



Chapitre 1:

Structure de l'atome ; Constituants de la matière

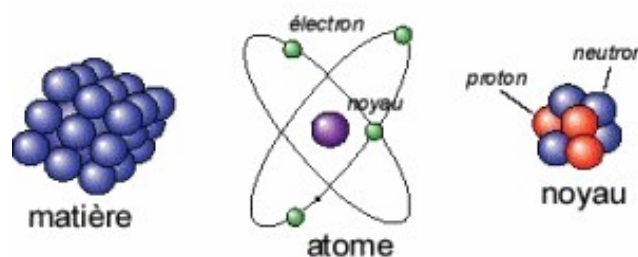
Avant propos: Ce cours de Structure de l'atome, Constituants de la matière est destiné aux étudiants de 1^{er} années des sciences vétérinaires. Cette présentation résulte de la lecture de nombreux ouvrages et documents dont la plupart ne sont pas cités dans la bibliographie.

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-----------|
| 1 Définitions | 2 |
| 1.1 Le noyau | 2 |
| 1.2 Le nuage électronique..... | 2 |
| 1.3 Identification des éléments | 3 |
| 1.3.1 Représentation | 3 |
| 1.3.2 Isotopes..... | 3 |
| 1.3.3 Masse atomique | 4 |
| 1.3.4 Mole et masse molaire..... | 4 |
| 1.3.5 Masse molaire..... | 4 |
| 1.3.6 Masse atomique relative | 4 |
| 2 Modèles classiques de l'atome | 4 |
| 2.1 Modèle de Rutherford..... | 4 |
| 2.2 Modèle de Bohr | 5 |
| 2.2.1 Description (cas de l'atome d'hydrogène)..... | 5 |
| 2.2.2 Aspect quantitatif de l'atome de Bohr | 5 |
| 2.2.3 Absorption et émission d'énergie | 7 |
| 2.2.4 Comparaison: spectre d'émission et spectre d'absorption | 7 |
| 2.2.5 Rayonnement électromagnétique | 8 |
| 2.2.6 Spectre d'émission de l'atome d'hydrogène | 8 |
| 2.2.7 Généralisation aux ions hydrogénites..... | 9 |
| 2.2.8 Energie d'ionisation | 9 |
| 3 Les nombres quantiques | 10 |
| 3.1 Le nombre quantique principal n..... | 10 |
| 3.2 Le nombre quantique secondaire l..... | 10 |
| 3.3 Le nombre quantique magnétique m | 10 |
| 3.4 Le 4 ^{ème} nombre quantique: le spin..... | 11 |
| 4 Représentation des orbitales atomiques | 11 |
| 5 Structure électronique des atomes poly-électronique (configuration électronique) . | 12 |
| 5.1 Principe d'exclusion de PAULI | 12 |
| 5.2 Principe de stabilité | 13 |
| 5.3 Règle de HUND | 13 |
| 5.4 Règle de KLECHKOWSKI..... | 13 |
| 5.4.1 Les électrons de cœur | 14 |
| 5.4.2 Les électrons de valence..... | 14 |
| 6 Le tableau périodique des éléments..... | 17 |
| 6.1 Description du tableau périodique de Mendelieff | 17 |
| 6.1.1 Période..... | 17 |
| 6.1.2 Famille (groupe)..... | 18 |
| 6.1.3 Les principales familles du tableau périodique | 19 |
| 6.2 Propriétés des éléments | 20 |
| 6.2.1 Rayon atomique r_a | 20 |
| 6.2.2 Electronegativité (χ)..... | 20 |
| 6.2.3 Valence | 20 |
| 7 Références & Bibliographie conseillée..... | 21 |

1 Définitions

La matière est formée à partir de grains élémentaires: les atomes. L'atome est un ensemble électriquement neutre comportant une partie centrale, le noyau (protons + neutrons), où est centrée pratiquement toute sa masse, et autour duquel se trouvent des électrons.



1.1 Le noyau

Le noyau renferme deux types de particules massives

- Le **proton** qui a une charge de $+1,60.10^{-19}$ C (coulombs) ce qui correspond à la charge élémentaire pour une masse de $1,673.10^{-27}$ kg.
- Le **neutron** qui a, quant à lui, une charge **nulle** pour une masse de $1,675.10^{-27}$ kg. On remarque donc que protons et neutrons ont une masse proche mais une charge totalement différente. Le noyau a donc une charge **positive**. Les neutrons et les protons constituent les **nucléons** qui sont maintenus ensemble par interaction forte.

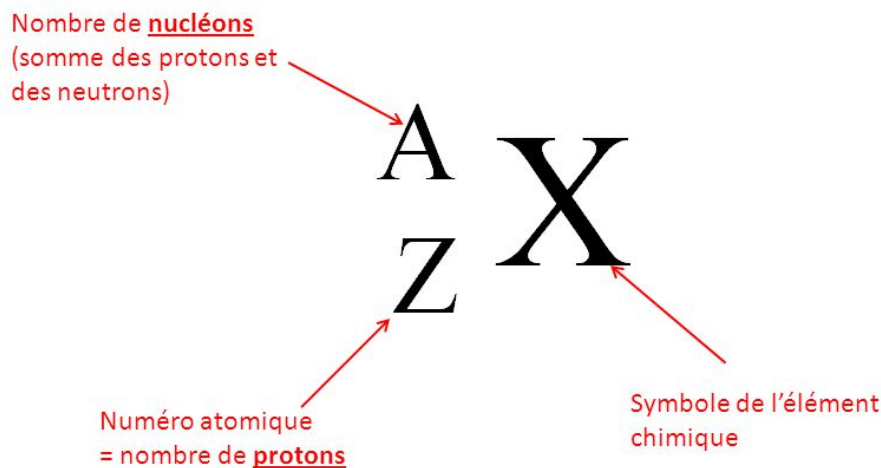
1.2 Le nuage électronique

Il correspond à l'ensemble des électrons. Un électron a une charge de $-1,60.10^{-19}$ C et une masse de $0,911.10^{-30}$ kg. Il est donc **1800 fois moins lourd** que le proton. Sa charge est **négative** et juste opposée à celle du proton. Un atome comporte autant d'électrons que de protons (sa charge globale est donc nulle) et l'univers renferme exactement le même nombre de protons que d'électrons. Les électrons occupent tout l'espace de la matière. Le noyau contient l'essentiel de la masse de l'atome.

