

Partie I: Les atomes / Le tableau périodique

V. Michaud (MX)

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

EPFL

Table des matières

- Introduction, objectif du cours
- Rappels sur l'atome
- Les orbitales atomiques
- Le principe de construction des atomes
- Le tableau périodique

Objectifs du cours

- Rappel sur la structure des atomes, les orbitales atomiques.
- Rappel sur le tableau périodique des éléments

Rappels de la semaine dernière

- Les atomes sont constitués de protons, neutrons et électrons. Le noyau se compose de protons et de neutrons et il constitue la quasi-totalité de la masse de l'atome.
- Les ondes électromagnétiques sont créées par les mouvements des charges électriques dans les atomes.

Les radiations électromagnétiques transportent de l'énergie à travers l'espace.

➔ Une raie de radiation électromagnétique est un flux de nombreux « paquets » d'énergie électromagnétique appelés **photons** (pour la lumière).

Dans le vide:

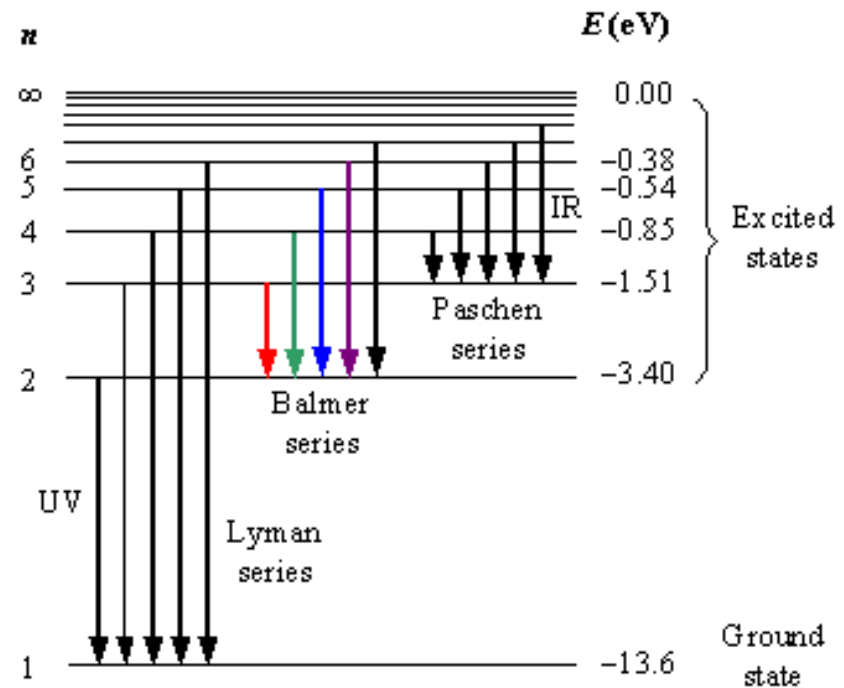
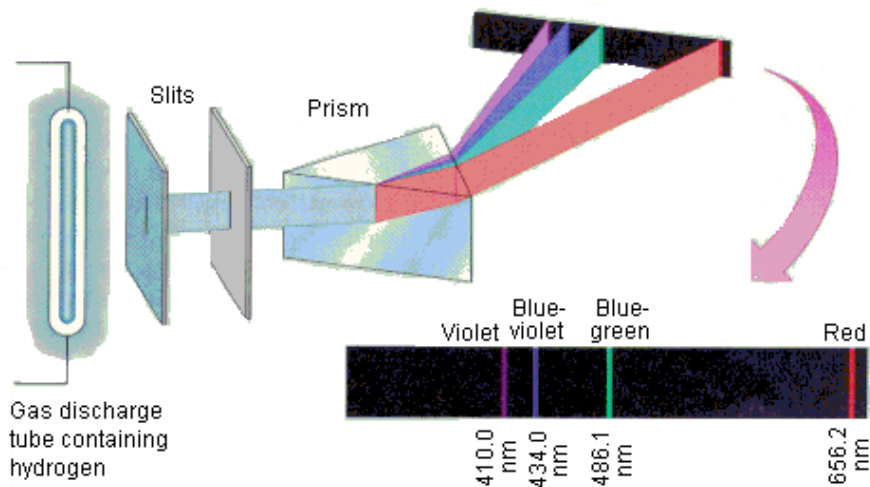
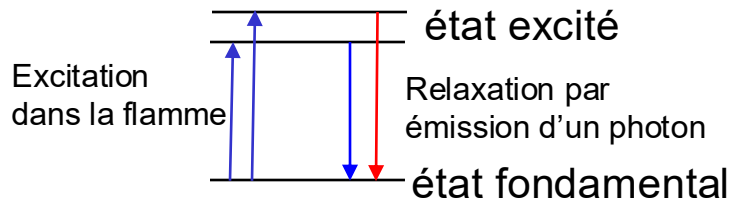
$$\lambda \nu = c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

vitesse c , longueur d'onde λ ,
fréquence: $\nu = 7.5 - 3.75 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$
 $E = 1.25 - 2.5 \text{ eV}$



