

# Chapitre 1 - Configuration électronique

## I. L'essentiel du cours

Modèle quantique de l'atome (noyau + électrons)

**TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS**

IA 1 H 1.0079																	VIIIA 2 He 4.0026
3 Li 6.941	IIA 4 Be 9.0122											IIIA 5 B 10.811	IVA 6 C 12.011	VA 7 N 14.007	VIA 8 O 15.999	VIIA 9 F 18.998	10 Ne 20.180
11 Na 22.990	12 Mg 24.305							IIIB 13 Al 26.982	IVB 14 Si 28.086	V 15 P 30.974	VIB 16 S 32.065	VII 17 Cl 35.453	VIII 18 Ar 39.948				
19 K 39.098	20 Ca 40.078	21 Sc 44.956	22 Ti 47.867	23 V 50.942	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.845	27 Co 58.933	28 Ni 58.693	29 Cu 63.546	30 Zn 65.39	31 Ga 69.723	32 Ge 72.64	33 As 74.922	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.80
37 Rb 85.468	38 Sr 87.62	39 Y 88.906	40 Zr 91.224	41 Nb 92.906	42 Mo 95.94	43 Tc 98	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29
55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57-71 La-Lu	72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.84	75 Re 186.21	76 Os 190.23	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89-103 Ac-Lr	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (266)	107 Bh (264)	108 Hs (277)	109 Mt (268)	110 Ds (271)	111 Rg (272)	112 Uub (285)	113 Nh (284)	114 Uuq (289)	115 Uup (288)	116 Uuq (289)	117 Uuq (289)	118 Uuo (289)
57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97			
89 Ac (227)	90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (262)			

Pour un élément du tableau périodique, également dénommé nucléide, on définit :



Nombre de masse  $A$

$$A = Z + N$$

avec  $N$  = nombre de neutrons

et  $Z$  = numéro atomique  
= nombre de protons  
= nombre d'électrons

Deux éléments qui diffèrent uniquement par leur nombre de neutrons sont appelés des **isotopes**. Exemple :  $^{12}_6\text{C}$  (6 protons, 6 électrons et **6 neutrons**) et  $^{13}_6\text{C}$  (6 protons, 6 électrons et **7 neutrons**). La proportion de chacun des isotopes est appelée **abondance isotopique**.

Les électrons ne possèdent pas tous la même énergie. Il existe des **électrons de cœur** (proches du noyau) et des **électrons de valence** impliqués dans la formation de liaisons chimiques. Les électrons de l'élément (du nucléide) vont se répartir sur différents niveaux d'énergie que l'on appelle des orbitales et qui sont associées à des **cases quantiques**. Pour classer les électrons, on définit trois nombres quantiques orbitaux **n**, **ℓ**, **m** et un nombre quantique de spin **s** selon :

Nombre quantique principal : **n** = 1, 2, 3, 4...

(entier positif) que l'on associe à des niveaux d'énergie notés K (n = 1), L (n = 2), M (n = 3), N (n = 4)...

Les niveaux d'énergie K, L, M... (ou couches) se composent en sous-niveaux (sous-couches) s, p, d... décrits par le nombre quantique secondaire (ou azimutal) noté **ℓ**.



Nombre quantique secondaire : **ℓ** = 0, 1, 2, 3, 4...n-1

Le **nombre quantique secondaire** est un entier positif qui peut prendre **n** valeurs de 0 à (n - 1).

*Il définit une forme géométrique liée à la fonction d'onde (c'est-à-dire à l'orbitale).*

Nombre quantique magnétique : **m** = -ℓ, ..., -1, 0, 1, ..., +ℓ

Le **nombre quantique magnétique** est un entier qui peut prendre 2 ℓ + 1 valeurs de -ℓ à +ℓ.