1.3 Identification des éléments

1.3.1 Représentation

A chaque élément chimique, on a associé un symbole. Il s'écrit toujours avec une majuscule, éventuellement suivie d'une minuscule :

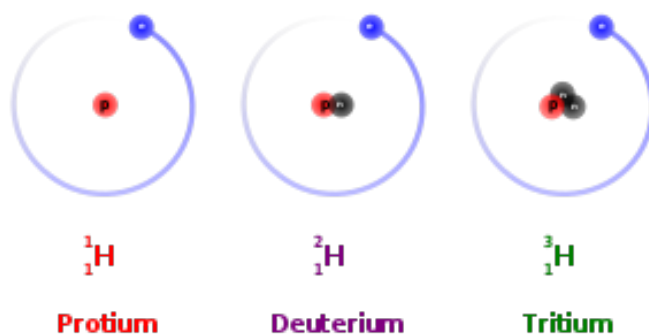


Z est appelé numéro atomique ou nombre de charge, il désigne le nombre de protons (c'est aussi le nombre d'électrons pour un atome neutre). Pour un élément quelconque, la charge du noyau (protons) est $+Ze$. De même la charge des électrons sera $-Ze$. A est appelé nombre de masse, il désigne le nombre de nucléons (protons + neutrons).

Si N représente le nombre de neutrons, on aura la relation : $A = Z + N$

1.3.2 Isotopes

Ce sont des atomes de même numéro atomique **Z** et de nombre de masse **A** différent. Un élément peut avoir un ou plusieurs isotopes. Il n'est pas possible de les séparer par des réactions chimiques, par contre cela peut être réalisé en utilisant des techniques physiques notamment la spectroscopie de masse.





1.3.3 Masse atomique

La masse atomique est égale à la somme des masses des constituants de l'atome :

$$m_{at} = Z_{me} + Z_{mp} + N_{mn} \text{ (kg)}$$

L'utilisation de cette unité n'est pas commode, des unités chimiques plus faciles à manipuler ont donc été choisies ; le terme de référence étant le carbone 12.

Par définition, l'unité de masse atomique qu'on note **u.m.a** est le $\frac{1}{12}$ ème de la masse d'un atome de carbone 12 (^{12}C).

$$\text{u.m.a} = \frac{1}{12} m_C$$

1.3.4 Mole et masse molaire

A notre échelle, on raisonne sur une certaine quantité de matière appelée mole: La mole est la quantité de matière qui contient autant d'atomes qu'il y a dans 12g de carbone 12. Le nombre est appelé nombre d'Avogadro $N = 6,023 \cdot 10^{23}$

Par définition: Une mole d'atomes de carbone 12 pèse 12g. La masse d'un atome vaut 12 u.m.a, donc :

$$12 \text{ g} = N \cdot 12 \text{ u.m.a} \text{ ou encore } 1 \text{ u.m.a} = 1/N = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg.}$$

1.3.5 Masse molaire

La masse d'une mole d'atomes d'un élément est appelée la masse molaire de l'atome.

1.3.6 Masse atomique relative

Dans le cas général, un élément possède un ou plusieurs isotopes ; donc la masse atomique sera la somme des proportions relatives à chaque isotope.

$$m = \Sigma(x_i \cdot m_i) \text{ u.m.a}$$

De même la masse molaire sera : $M = \Sigma(x_i \cdot M_i) \text{ (g/mole)}$

2 Modèles classiques de l'atome

2.1 Modèle de Rutherford

Appelé aussi modèle planétaire car le noyau positif représente le soleil et les électrons décrivent des orbites autour du noyau comme les planètes autour du soleil.

La stabilité mécanique résulte de la compensation des forces d'attractions F_a par les forces centrifuges F_c dues à la rotation des électrons autour du noyau.

L'avantage de ce modèle c'est qu'il ne fait appel qu'aux lois de la mécanique classique.



Par contre, il présente des inconvénients :

- La théorie électromagnétique exige que l'électron rayonne des ondes électromagnétiques, donc il va perdre de l'énergie et finirait par tomber sur le noyau.
- L'énergie lumineuse émise varie de façon continue.

Ces deux conclusions sont en contradiction avec l'expérience.

2.2 Modèle de Bohr

2.2.1 Description (cas de l'atome d'hydrogène)

Pour lever les contradictions précédentes, Bohr propose quatre hypothèses :

- Dans l'atome, le noyau est immobile alors que l'électron de masse m se déplace autour du noyau selon une orbite circulaire de rayon r .
- L'électron ne peut se trouver que sur des orbites privilégiées sans émettre de l'énergie ; on les appelle "orbites stationnaires".
- Lorsqu'un électron passe d'un niveau à un autre il émet ou absorbe de l'énergie :

$$\Delta E = h \cdot \nu$$

- Le moment cinétique de l'électron ne peut prendre que des valeurs entières (quantification du moment cinétique) :

$$mvr = n \cdot h / 2\pi$$

h : constante de Planck et n : entier naturel.

2.2.2 Aspect quantitatif de l'atome de Bohr

Le système est stable par les deux forces \vec{F}_a et \vec{F}_c :

- Force d'attraction : $\vec{F}_a = e^2 / 4\pi\epsilon_0 r^2$
- Force centrifuge : $\vec{F}_c = mv^2 / r$

Le système est en équilibre si : $\vec{F}_a = \vec{F}_c$

$$mv^2 = e^2 / 4\pi\epsilon_0 r \quad (1)$$

2.2.2.1 Energie totale du système

$$E_T = E_c + E_p$$

E_c : énergie cinétique

E_p : énergie potentielle, elle est due à l'attraction du noyau

$$\text{Donc : } E_p = F_a \, dr = -e^2 / 4\pi\epsilon_0 r$$

$$\text{D'autre part : } E_c = mv^2 / 2$$

Donc :



$$E_T = -e^2 / 8\pi\epsilon_0 r \quad (2)$$

2.2.2.2 Rayon de l'orbite :

On sait que : $mvr = n \cdot h / 2\pi$

Donc : $mv^2 = n^2 \cdot h^2 / 4\pi^2 m r^2 \quad (3)$

(1) et (3) donnent : $r = \epsilon_0 n^2 \cdot h^2 / e^2 m \pi \quad (4)$

C'est le rayon de l'orbite où circule l'électron ; il est quantifié.