Réponse d'un atome d'hydrogène hors équilibre

= des photons! Mais seulement avec une énergie particulière, appelée quanta



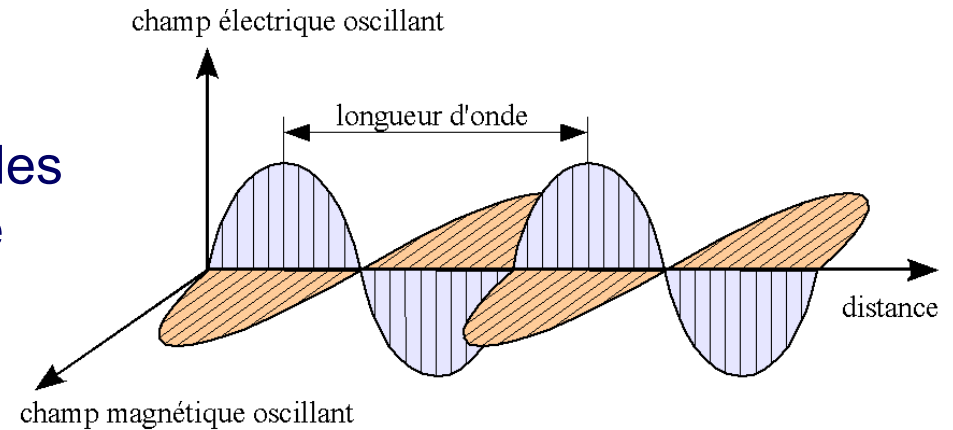
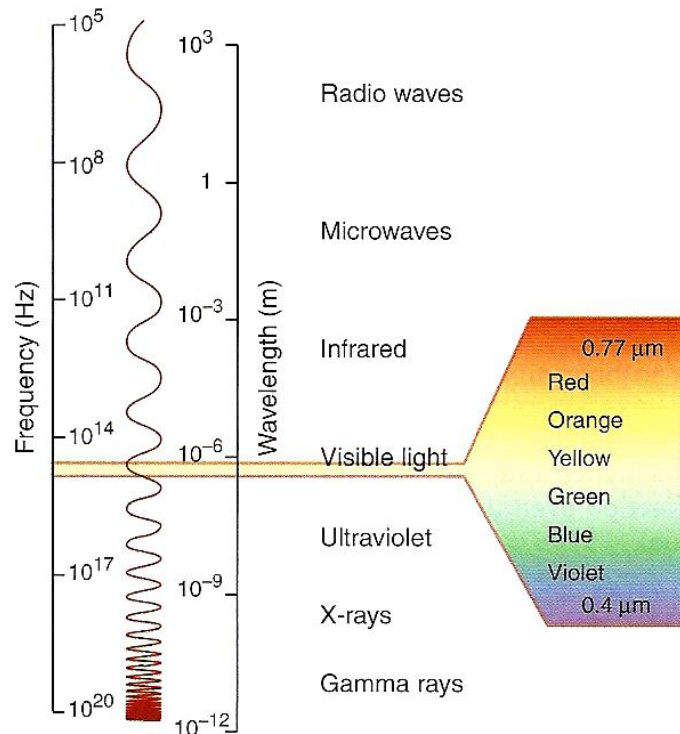
Spectre de l'hydrogène atomique

$$E_n = \frac{-13.6 \text{ eV}}{n^2}$$

Qu'est-ce que la lumière?

C'est une onde électromagnétique qui résulte du mouvement de charge électriques.

Ce mouvement produit des oscillations des champs électrique et magnétique, qui se propagent dans l'espace.



Dans le vide:

$$\lambda \nu = c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

vitesse c

longueur d'onde λ

perméabilité du vide μ_0

permittivité du vide ϵ_0

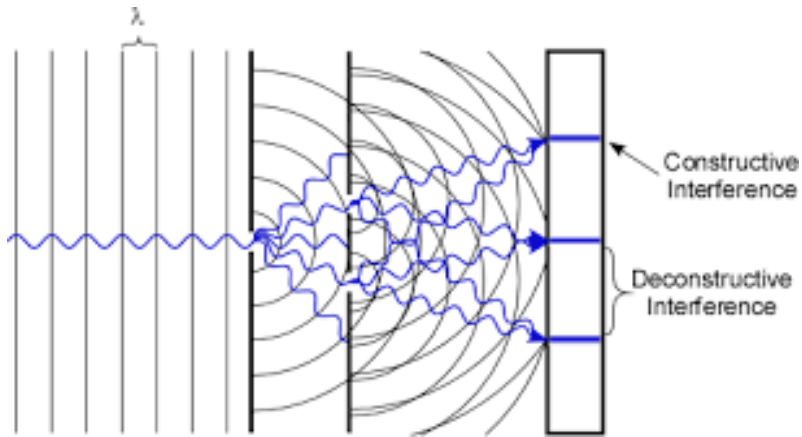
fréquence: $\nu = 7.5 - 3.75 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$

$E = 1.25 - 2.5 \text{ eV}$

Dualité onde-particule

ONDE

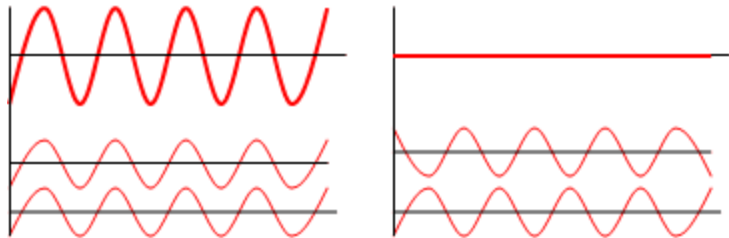
Observation de la diffraction



Interférence

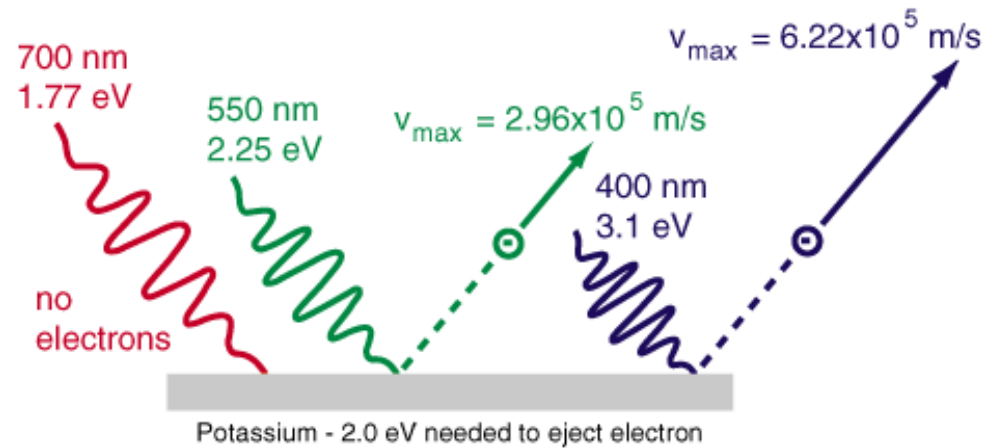
constructive

destructive



PARTICULE

Effet photoélectrique (potassium)



Un seul photon doit transmettre suffisamment d'énergie à un électron pour le déloger.

<https://www.youtube.com/watch?v=puT36rd9dkQ>

Nature ondulatoire de la matière

On a vu que la lumière est une onde et une particule (photons), mais est ce que la matière, qui est formée de particules, peut aussi être considérée comme une onde?

Suppositions de **Louis de Broglie** en 1923: une particule de masse m , qui se déplace à la vitesse v se comporte comme une onde de longueur d'onde λ :

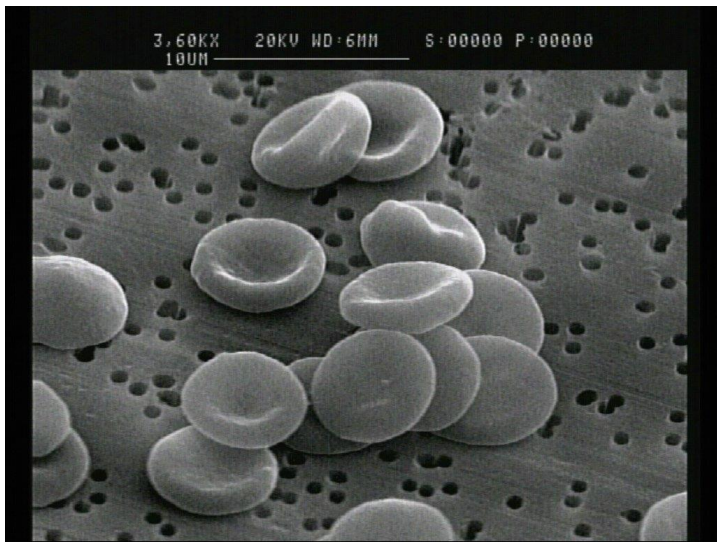
$$\lambda = \frac{h}{mv}, \text{ où } h : \text{ constante de Planck} = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

Nature ondulatoire de la matière

On a vu que la lumière est une onde et une particule (photons), mais est ce que la matière, qui est formée de particules, peut aussi être considérée comme une onde?