*Il est lié à l'orientation spatiale des orbitales.*

Nombre de spin : **s** = +1/2 ou -1/2

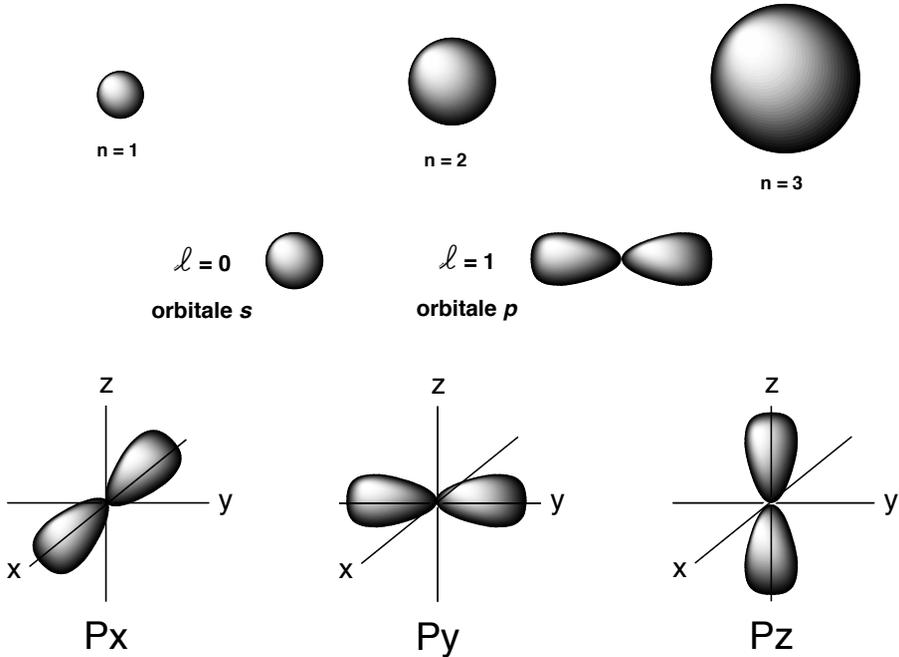
Le **nombre quantique de spin électronique** traduit la quantification du moment cinétique intrinsèque de l'électron.

Le mouvement d'un électron est décrit par une fonction d'onde  $\Psi(r)$ , appelée également orbitale, dont le carré  $\Psi^2$  définit la densité de probabilité de trouver l'électron dans la proximité immédiate d'un point de l'espace. La résolution de  $\Psi$ , qui est fonction de (**n**, **ℓ**, **m**), permet de déterminer la géométrie des volumes appelés orbitales dans lesquels l'électron a le plus de chance de se trouver.

Notes / remarques :

Remarque :  **$n$ , nombre quantique principal**, caractérise la taille et l'énergie de l'orbitale considérée (couche) pour un atome donné.

**$l$ , nombre quantique secondaire** (ou azimutal), caractérise la géométrie de l'orbitale (sous-couche).



si  $l = 0$  : **orbitale s** (s pour « *sharp* »), l'orbitale est de géométrie sphérique centrée sur le noyau. L'orbitale s peut accueillir 2 e- au maximum.

si  $l = 1$  : **orbitale p** (p pour « *principal* »), constituée par 2 lobes accolés. Les 3 orbitales p ( $p_x$ ,  $p_y$  et  $p_z$ ) peuvent accueillir 6 e- au maximum.

si  $l = 2$  : **orbitale d** (d pour « *diffuse* »), 5 géométries possibles qui ne seront pas détaillées ici. Les 5 orbitales d peuvent accueillir 10 e- au maximum.

$l$	0	1	2	3	4
Sous-couche	<i>s</i>	<i>p</i>	<i>d</i>	<i>f</i>	<i>g</i>

On considère 3 orbitales p, orientées selon les axes x, y et z d'un trièdre de référence.