Si on remplace (4) dans (2), on obtient :

$$E_T = - m e^4 / 8 \epsilon_0^2 n^2 \cdot h^2 \quad (5)$$

L'énergie totale d'un électron est donc discrète ou quantifiée.

- Pour $n=1$ (état fondamental : l'électron occupe l'orbite de rayon r_1 et d'énergie E_1)

$$r_1 = 0,529 \text{ \AA} \quad (1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}) ; E_1 = -21,78 \cdot 10^{-19} \text{ j} = -13,6 \text{ eV} \quad (1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ j})$$

On l'appelle r_1 «rayon de Bohr», l'expression (4) s'écrit :

$$r_n = n^2 \cdot r_1$$

E_1 c'est l'énergie d'un atome d'hydrogène dans lequel l'électron se trouve sur la couche K, la relation (5) peut s'écrire plus simplement :

$$E_n = E_1 / n^2$$

- Pour $n=2$ (Premier état excité) : $r_2 = 4r_1 = 2,116 \text{ \AA}$ et $E_2 = E_1/4 = -3,4 \text{ eV}$
- Pour $n=3$ (Deuxième état excité) : $r_3 = 9r_1 = 4,761 \text{ \AA}$ et $E_2 = 1,51 \text{ eV}$

Le modèle de Bohr est encore appelé «modèle des couches»

$n = 1$ couche K

$n = 2$ couche L

$n = 3$ couche M

etc.

Tableau des énergies des premiers états énergétiques de l'atome H

| Couche | n | r_n (nm) | E_n (eV) |
|----------|---|------------|------------|
| K | 1 | 0,0529 | -13,6 |
| L | 2 | 0,2116 | -3,40 |
| M | 3 | 0,4761 | -1,51 |
| N | 4 | 0,8467 | -0,85 |

2.2.3 Absorption et émission d'énergie

A chaque orbite permise correspond un niveau énergétique déterminé. Les transitions électroniques d'une orbite vers une autre se font par sauts et sont accompagnées de l'émission ou de l'absorption d'un photon d'énergie:

$$\Delta E = |E_f - E_i| = |E_1/n_f^2 - E_1/n_i^2| = E_1 |1/n_f^2 - 1/n_i^2| = h \nu$$

E_f : état final

E_i : état initial

h : constante de Planck

ν : fréquence de radiation

2.2.3.1 Absorption:

Lorsqu'un électron passe d'un niveau n (orbite de rayon r_n) à un niveau p ($p > n$) supérieur (orbite de rayon r_p), il absorbe une radiation de fréquence ν_{n-p} .

2.2.3.2 Emission:

Lorsqu'un électron passe d'un niveau p à un niveau n ($p > n$), il émet une radiation de fréquence ν_{p-n} .

2.2.4 Comparaison: spectre d'émission et spectre d'absorption

- Le spectre d'émission d'une source lumineuse s'obtient en analysant la lumière émise par la source à l'aide d'un spectroscope.

On obtient soit un spectre continu dans le cas d'émission continu,



Où soit des raies colorées sur un fond noir dans le cas de raies d'émission.



Pour obtenir un spectre de raies d'émission, il faut que le corps soit un gaz chaud sous faible pression.

- Le spectre d'absorption d'un gaz s'obtient en illuminant le gaz par de la lumière blanche.

Le gaz absorbe les photons de certaines fréquences discrètes, ou de certaines bandes de fréquence. La lumière transmise par le gaz est analysée à l'aide d'un spectroscope.

On obtient des raies ou des bandes noires sur fond arc-en-ciel.

Pour obtenir un spectre de raies d'absorption, il faut que le corps soit un gaz froid.

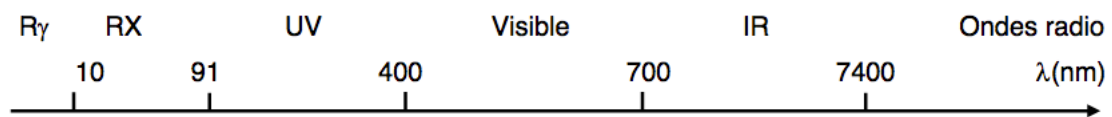


2.2.5 Rayonnement électromagnétique

Les rayons lumineux sont caractérisés par la propagation d'une onde électromagnétique à la vitesse de la lumière ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s). Cette onde est caractérisée par sa longueur d'onde λ ou par son nombre d'onde σ :

$$\lambda = 1/\sigma = c/\nu \quad \nu: \text{ la fréquence}$$

Le spectre de l'ensemble des radiations peut se présenter de la façon suivante :



2.2.6 Spectre d'émission ou d'absorption de l'atome d'hydrogène

Quantification de l'énergie:

L'énergie émise ou absorbée par un électron est :

$$\Delta E = |E_p - E_n| = h\nu \quad p > n$$

$$\Delta E = (1/n^2 - 1/p^2) me^4 / 8\epsilon_0^2 h^2 \quad \text{Or } h\nu = h \cdot c / \lambda$$

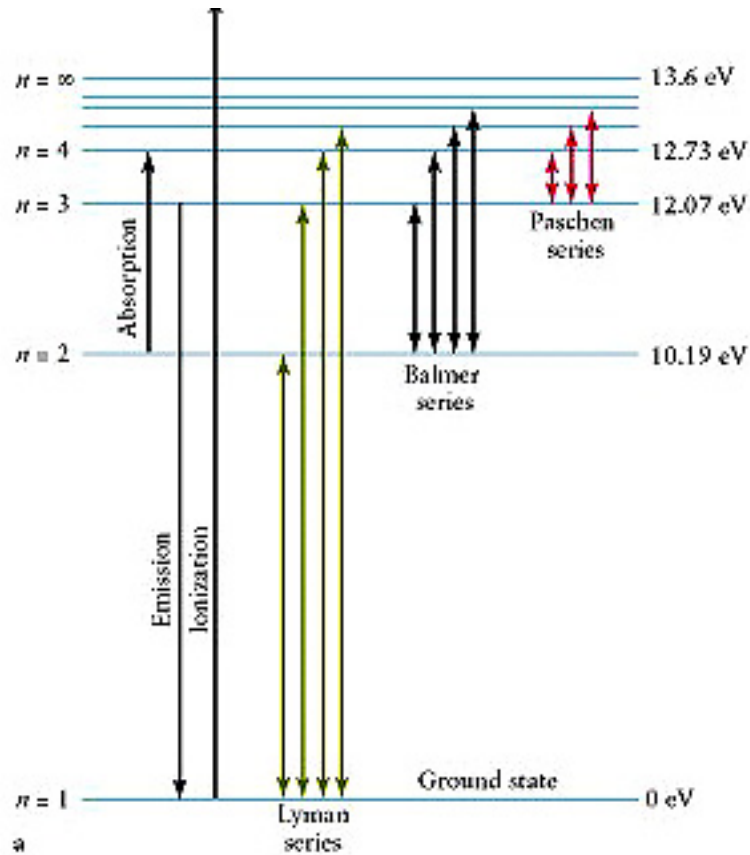
$$\text{Càd } 1/\lambda = \sigma = (1/n^2 - 1/p^2) me^4 / 8\epsilon_0^2 h^3 c$$