Suppositions de **Louis de Broglie** en 1923: une particule de masse m , qui se déplace à la vitesse v se comporte comme une onde de longueur d'onde λ :

$$\lambda = \frac{h}{mv}, \text{ où } h : \text{ constante de Planck} = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$



L'hypothèse fut vérifiée quelques années plus tard, et a permis de développer le microscope électronique (faisceaux d'électrons au lieu de faisceaux de lumière à travers des lentilles, donc petite longueur d'onde et meilleure résolution)

Mécanique quantique: la fonction d'onde

Schrödinger (1926):

$\Psi^2(x)$ densité de probabilité de présence de l'électron. On ne parle plus de position précise d'un électron, mais de probabilité de présence d'un électron dans un espace donné.

$$P = \int_{x_1}^{x_2} |\Psi(x)|^2 dx$$

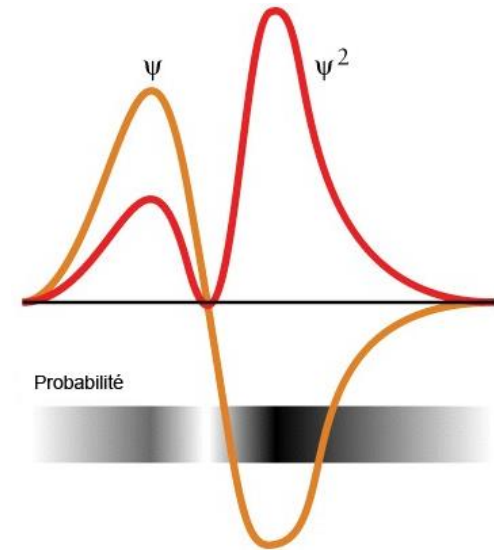
Mécanique quantique: la fonction d'onde

Schrödinger (1926):

$$\begin{aligned} \text{énergie cinétique} + \text{énergie potentielle} &= \text{énergie totale} \\ -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi}{dx^2} + V(x)\psi &= E\psi \\ \underbrace{-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi}{dx^2} + V(x)\psi}_{H\psi} &= E\psi \end{aligned}$$

(H: hamiltonien; ψ = fonction d'onde)

La fonction d'onde ψ , décrit les états d'énergie de l'atome, et est solution de l'équation donnée ici.



Interprétation de ψ :

$\Psi^2(x)$ densité de probabilité de présence de l'électron.

On ne parle plus de position précise d'un électron, mais de probabilité de présence d'un électron dans un espace donné.

$$P = \int_{x_1}^{x_2} |\Psi(x)|^2 dx$$

Mécanique quantique: L'incertitude

Heisenberg (1925) : Il est impossible de connaître simultanément la position et la vitesse d'une particule aussi petite qu'un électron. En voulant mesurer la position, on modifie sa vitesse et vice-versa.

$$\Delta p \cdot \Delta x \geq \frac{1}{2} \hbar$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

Δx : incertitude sur la position

$\Delta p = m\Delta v$: incertitude sur la quantité de mouvement donc sur la vitesse



Modèle actuel de structure de l'atome

La physique quantique a permis de comprendre la structure électronique des atomes

Hydrogène

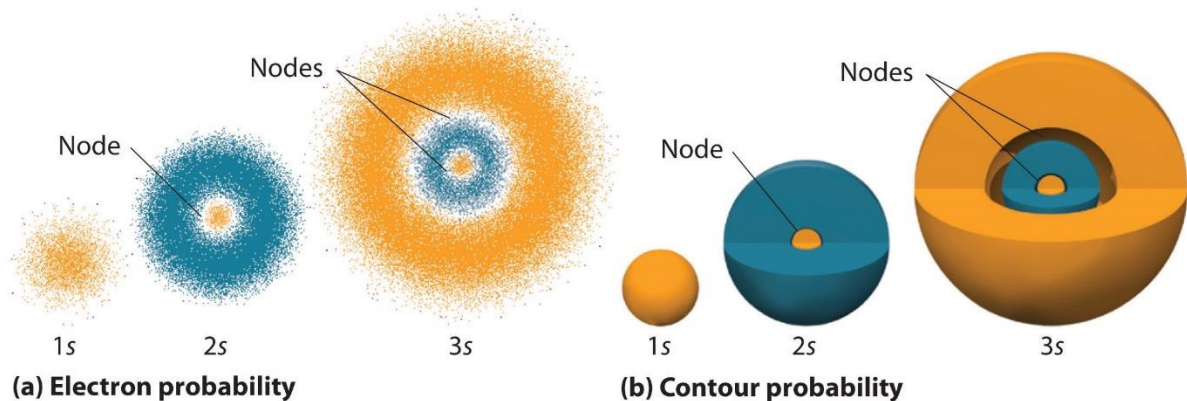
Vision classique de Bohr

Vision quantique

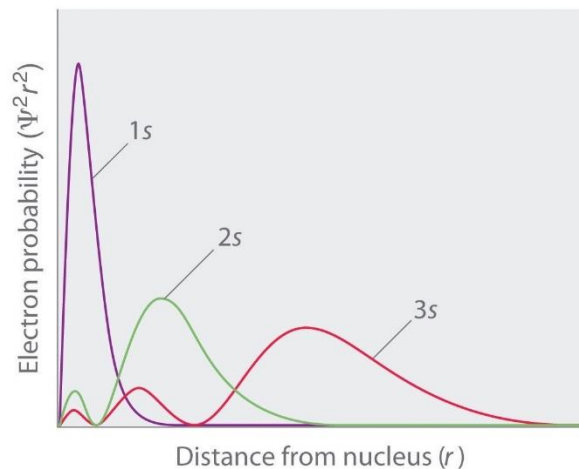
L'électron est représenté par une fonction $\psi(\mathbf{r},t)$ telle que $|\psi|^2 dV$ représente la probabilité de le trouver dans un élément de volume dV

Solution de l'équation de Schrodinger: orbitales

Les diverses solutions de l'équation de Schrödinger sont des orbitales (ψ_{n,l,m_l}) définies par 3 nombres entiers (appelés nombres quantiques): n , l , m_l



Une orbitale est une expression mathématique.