Pour  $n = 1$ ,  $l = 0$  : orbitale s uniquement,

Pour  $n = 2$ ,  $l = 0$  ou 1 : orbitales s (2 e-) et p (6 e-),

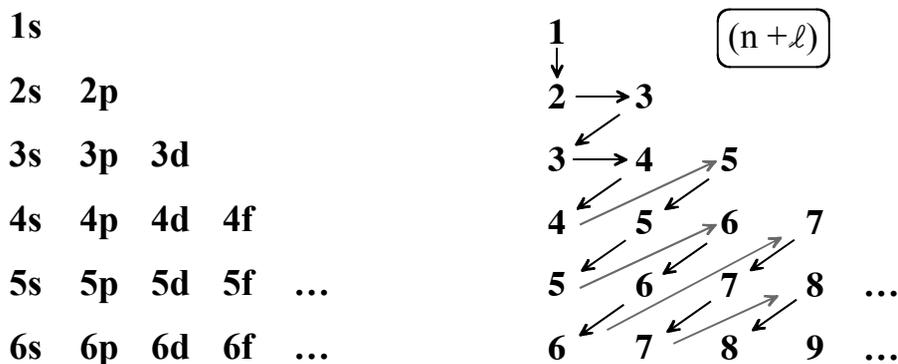
Pour  $n = 3$ ,  $l = 0, 1$  ou 2 : orbitales s (2 e-), p (6 e-) et d (10 e-),

Pour  $n = 4$ ,  $l = 0, 1, 2$  ou 3 : orbitales s (2 e-), p (6 e-), d (10 e-) et f (14 e-).

### Diagramme de Klechkowski

Le diagramme de Klechkowski est un moyen mnémotechnique qui permet de retrouver l'ordre de remplissage des couches électroniques d'un élément chimique. Sa construction est relativement simple :

- toutes les couches s sont disposées en colonnes puis on rajoute les couches suivantes (p, d, f, etc...) sur la ligne correspondante.



- l'ordre de remplissage suit les  $(n + l)$  croissants.
- en cas d'égalité, c'est la sous-couche ayant le  $n$  le plus petit qui sera complétée en premier.
- ainsi, l'ordre ne suit pas :

**1s 2s 2p 3s 3p 3d 4s 4p 4d 5s 5p 5d 6s**

mais :

**1s 2s 2p 3s 3p 4s 3d 4p 5s 4d 5p 6s 4f 5d**



\* Pour l'atome de carbone ( $Z = 6$ , 6 électrons à répartir) :  $1s^2 2s^2 2p^2$

\* Pour l'atome d'oxygène ( $Z = 8$ , 8 électrons à répartir) :  $1s^2 2s^2 2p^4$

### Quelques éléments chimiques et leur configuration électronique :

<b>H</b>	( $Z = 1$ )	$1s^1$		
<b>He</b>	( $Z = 2$ )	$1s^2$		
<b>Li</b>	( $Z = 3$ )	$1s^2 2s^1$	<b>Na</b>	( $Z = 11$ ) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$
<b>Be</b>	( $Z = 4$ )	$1s^2 2s^2$	<b>Mg</b>	( $Z = 12$ ) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$
<b>B</b>	( $Z = 5$ )	$1s^2 2s^2 2p^1$	<b>Al</b>	( $Z = 13$ ) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$
<b>C</b>	( $Z = 6$ )	$1s^2 2s^2 2p^2$	<b>Si</b>	( $Z = 14$ ) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$
<b>N</b>	( $Z = 7$ )	$1s^2 2s^2 2p^3$	<b>P</b>	( $Z = 15$ ) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$
<b>O</b>	( $Z = 8$ )	$1s^2 2s^2 2p^4$	<b>S</b>	( $Z = 16$ ) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$
<b>F</b>	( $Z = 9$ )	$1s^2 2s^2 2p^5$	<b>Cl</b>	( $Z = 17$ ) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$
<b>Ne</b>	( $Z = 10$ )	$1s^2 2s^2 2p^6$	<b>Ar</b>	( $Z = 18$ ) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$