$$1/\lambda = R_H (1/n^2 - 1/p^2)$$

Avec : $R_H = me^4 / 8\epsilon_0^2 h^3 c = 1,09737 \text{ m}^{-1}$, appelé constante de Rydberg

Cette relation permet de calculer les différentes longueurs d'onde. En général, on trouve plusieurs séries de spectre selon l'état où se trouve l'électron :

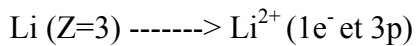
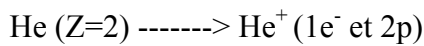
- * Série de Lyman : $n = 1$ et $p > 1$ ($p = 2, 3, \dots, \infty$)
- * Série de Balmer : $n = 2$ et $p > 2$ ($p = 3, 4, \dots, \infty$)
- * Série de Paschen : $n = 3$ et $p > 3$ ($p = 4, 5, \dots, \infty$)
- * Série de Brachett : $n = 4$ et $p > 4$ ($p = 5, 6, \dots, \infty$)
- * Série de Pfund : $n = 5$ et $p > 5$ ($p = 6, 7, \dots, \infty$)



2.2.7 Généralisation aux ions hydrogénéites

Ce sont des ions qui ne possèdent qu'un seul électron.

Exemples :



He⁺ et Li²⁺ sont des ions hydrogénéites. Leur énergie totale s'écrit :

$$E_T = E_1 \cdot Z^2 / n^2$$

Avec $E_1 = -13,6$ eV, l'énergie de l'atome d'hydrogène à l'état fondamental.

Le rayon d'une orbite de rang n d'un ion hydrogénéite est :

$$r = r_1 \cdot n^2 / Z$$

Avec $r_1 = 0,529$ Å, étant le rayon de l'atome d'hydrogène à l'état fondamental.

$$1/\lambda = Z^2 \cdot R_H (1/n^2 - 1/p^2)$$

2.2.8 Energie d'ionisation

C'est l'énergie nécessaire pour amener l'électron de son état fondamental vers l'infinie.

$E_{ion} = E_{\infty} - E_1 = 13,6$ eV pour l'atome d'hydrogène. Avec $E_{\infty} = 0$



3 Les nombres quantiques

3.1 Le nombre quantique principal n , avec $n = 1, 2, \dots$

C'est le nombre quantique principal, noté n , qui détermine le niveau principal d'énergie E_n de l'atome et définit les couches énergétiques. C'est un entier strictement positif (donc non nul).

On appelle niveau (ou couche) l'ensemble des électrons correspondants à une valeur de n :

- Le niveau **K** correspond à $n=1$
- Le niveau **L** correspond à $n=2$
- Le niveau **M** correspond à $n=3$
- Un niveau n peut contenir jusqu'à $2n^2$ électrons :
- Pour le niveau $n=1$, le nombre maximum d'électrons est de 2
- Pour le niveau $n=2$, le nombre maximum d'électrons est de 8
- Pour le niveau $n=3$, le nombre maximum d'électrons est de 18
- Pour le niveau $n=4$, le nombre maximum d'électrons est de 32

Et ainsi de suite, toujours en suivant la même règle...

3.2 Le nombre quantique secondaire ℓ , avec $\ell = 0, 1, \dots, n-1$

Le nombre quantique secondaire, noté ℓ (lettre L minuscule (ℓ)), définit la notion de sous-couches. Il peut prendre n valeurs, de 0 à $n - 1$, et détermine la géométrie des orbitales atomiques de sorte que la lettre attribuée à la sous-couche et à l'orbitale est la même. On a donc :

- Orbitale **s** pour $\ell = 0$;
- Orbitale **p** pour $\ell = 1$;
- Orbitale **d** pour $\ell = 2$;
- Orbitale **f** pour $\ell = 3$.

3.3 Le nombre quantique magnétique m , avec $m \in [-\ell, +\ell]$

Le nombre quantique magnétique (ou tertiaire), noté m , est un entier relatif compris entre $-\ell$ et $+\ell$. Ce nombre décrit l'orientation de l'électron dans le champ magnétique des autres charges. Autrement dit, m détermine l'orientation de l'orbitale.

Exemple n°1: pour $\ell = 1$, on peut avoir $m = -1, 0$ ou 1 .

Exemple n°2: pour $\ell = 3$, on peut avoir $m = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$.

Il y a donc $2\ell + 1$ valeurs possibles de m .



3.4 Le 4^{ème} nombre quantique: le spin

Le nombre quantique quaternaire dit « nombre de spin » est noté s . Il est nécessaire pour que l'électron soit complètement décrit par la fonction d'onde; pour autant, elle n'en dépend pas. Ce nombre ne peut prendre que deux valeurs : $+1/2$ ou $-1/2$. Il définit l'orientation de l'électron dans le champ magnétique. Ce quatrième nombre quantique est lié au spin de l'électron qui est de valeur $s=1/2$: c'est une caractéristique intrinsèque de l'électron.