(c) Radial probability

La fonction de distribution radiale donne la densité de probabilité de présence de l'électron pour un rayon donné sommée dans toutes les directions.

Cette description qualitative suffit à expliquer la configuration électronique et la réactivité chimique de la plupart des éléments (définie par les électrons de valence)

Les orbitales

Hydrogène... et les autres atomes?

Les nombres quantiques et orbitales

L'état d'un électron dans un atome (énergie, région d'espace) est défini par les nombres quantiques:

n : nombre quantique principal: $n \geq 1$

n détermine l'énergie et la "taille" de l'orbitale

Les nombres quantiques et orbitales

L'état d'un électron dans un atome (énergie, région d'espace) est défini par les nombres quantiques:

ℓ : nombre quantique angulaire (secondaire):

$$0 \leq \ell \leq n - 1$$

ℓ détermine la forme de l'orbitale

$$\ell = 0$$

$$\ell = 1$$

$$\ell = 2$$

La notation s, p, d et f pour le nombre atomique l est héritée de l'observation des raies d'absorption:

s : sharp

p : principal

d : diffuse

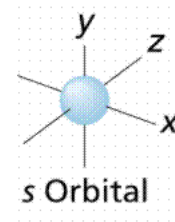
f : fundamental

Les nombres quantiques et orbitales

m_ℓ : nombre quantique magnétique: $-\ell \leq m_\ell \leq +\ell$

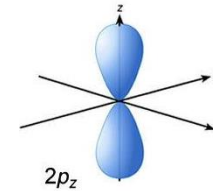
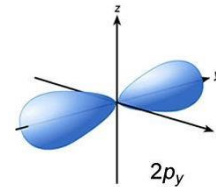
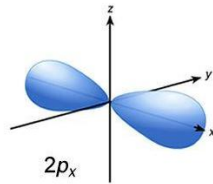
m_ℓ représente l'orientation de l'orbitale ($2 \times \ell + 1$ orientations possibles pour un nombre quantique ℓ donné)

$\ell = 0$ $m_\ell = 0$



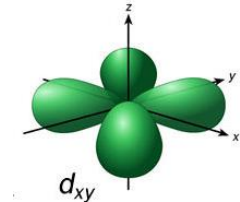
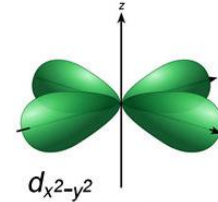
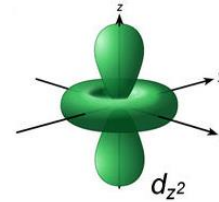
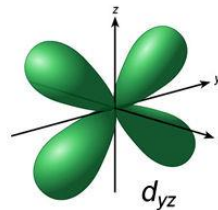
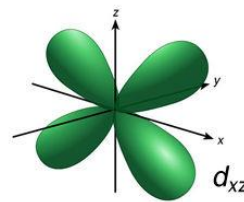
$\ell = 1$

$m_\ell = -1, 0, 1$



$\ell = 2$

$m_\ell = -2, -1, 0, 1, 2$

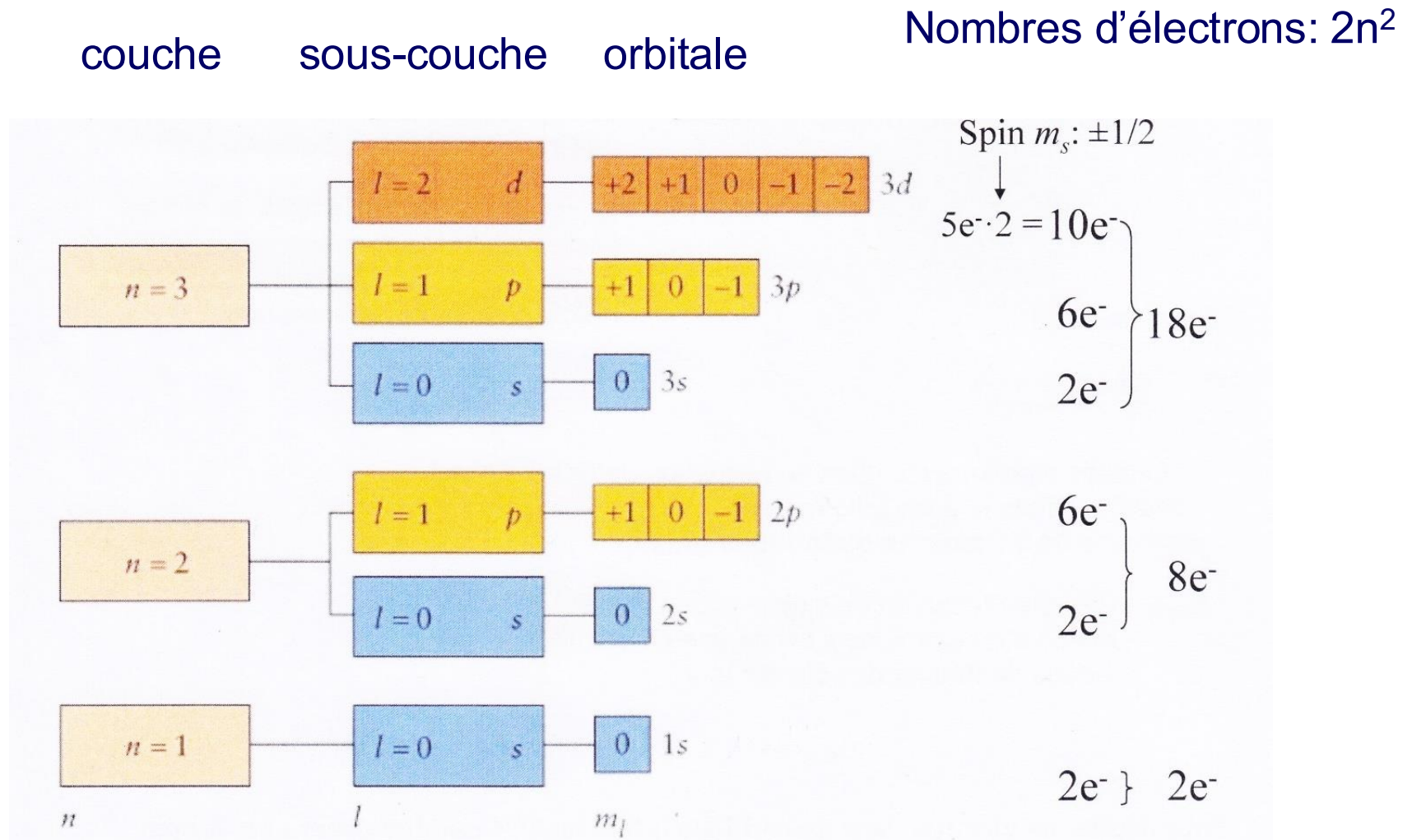


Les nombres quantiques et orbitales

Pour définir un électron dans une orbitale, on a besoin d'un 4^{eme} nombre quantique:

