1)$  électrons
  - partiellement remplie** si certaines de ses boîtes contiennent des électrons non appariés, dits *célibataires*

**Règle de Hund**

Dans une sous-couche partiellement remplie :

- les électrons sont répartis de manière à maximiser le nombre d'électrons non appariés (ie de  $m_l$  différents),
- les électrons célibataires ont tous le même  $m_s$  : leurs spins sont donc tous dans le même sens.

## Exceptions

**Exception**

Pour 3d, 4d... une sous-couche  $nd$  pleine ou à  $\frac{1}{2}$  pleine est plus stable que la sous-couche  $(n + 1)s$  inférieure.

## Caractère magnétique

**Diamagnétisme et paramagnétisme**

Les atomes possédant un ou plusieurs électrons non appariés sont dit *paramagnétique*. Ils sont dits *diamagnétiques* sinon.

**Électrons de cœur et de valence****Définition : Électrons de valence et de cœur**

Les *électrons de valence* sont ceux situés dans les dernières sous-couches  $ns$   $np$  et les sous couches  $(n-1)d$ ;  $(n-2)f$  si elles ne sont pas pleines. Les électrons des sous couches d'énergie inférieure sont les *électrons de cœur*.

Les propriétés chimiques dépendent uniquement des électrons de valence qui peuvent « accueillir » d'autres électrons dans les O.A. de leur couche de valence pour former des liaisons chimiques

**Structure des ions****Définition : Ionisation**

L'état fondamental

**d'un cation** est obtenu en arrachant les électrons de la couche de valence dans l'ordre :  $(np; ns; (n-1)d; (n-2)f)$  de l'atome neutre correspondant.

**d'un anion** est obtenu en rajoutant des électrons sur la couche de valence en respectant les règles habituelles.

**Structure du tableau****Tableau périodique de Mendeleïev**

Le tableau périodique de Mendeleïev associe *une case à chaque élément chimique* et les ordonne par nombre de charge  $Z$  croissant. Il est composé :

- de 7 lignes, nommées *périodes*,
- de 18 colonnes.

On y définit également les *blocs s, p, d, f* selon la dernière sous-couche partiellement remplie.

**Tableau**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
II	1s																	1s
II	2s													2p				
III	3s													3p				
IV	4s							3d										4p
V	5s								4d									5p
VI	6s	La																6p
			Lanthanides 4f: 14 colonnes															
VII	7s	Ac																7p
			Actinides 5f: 14 colonnes															

**Métaux**

**Métaux**

Les caractéristiques physiques d'un métal sont :

- ses bonnes conceptions thermique et électrique,
- l'éclat métallique.

Les éléments des blocs :

- *s* sont des métaux (H à l'état solide) aux propriétés variables,
- *d* sont des métaux dits *de transition* durs, de température de fusion  $T_f$  élevée,
- *p* sont de nature variée. Les métaux se situent en dessous de la diagonale des *semi-métaux* B, Si, Ge, As, Se, Sb, Te, Po.
- *f* sont des métaux.

**Familles chimiques****Définition : Gaz nobles  $c = 18$** 

- Ce sont des gaz monoatomiques neutres dans les conditions standard de température et pression ( $\theta = 25^\circ\text{C}$  et  $P = 1\text{ bar}$ ).
- Ils sont inertes chimiquement donc très stables.

**Définition : Alcalins  $c = 1$** 

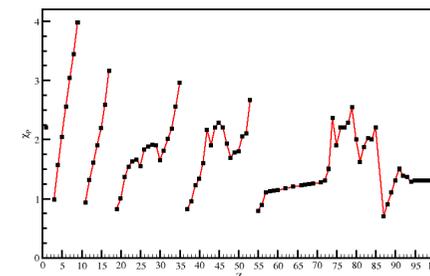
- ce sont des métaux réducteurs : réaction violente avec  $\text{H}_2\text{O}$  en particulier
- ils forment des cations monochargés

**Définition : Halogènes  $c = 17$** 

- ce sont des oxydants
- leur corps pur simple est constitué de molécules diatomiques, dont l'état physique dans les conditions standard dépend de la période
- ils forment des anions monochargés ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ) pour s'entourer du même  $n_e$  que le gaz noble le plus proche

**Électronégativité****Définition : Électronégativité**

L'*électronégativité*  $\chi_A$  d'un atome A est un nombre sans dimension qui traduit l'aptitude de A à attirer à lui le doublet électronique qui le lie à un autre atome B.

**Indispensable**

**Indispensable**

- Les nombres quantiques, la nomenclature des orbitales,
- les 3 règles de remplissage,
- le lien avec la classification périodique
- construction du tableau
- familles chimiques
- allure générale des variations de  $\chi$ , lien avec les propriétés physico-chimiques