Applications

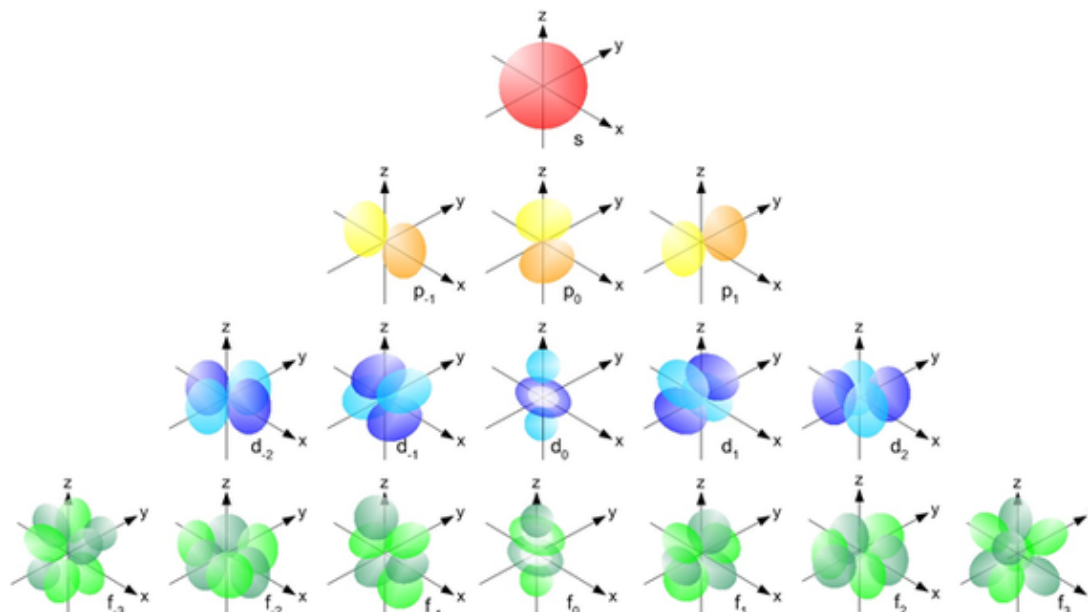
1. Donner les sous-couches électroniques comprises dans la couche $n = 4$
2. Combien d'orbitales une sous-couche électronique $2p$ contient-elle ?

Réponses

1. Pour $n = 4$, les valeurs autorisées de ℓ sont 0, 1, 2, 3. On note alors les sous-couches électroniques comprises dans la couche $n = 4$: $4s$, $4p$, $4d$ et $4f$
2. p correspond à $\ell = 1$. Les valeurs autorisées de m sont -1 , 0 et 1 , donc il y a trois orbitales dans la sous-couche électronique $2p$.
De même pour la sous-couche $3p, 4p, \dots$

4 Représentation des orbitales atomiques

À partir des nombres quantiques, nous allons représenter les orbitales. Elles ont une géométrie définie par ℓ qui devient de plus en plus complexe quand ℓ augmente. Pour décrire leur géométrie, on retiendra simplement qu'une orbitale s (pour $\ell = 0$) possède une forme sphérique et qu'une orbitale p (pour $\ell = 1$) a une forme de sablier (ou de 8) de trois orientations possibles (Rappel : pour $\ell = 1$, on a $m = -1, 0$ ou 1 , soit trois orientations).



- Pour $n = 1$, $\ell = 0$ et $m = 0$. Il n'y a donc qu'un seul état possible (l'état fondamental) correspondant à l'orbitale 1s. Puis, il y a dégénérescence des états, c'est à dire qu'au delà de $n=1$, plusieurs états correspondent à un même niveau d'énergie.
- Pour $n=2$, $\ell = 0$ et $m = 0$ **ou** $\ell=1$ et $m=-1, 0$ ou 1 . On a donc comme orbitales possibles : 2s, 2px, 2py et 2pz. Soit 4 états.

On poursuit la logique pour trouver 9 états possibles à $n=3$ et 16 états possibles à $n=4$.

5 Structure électronique des atomes poly-électronique (configuration électronique)

La configuration électronique d'un atome est la répartition de Z électrons de l'atome dans un état fondamental sur les orbitales atomiques.

Ce remplissage des orbitales atomique s'effectue à l'aide des quatre règles générales.

5.1 Principe d'exclusion de PAULI

Dans un atome, deux électrons ne peuvent pas avoir leurs quatre nombres quantiques identiques :

Si deux électrons d'un atome occupent la même orbitale (même valeurs de n , ℓ, m), ils diffèrent forcément par le nombre quantique de spin (l'un de spin $+1/2$ et l'autre de spin $-1/2$).

Remarques :

• Une orbitale est définie par les trois nombres n , ℓ et m . Il est commode de représenter les orbitales à l'aide de cases quantiques :

| | | $l =$ | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---------|-------|---|---------|-----------------|---------------------|
| | | $m =$ | 0 | -1 0 +1 | -2 -1 0 +1 +2 | -3 -2 -1 0 +1 +2 +3 |
| K | $n = 1$ | | □ | | | |
| L | $n = 2$ | | □ | □ □ □ | | |
| M | $n = 3$ | | □ | □ □ □ □ | □ □ □ □ □ □ | |
| N | $n = 4$ | | □ | □ □ □ □ | □ □ □ □ □ □ □ □ | □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ |
| | | | s | p | d | f |

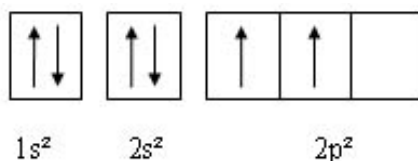
- Une case quantique ne peut contenir au maximum que 2 électrons de spins opposés.
- Pour une couche n , le nombre de cases est n^2 et le nombre d'électrons est $2n^2$.

5.2 Principe de stabilité

Les électrons occupent les niveaux d'énergie les plus bas dans la limite des places disponibles.