m_s : nombre quantique de spin: +1/2 ou -1/2

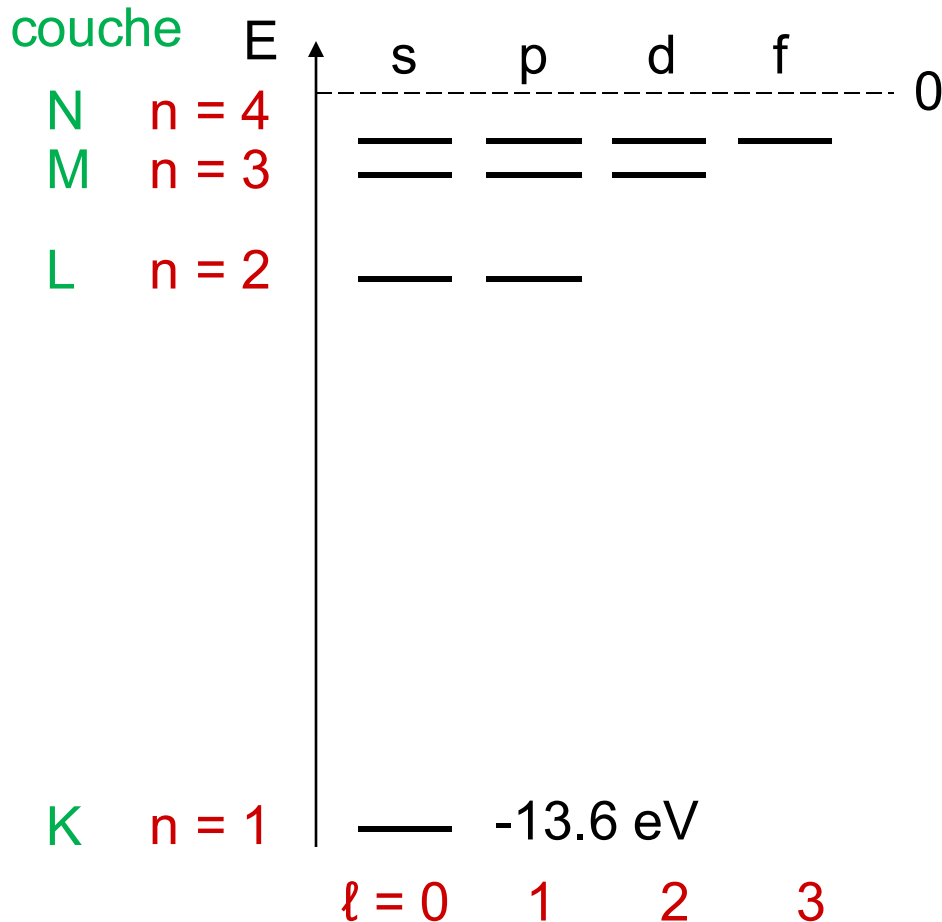
Remplissage des orbitales



Structure de l'atome d'hydrogène

Pour l'atome d'Hydrogène, tous les états pour un même n ont la même énergie.

On dit qu'ils sont **dégénérés**.

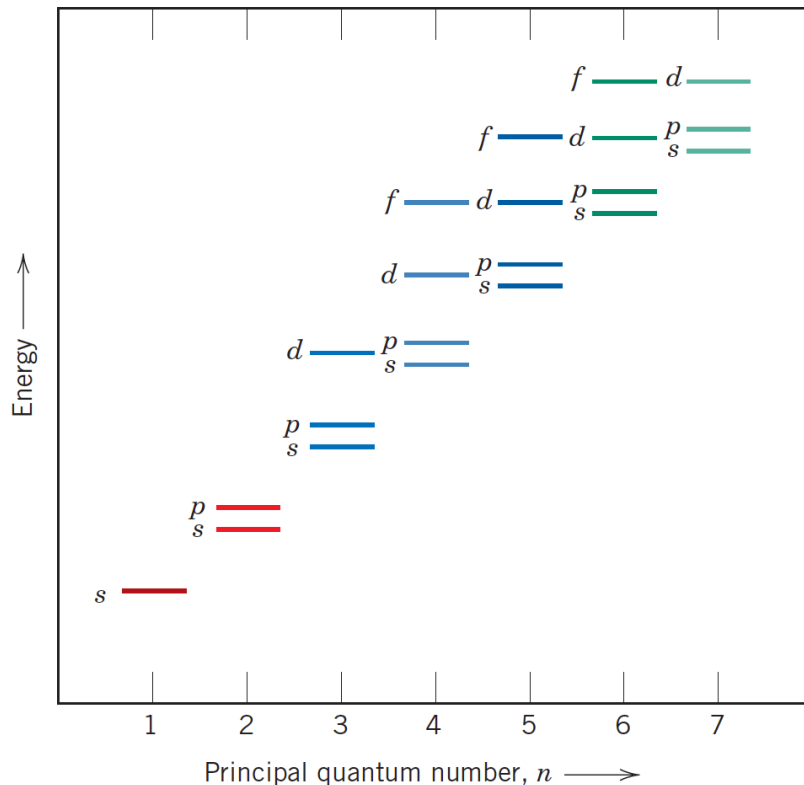


Nombre d'états
au niveau n :