Élément	Symbol	Z	Nbe de protons	Nbe de neutrons	Nbe d'électrons	MW	Abondance nat. (%)
Hydrogène	<sup>1</sup> H	1	1	0	1	1	99,98
Deutérium	<sup>2</sup> H (D)	1	1	1	1	2	0,02
Tritium	<sup>3</sup> H (T)	1	1	2	1	3	
Hélium	<sup>3</sup> He	2	2	1	2	3	1,3.10 <sup>-4</sup>
	<sup>4</sup> He	2	2	2	2	4	99,99
Lithium	<sup>6</sup> Li	3	3	3	3	6	7,3
	<sup>7</sup> Li	3	3	4	3	7	92,7
Carbone	<sup>12</sup> C	6	6	6	6	12	98,9
	<sup>13</sup> C	6	6	7	6	13	1,1
	<sup>14</sup> C	6	6	8	6	14	2.10 <sup>-10</sup>
Azote	<sup>14</sup> N	7	7	7	7	14	99,6
	<sup>15</sup> N	7	7	8	7	15	0,4
Oxygène	<sup>16</sup> O	8	8	8	8	16	99,76
	<sup>17</sup> O	8	8	9	8	17	0,04
	<sup>18</sup> O	8	8	10	8	18	0,2
Fluor	<sup>19</sup> F	9	9	10	9	19	100
Sodium	<sup>23</sup> Na	11	11	12	11	23	100
Chlore	<sup>35</sup> Cl	17	17	18	17	35	75,4
	<sup>37</sup> Cl	17	17	20	17	37	24,6
Brome	<sup>79</sup> Br	35	35	44	35	79	50,5
	<sup>81</sup> Br	35	35	46	35	81	49,5

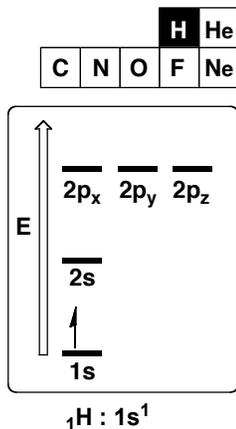
---

MW = *Molecular Weight* (masse molaire)

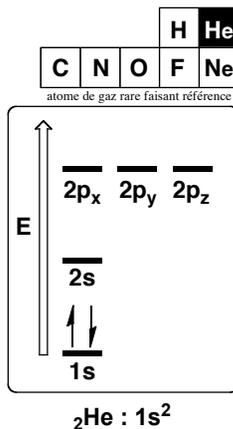
Il est généralement possible, à partir du remplissage électronique, de connaître la valence des éléments c'est-à-dire le nombre de liaisons que peut présenter un atome donné.

Les éléments du tableau périodique ont en modèle (en « référence ») l'atome de gaz rare le plus proche qui a sa dernière couche électronique totalement remplie en électrons.

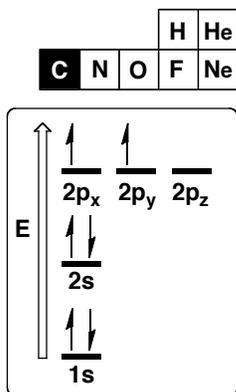
Nous vous proposons ci-après quelques exemples pour les éléments principaux qui constituent les composés organiques.



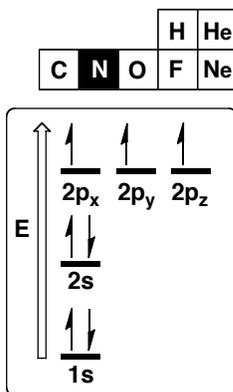
Il manque 1 e- pour compléter l'orbitale 1s : **l'hydrogène est monovalent**



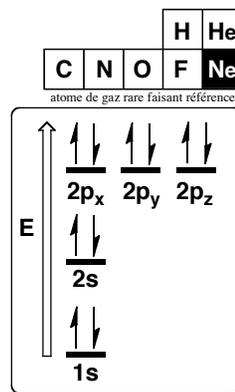
**Hélium** : atome de gaz rare le plus proche (dernière couche électronique remplie en e-)