5.3 Règle de HUND

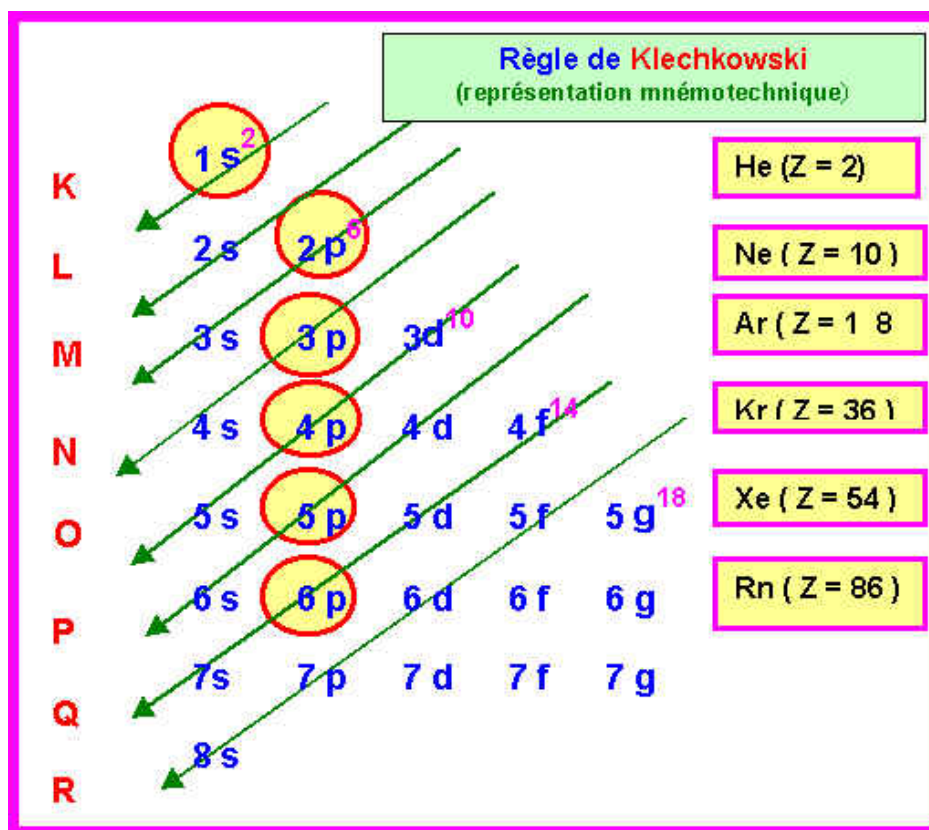
A l'état fondamental, quand les électrons se placent dans une sous-couche multiple (p, d, f), ils occupent le maximum d'orbitales de même énergie avec des électrons célibataires qui ont des spins parallèles (même valeur de s).



5.4 Règle de KLECHKOWSKI

Les **sous-couches** se remplissent par ordre croissant des valeurs de $n+l$. Pour deux valeurs égales, c'est la sous-couche de plus petit n qui se remplit la première. Par exemple, pour $2p$ et $3s$, on a respectivement $n+l = 2+1$ et $n+l = 3+0$; on remplit donc $2p$ en premier (n plus petit), et seulement ensuite on remplit $3s$.

On peut représenter l'ordre de remplissage des sous-couches comme ci-dessous



L'ordre de remplissage des sous-couches est donc:

1s 2s 2p 3s 3p 4s 3d 4p 5s 4d 5p 6s 4f 5d 6p 7s 5f 6d...

Si on remplit selon la règle de **Klechkowski**, on note le plus souvent la configuration selon n croissant.

La configuration électronique de l'état fondamental d'un élément est la signature de sa structure interne et gouverne ses propriétés chimiques.

Dans l'écriture des configurations électroniques, on fait apparaître cette distinction en définissant deux catégories d'électrons :

5.4.1 Les électrons de cœur

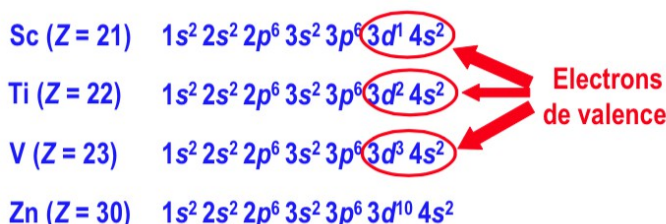
- Les électrons de cœur sont ceux qui peuplent les orbitales internes. Pour un élément donné, ils correspondent à la configuration du gaz rare qui précède cet élément dans la classification. On symbolise la configuration des électrons de cœur par le symbole du gaz rare entre parenthèses.

5.4.2 Les électrons de valence

- Les électrons de valence peuplent les orbitales des couches périphériques

occupées. La configuration de valence est notée classiquement en alignant les symboles des sous-couches et en portant en exposant le nombre d'électrons de la sous-couche.

La **couche de valence** représente la couche au **n** le **plus grand**. C'est le niveau le plus externe et il est à l'origine des propriétés chimiques des éléments. Attention toutefois à ne pas appliquer la définition à la lettre sur les éléments de transition : leur couche de valence ne se limite pas strictement au n le plus grand. En effet, leur configuration électronique se termine en $(n-1)d^x ns^y$ (x et y variant selon le nombre d'électrons des atomes), il faut alors considérer que les « électrons de valence interne » (*ce nom n'est pas à apprendre, il n'est pas précisé en cours et n'est rajouté ici que pour la compréhension*) de la sous-couche $(n-1)d$ font partie de la couche de valence. On a donc, non pas ns en couche de valence, mais bien $(n-1)d ns$. Logiquement, les électrons de valence sont ceux présents dans la couche de valence.



Les électrons de valence sont ceux qui ont le nombre quantique n le plus grand.
Ce sont les e- les plus externes, et ils sont à l'origine des propriétés chimiques des éléments.

Les configurations électroniques peuvent être raccourcies dans leur notation en prenant le gaz noble précédant et en ne rajoutant que la partie qui en diffère. Ainsi, on peut noter :

| Atome | Configuration électronique | Écriture abrégée |
|------------------|---|---------------------------------|
| $_{11}\text{Na}$ | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ | $_{10}[\text{Ne}] 3s^1$ |
| $_{21}\text{Sc}$ | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1 4s^2$ | $_{18}[\text{Ar}] 3d^1 4s^2$ |
| $_{30}\text{Zn}$ | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2$ | $_{18}[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^2$ |



On note deux exceptions, à la règle de Klechkowski,

1. Le chrome (Cr) et le molybdène (Mo).
2. Le cuivre (Cu), l'argent (Ag) et l'or (Au).

On devrait avoir $3d^4 4s^2$ pour le Chrome (Cr) et $4d^4 5s^2$ pour le molybdène (Mo), mais les niveaux $3d 4s$ et $4d 5s$ à moitié remplis sont plus stables que les configurations $3d^4 4s^2$, $4d^4 5s^2$. De même, pour le Cuivre (Cu), l'argent (Ag) et l'or (Au), on devrait avoir $d^9 s^2$ mais les atomes sont plus stable avec d rempli.

| Atome | Configuration électronique | Écriture abrégée |
|--------------------|---|----------------------------|
| ${}_{24}\text{Cr}$ | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$ | $[\text{Ar}] 3d^5 4s^1$ |
| ${}_{42}\text{Mo}$ | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^5 5s^1$ | $[\text{Kr}] 4d^5 5s^1$ |
| ${}_{29}\text{Cu}$ | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$ | $[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^1$ |
| ${}_{47}\text{Ag}$ | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^1$ | $[\text{Kr}] 4d^{10} 5s^1$ |
| ${}_{79}\text{Au}$ | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^6 4f^{14} 5d^{10} 6s^1$ | $[\text{Xe}] 5d^{10} 6s^1$ |

Comme nous l'avons vu, la couche de valence d'un atome est sa dernière couche électronique, c'est-à-dire la plus éloignée du noyau. Elle est caractérisée par le nombre quantique principal n le plus élevé.