$$2 \times \sum_{l=0}^{n-1} (2 \times l + 1)$$

Structure des atomes à plusieurs électrons

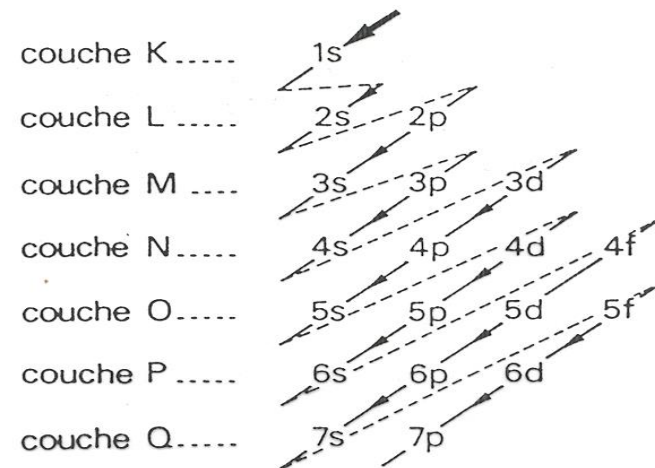
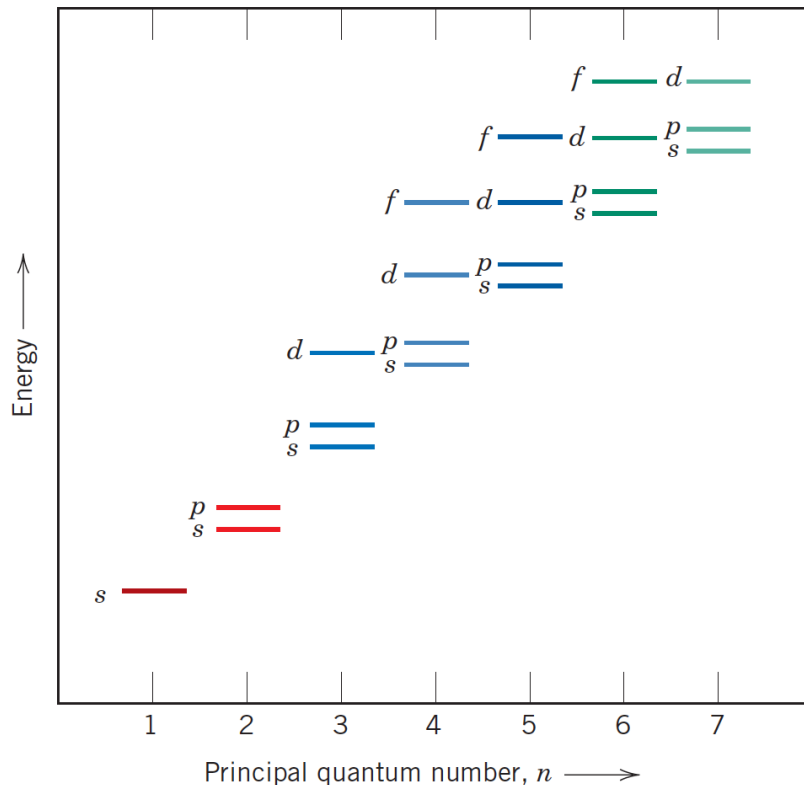
En considérant maintenant les atomes avec un nombre atomique $Z > 1$, les niveaux énergétiques des différentes orbitales ne sont plus dégénérés et leur ordre est également perturbé.



Structure des atomes à plusieurs électrons

Règle de Klechkowsky:

Les électrons d'un atome (ou d'un ion) occupent dans l'état fondamental les orbitales atomiques de plus basse énergie

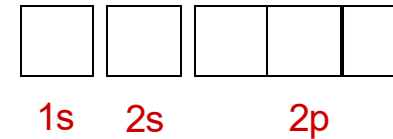
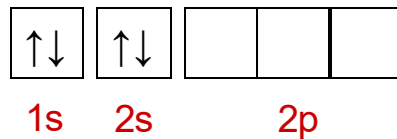
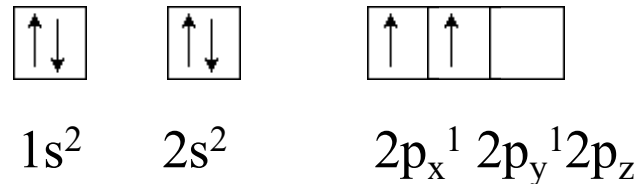


Principe de construction: 2 principes

Principe d'exclusion de Pauli

Dans un atome, il ne peut exister deux électrons définis par le même groupe de quatre nombre quantiques (un set (n, ℓ, m_ℓ, m_s) correspond à 1 seul e^-)
Une orbitale comprend **au plus deux électrons** et ces électrons sont nécessairement de spins opposés.

Exemples : configuration électronique du carbone (6 électrons)



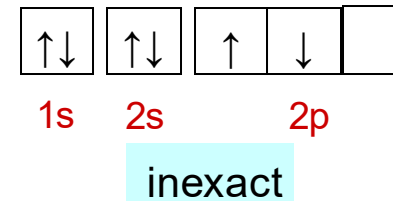
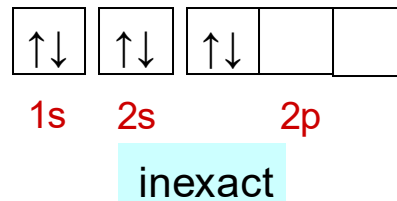
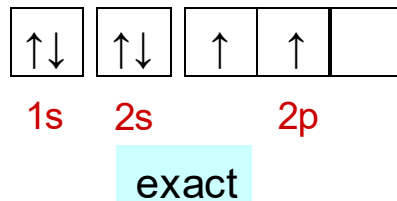
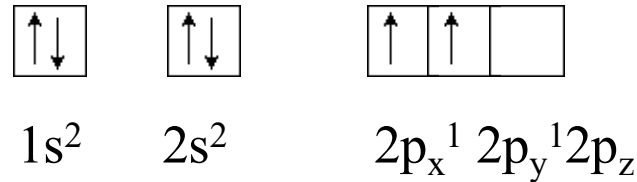
$\uparrow\downarrow$ électrons appariés \uparrow électron célibataire