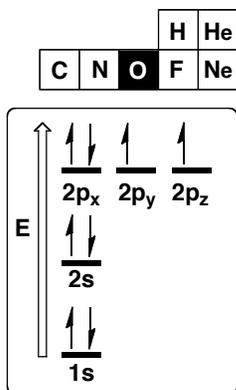
Il manque 4 e- pour compléter l'orbitale 2p : **le carbone est tétravalent**



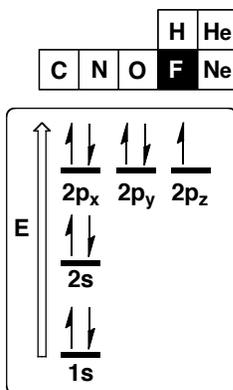
Il manque 3 e- pour compléter l'orbitale 2p : **l'azote est trivalent**



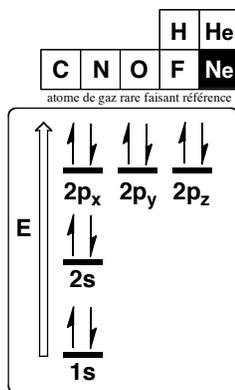
**Néon** : atome de gaz rare le plus proche



Il manque 2 e- pour compléter l'orbitale 2p : **l'oxygène est divalent**



Il manque 1 e- pour compléter l'orbitale 2p : **le fluor est monovalent**



**Néon** : atome de gaz rare le plus proche

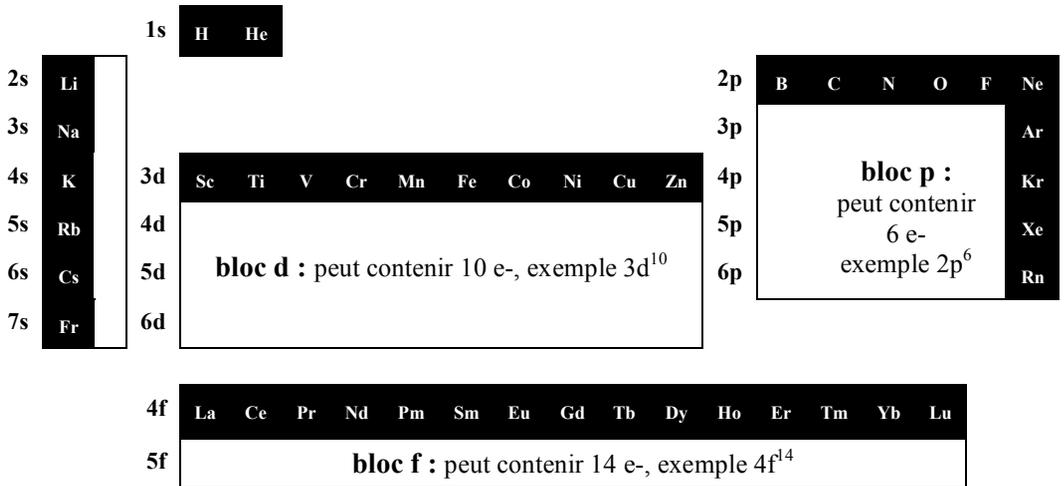
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

H																	He
Li	Be	<b>Tableau Périodique des Eléments</b>										B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg							

Un découpage du tableau périodique en blocs s, p, d et f est proposé ci-dessous :

**bloc s :**

peut contenir 2 e-, exemple 2s<sup>2</sup>



Notes / remarques :

Il existe de nombreuses phrases mnémotechniques pour retenir les 1<sup>ères</sup> lignes du tableau périodique. Ci-joint 2 exemples :



3 <b>Li</b> 6.941	4 <b>Be</b> 9.0122	5 <b>B</b> 10.811	6 <b>C</b> 12.011	7 <b>N</b> 14.007	8 <b>O</b> 15.999	9 <b>F</b> 18.998	10 <b>Ne</b> 20.180
-------------------------	--------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	---------------------------

**L**ili **B**écha **B**ien **C**hez **N**otre **O**ncle **F**rançois **N**estor

Notes / remarques :