Il peut y avoir **ionisation d'un atome** par perte d'un ou plusieurs électrons, il peut aussi s'ioniser en gagnant des électrons pour compléter sa dernière couche.



6 Le tableau périodique des éléments

6.1 Description du tableau périodique de Mendelieff

Atomic masses in parentheses are those of the most stable or common isotope.

Copyright © 1997 Michael DeWitt (michael@de Witt.com) http://www.de Witt.com

Note: The subgroup numbers 1-18 were adopted in 1984 by the International Union of Pure and Applied Chemistry. The names of elements 112-118 are the Latin equivalents of those numbers.

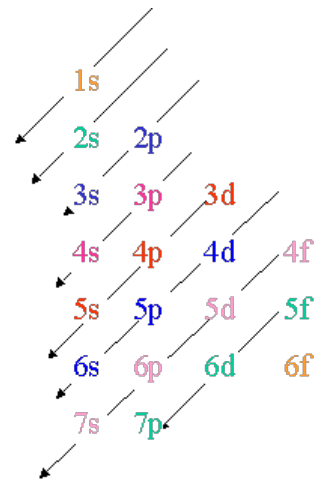
6.1.1 Période

La structure de la classification périodique est liée au remplissage des différentes sous-couches selon la règle de Klechkowski.

Chaque ligne (*ou période*) débute par le remplissage d'une sous-couche ns et s'achève par celui de la sous-couche np (sauf pour $n=1$). n croît d'une unité quand on passe d'une période à la suivante.

Les éléments d'une même ligne horizontale du tableau périodique constituent une période.

Ils sont au nombre de 7.



6.1.2 Famille (groupe)

18 colonnes (numérotées de 1 à 18)

| IA | IIA | IIIB | IVB | VB | VIB | VIIIB | VIII | | | IB | IIIB | IIIA | IVA | VA | VIA | VIIA | VIIIA |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| ¹ H | | | | | | | | | | | | | | | | | ² He |
| ³ Li | ⁴ Be | | | | | | | | | | | ⁵ B | ⁶ C | ⁷ N | ⁸ O | ⁹ F | ¹⁰ Ne |
| ¹¹ Na | ¹² Mg | | | | | | | | | | | ¹³ Al | ¹⁴ Si | ¹⁵ P | ¹⁶ S | ¹⁷ Cl | ¹⁸ Ar |
| ¹⁹ K | ²⁰ Ca | ²¹ Sc | ²² Ti | ²³ V | ²⁴ Cr | ²⁵ Mn | ²⁶ Fe | ²⁷ Co | ²⁸ Ni | ²⁹ Cu | ³⁰ Zn | ³¹ Ga | ³² Ge | ³³ As | ³⁴ Se | ³⁵ Br | ³⁶ Kr |
| ³⁷ Rb | ³⁸ Sr | ³⁹ Y | ⁴⁰ Zr | ⁴¹ Nb | ⁴² Mo | ⁴³ Tc | ⁴⁴ Ru | ⁴⁵ Rh | ⁴⁶ Pd | ⁴⁷ Ag | ⁴⁸ Cd | ⁴⁹ In | ⁵⁰ Sn | ⁵¹ Sb | ⁵² Te | ⁵³ I | ⁵⁴ Xe |
| ⁵⁵ Cs | ⁵⁶ Ba | ⁵⁷ La | ⁵⁸ Ce | ⁵⁹ Pr | ⁶⁰ Nd | ⁶¹ Pm | ⁶² Sm | ⁶³ Eu | ⁶⁴ Gd | ⁶⁵ Tb | ⁶⁶ Dy | ⁶⁷ Ho | ⁶⁸ Er | ⁶⁹ Tm | ⁷⁰ Yb | ⁷¹ Lu | |
| ⁸⁷ Fr | ⁸⁸ Ra | ⁸⁹ Ac | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| ⁵⁸ Ce | ⁵⁹ Pr | ⁶⁰ Nd | ⁶¹ Pm | ⁶² Sm | ⁶³ Eu | ⁶⁴ Gd | ⁶⁵ Tb | ⁶⁶ Dy | ⁶⁷ Ho | ⁶⁸ Er | ⁶⁹ Tm | ⁷⁰ Yb | ⁷¹ Lu |
| ⁹⁰ Th | ⁹¹ Pa | ⁹² U | ⁹³ Np | ⁹⁴ Pu | ⁹⁵ Am | ⁹⁶ Cm | ⁹⁷ Bk | ⁹⁸ Cf | ⁹⁹ Es | ¹⁰⁰ Fm | ¹⁰¹ Md | ¹⁰² No | ¹⁰³ Lr |

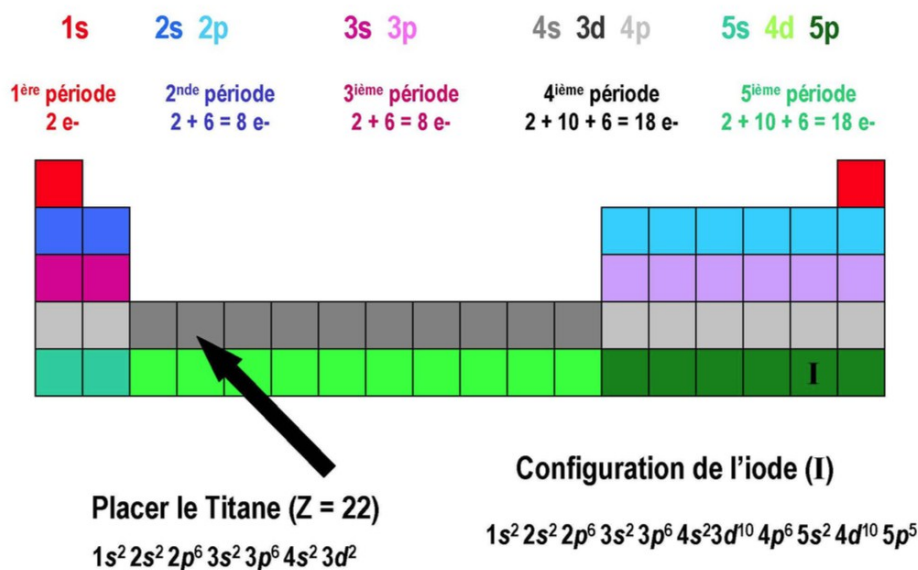
| | | | | | | | | | |
|-------------|--|--------|--|--|--|-------------------|--|--|--|
| bloc s | | bloc d | | | | bloc p métaux | | | |
| gaz inertes | | bloc f | | | | bloc p non-métaux | | | |