Principe de construction: 2 principes

Règle de Hund

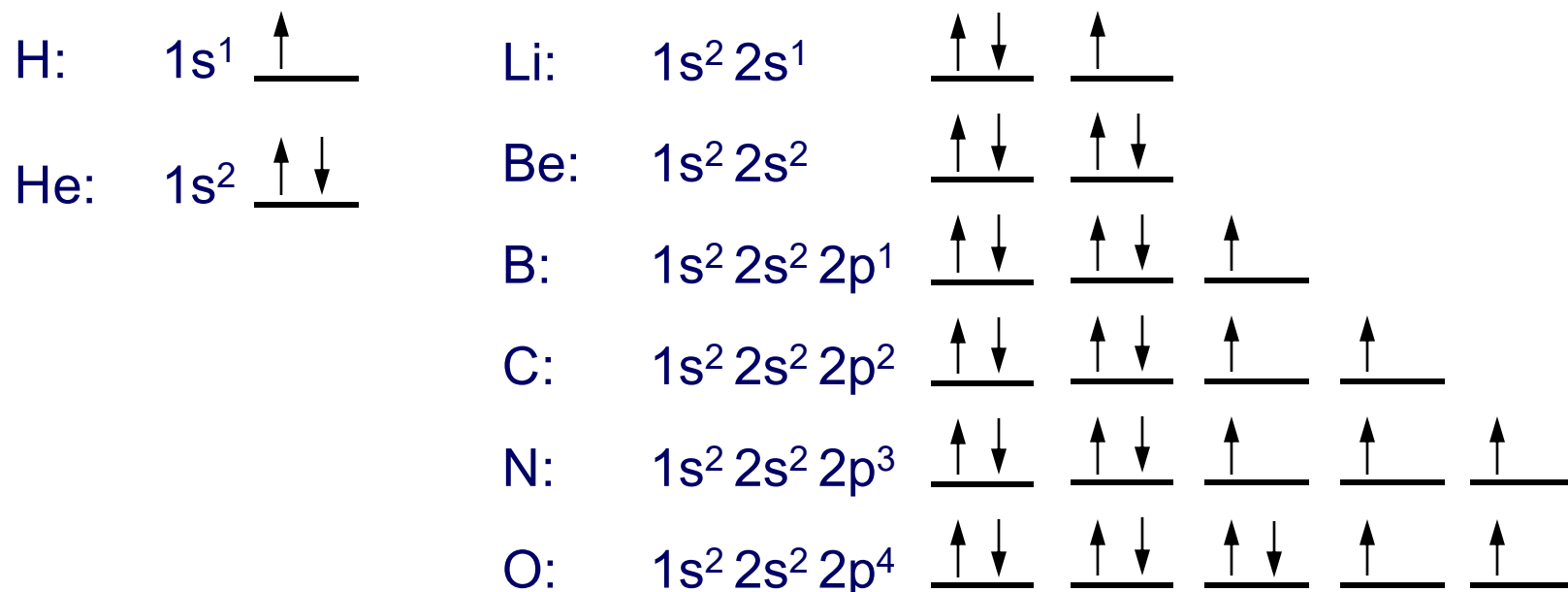
L'arrangement le plus stable est celui correspondant au maximum d'électrons de spins parallèles (sur les orbitales (n, ℓ) , on fixe d'abord m_s avant de varier m_ℓ)

Exemples : configuration électronique du carbone (6 électrons)



$\uparrow\downarrow$ électrons appariés \uparrow électron célibataire

Principe de construction: électrons de valence



Électrons de valence: Ce sont les électrons de la couche externe

Les électrons occupant la couche ayant la plus grande valeur de n

➔ ***Ils déterminent en grande partie les propriétés chimiques d'un élément***

Tableau périodique des éléments

CLASSIFICATION PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

électronégativité

nombre atomique

électrons par couche

électrons par orbitale

symbole

nom

masse atomique relative

Np

Neptunium

93

237,05

élément métallique

élément non-métallique

élément à prédominance métallique

élément à prédominance non-métallique

gaz rare

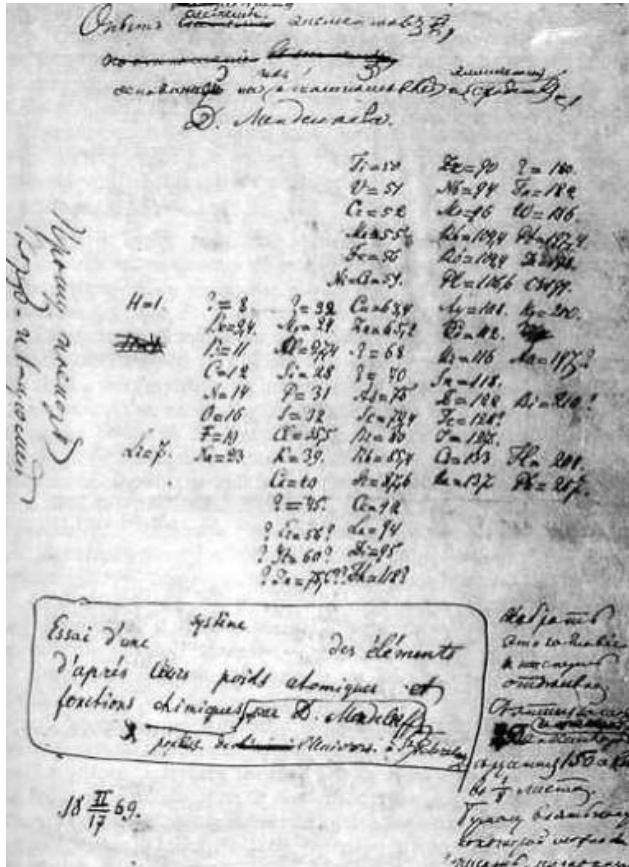
		Ia	IIa	CLASSIFICATION PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS																IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	0				
		✕	✕																	✕	✕	✕	✕	✕	✕				
1	1 ^{1s¹}	H																								2	He	K	
		Hydrogène 1,01																									Helium 4,00		
2	2 ^{1s²2s¹}	Li	Be																										
		Lithium 6,94	Béryllium 9,01																										
3	3 ^{1s²2s²2p¹}	Na	Mg																										
		Sodium 22,99	Magnésium 24,31																										
				IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	VIIIb						IB	IIb	IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	0							
4	4 ^{1s²2s²2p⁶3s¹}	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr										
		Potassium 39,10	Calcium 40,08	Scandium 44,96	Titane 47,87	Vanadium 50,94	Chrome 52,00	Manganèse 54,94	Fer 55,85	Cobalt 58,93	Nickel 58,69	Cuivre 63,55	Zinc 65,38	Aluminium 26,98	Silicium 28,09	Phosphore 30,97	Soufre 32,07	Chlore 35,45	Argon 39,95										
5	5 ^{1s²2s²2p⁶3s²3p¹}	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe										
		Rubidium 85,47	Strontium 87,62	Yttrium 88,91	Zirconium 91,22	Niobium 92,91	Molybdène 95,94	Technétium 98,91	Ruthénium 101,07	Rhodium 102,91	Palladium 106,40	Argent 107,87	Cadmium 112,40	Indium 114,82	Étain 118,70	Antimoine 121,75	Tellure 127,60	Iode 126,90	Xénon 131,30										
6	6 ^{1s²2s²2p⁶3s²3p²}	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn										
		Césium 132,91	Baryum 137,34	Lanthane 138,91	Hafnium 178,49	Tantale 180,95	Tungstène 183,85	Rhénium 186,21	Osmium 190,20	Iridium 192,22	Platine 195,10	Or 196,97	Mercure 200,60	Thallium 204,37	Plomb 207,20	Bismuth 208,98	Polonium (209)	Astato (210)	Radon (222)										
7	7 ^{1s²2s²2p⁶3s²3p³}	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Uuu	Uub																
		Franium (223)	Radium 226,03	Actinium (227)	Rutherfordium (261)	Dubnium (262)	Seaborgium (263)	Bohrium (264)	Hassium (265)	Mitnerium (266)	Darmstadtium (281)	Ununium (272)	Unbium (285)																
6	groupes c : lanthanides actinides			58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71												
				Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu												
		Cérium 140,12	Praséodyme 140,91	Néodyme 144,24	Prométhium 146,92	Samarium 150,40	Europium 151,96	Gadolinium 157,25	Terbium 158,93	Dysprosium 162,50	Holmium 164,93	Erbium 167,26	Thulium 168,93	Ytterbium 173,04	Lutétium 174,97														
7				90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103												
		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr														
		Thorium 232,04	Protactinium 231,04	Uranium 238,03	Neptunium 237,05	Plutonium 239,05	Americium 241,06	Curium 247,07	Berkélium 249,08	Californium 251,08	Einsteinium 254,09	Fermium 257,10	Mendélévium 258,10	Nobélium 255,00	Lawrencium 262,10														

Un peu d'histoire

Dimitri Mendeleev 1869: classification périodique des éléments reliant la masse et les propriétés chimiques. Postule l'existence d'éléments manquants encore à découvrir. Triomphe après la découverte de certains de ces éléments manquants.