Les éléments d'une même colonne ayant la même configuration électronique de la couche externe constituent une famille ou groupe.

Le tableau périodique est constitué de 18 colonnes réparties en 9 groupes. Les 7 premiers comportent chacun deux sous-groupes A et B selon l'état des électrons externes.

Sous-groupe A : contient les éléments dont la couche externe est **ns np**.

Sous-groupe B : contient les atomes qui possèdent un état **d**. Les indices I, II, III,... indiquent le nombre d'électrons sur la couche externe, appelés électrons de valence.





- **Éléments du groupe s**: éléments des colonnes 1 et 2, structure externe en s et en s^2 sans électron p .
- **Éléments du groupe p**: éléments des colonnes 13 à 18, structure externe en p , p^2, \dots, p^6 .
- **Éléments du groupe d**: éléments des colonnes 3 à 12, position centrale dans le tableau entre le groupe s et le groupe p . 3 séries de 10 éléments
 - 1^{ère} série du ${}_{21}\text{Sc}$ à ${}_{30}\text{Zn}$
 - 2^{ème} série du ${}_{39}\text{Y}$ à ${}_{48}\text{Cd}$
 - 3^{ème} série du ${}_{57}\text{La}$ à ${}_{80}\text{Hg}$

6.1.3 Les principales familles du tableau périodique

Famille des alcalins : Groupe IA

Les éléments dont la configuration électronique externe sont du type ns^1 .

Famille des alcalino-terreux : Groupe IIA

Leurs configurations électroniques externes sont de type ns^2 .

Famille des halogènes : Groupe VIIA

Leurs configurations électroniques externes sont de type $ns^2 np^5$.

Famille des gaz rares

Tous ces éléments ont une configuration électronique externe de la forme $ns^2 np^6$.

Famille des éléments de transition

Ce sont des éléments qui possèdent les orbitaux d incomplètement remplis.

Éléments des triades

Ces éléments constituent le groupe VIII. On distingue trois types de triades :

- Triade du Fer : (Fe, Co, Ni)
- Triade du palladium : (Ru, Rh, Pd)
- Triade du platine : (Os, Ir, Pt)

Éléments des terres rares

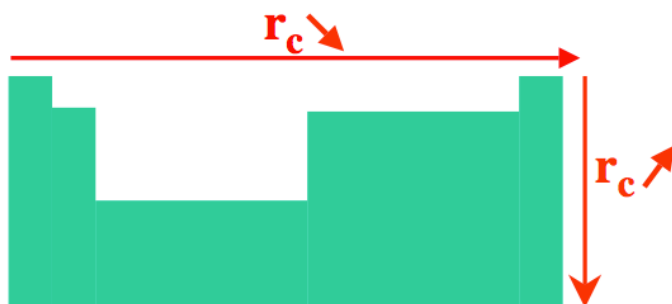
Ces éléments possèdent les orbitaux f en cours de remplissage. On distingue les éléments qui correspondent au remplissage de l'orbitale $4f$: on les appelle les lanthanides. Ceux qui correspondent au remplissage de l'orbitale $5f$ sont appelés les actinides.

6.2 Propriétés des éléments

6.2.1 Rayon atomique r_a

On peut définir le rayon atomique comme étant la moitié de la distance entre les centres des deux atomes liés par une liaison simple.

- Sur une période : si Z augmente alors r_a diminue
- Sur une colonne : si Z augmente alors r_a augmente



6.2.2 Electronégativité (χ)

L'électronégativité : c'est le pouvoir d'attirer un électron par un élément. Un élément qui perd facilement un ou plusieurs électrons est dit électropositif.

- Sur une même période : si Z augmente alors χ augmente
- Sur un même groupe : si Z augmente alors χ diminue

| | | | | | | | |
|------------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|--|
| ^1_1H 2,2 | | | | | | | |
| ^3_3Li 1,0 | ^4_4Be 1,5 | ^5_5B 2,0 | ^6_6C 2,5 | ^7_7N 3,0 | ^8_8O 3,5 | ^9_9F 4,0 | |
| $^{11}_{11}\text{Na}$ 0,9 | | | | $^{15}_{15}\text{P}$ 2,2 | $^{16}_{16}\text{S}$ 2,6 | $^{17}_{17}\text{Cl}$ 3,1 | |
| $^{19}_{19}\text{K}$ 0,8 | | | | | | $^{35}_{35}\text{Br}$ 2,9 | |
| $^{37}_{37}\text{Rb}$ 0,8 | | | | | | $^{53}_{53}\text{I}$ 2,6 | |
| $^{55}_{55}\text{Cs}$ 0,8 | | | | | | $^{85}_{85}\text{At}$ 2,2 | |
| $^{87}_{87}\text{Fr}$ 0,7 | | | | | | | |

6.2.3 Valence

C'est la capacité de chaque atome à former une liaison. Sa valeur est égale au nombre d'électrons non appariés (célibataires).



Exemples :

- 1) Hydrogène : $1s^1$; $v= 1$
- 2) Oxygène : $2s^2 2p^4$; $v= 2$
- 3) Potassium : $4s^1$; $v = 1$

7 Références & Bibliographie conseillée

- www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-atome-bohr
- www.lnw.lu/Departements/Physique/personnel/larje/1iere/Cours
- Chimie générale, Élisabeth Bardez, Dunod, Paris, 2009
- Support de cours Chimie générale, Faculté de Médecine, Professeur Antoine GEDEON, Professeur Ariel de KOZAK. Université Pierre-et-Marie-Curie