Henry Moseley (1887-1915): Découverte du numéro atomique (charge du noyau) à partir de l'émission des rayons X des éléments

propriétés chimiques: lignes colonnes: masse atomique
Tableau inversé par rapport au tableau d'aujourd'hui



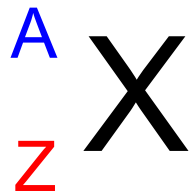
I	II	III	IV	V	VI
			Ti = 50	Zr = 90	? = 180
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186
			Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4
			Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198
			Ni = Co = 59	Pd = 106,6	Os = 199
H = 1	? = 8	? = 22	Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sb = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sn = 122	Bi = 210
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128 ?	
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207
		? = 45	Ce = 92		
		? Er = 56	La = 94		
		? Yt = 60	Di = 95		
		? In = 75,6	Th = 118 ?		

Définitions

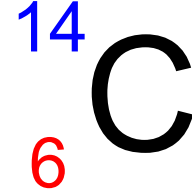
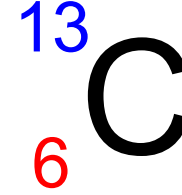
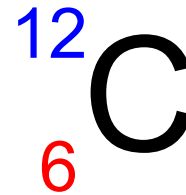
numéro atomique Z = nombre de **protons** du noyau
= nombre d'**électrons** (pour un atome neutre)

nombre de masse A = nombre de **nucléons** (protons + neutrons)

La masse atomique réelle doit tenir compte de la présence d'isotopes et du défaut de masse due à l'énergie de liaison du noyau.



A nombre de masse
 Z numéro atomique



$A - Z$ = nombre de neutrons: 6 7 8

Définitions

Isotope: atomes ayant le même nombre de protons (numéro atomique identique) mais pas le même nombre de neutrons (masse atomique différente).

Nombre de neutrons = $A - Z$

A: nombre de masse de l'isotope

Z: numéro atomique

Isotope	Proportion en pourcentage	Proportion en fraction décimale
Carbone 12	98.892 %	0.988 92
Carbone 13	1.108 %	0.011 08
<i>Carbone 14</i> <i>instable(radioactif)</i>	<i>0,000 000 000 1</i> <i>%</i>	

Les isotopes d'un élément se distinguent seulement par leur nombre de neutrons dans le noyau. Exemple: ${}_{92}^{235}\text{U}$; ${}_{92}^{238}\text{U}$

Quelques points sur le tableau périodique

- Classification des éléments selon l'ordre croissant du numéro atomique Z .
- 92 premiers éléments: naturels. Pas d'autre possibilité, pas de case vide.
- Les autres éléments (93- 118) ont été préparés artificiellement.
- Les **colonnes** sont désignées par un numéro de 1 à 18 ou par des symboles (IA, IIA, IIB...).
- Les éléments d'une même colonne constituent un **groupe** et certains portent un nom particulier (métaux alcalins, gaz rares, halogènes, alcalino-terreux...).
- Les **lignes** sont appelées **périodes**. Elles sont numérotées de 1 à 7.
- Quatre **blocs** d'éléments (s, p, d, f) en fonction de la nature du niveau en cours de remplissage.

Les membres d'une même colonne ont tous le même nombre d'électrons de valence. Ils ont des propriétés semblables.

électrons de valence: les électrons sur la dernière couche électronique de l'atome

Tableau périodique des éléments

Ia		IIa		CLASSIFICATION PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS														IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	0																						
1 H		2 He		<p>électronégativité</p> <p>nombre atomique</p> <p>électrons par orbitale</p> <p>symbole</p> <p>nom</p> <p>masse atomique relative</p> <p>élément métallique</p> <p>élément non-métallique</p> <p>élément à prédominance métallique</p> <p>élément à prédominance non-métallique</p> <p>gaz rare</p>														3 Na		4 Mg		5 B		6 C		7 N		8 O		9 F		10 Ne		11 Al		12 Si		13 P		14 S		15 Cl		16 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		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													

Métaux et non-métaux

Période	IA											III B					IV B	VB	VIB	VII B	VIII B
	H	II A												B	C	N	O	F	He		
2	Li	Be																			
3	Na	Mg	III A	IV A	VA	VIA	VII A	VIII A			IB	IIB	Al	Si	P	S	Cl	Ar			
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr			
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe			
6	Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn			
7	Fr	Ra	Ac†	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	**	**	**		**		**					

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

** Le nom n'a pas encore été attribué.

Dans le formulaire pour l'examen

Tableau périodique des éléments

I A

1 H Hydrogène 1.008
3 Li Lithium 6.941
11 Na Sodium 22.99
19 K Potassium 39.10
37 Rb Rubidium 85.47
55 Cs Césium 132.9
87 Fr Francium (223)

II A

4 Be Béryllium 9.012
12 Mg Magnésium 24.31
20 Ca Calcium 40.08
38 Sr Strontium 87.62
56 Ba Baryum 137.3
88 Ra Radium 226.0

III B

21 Sc Scandium 44.96
39 Y Yttrium 88.91
57 La Lanthane 138.9
89 Ac Actinium 227.0

III A

5 B Bore 10.81
13 Al Aluminium 26.98
31 Ga Gallium 69.72
49 In Indium 114.8
81 Tl Thallium 204.4
113 Uut Ununtrium

IV A

6 C Carbone 12.01
14 Si Silicium 28.09
32 Ge Germanium 72.59
50 Sn Étain 118.7
82 Pb Plomb 207.2
114 Uuq Ununquadium

V A

7 N Azote 14.01
15 P Phosphore 30.97
33 As Arsenic 74.92
51 Sb Antimoine 121.8
83 Bi Bismuth 209.0
115 Uup Ununpentium

VI A

8 O Oxygène 16.00
16 S Sulfure 32.06
34 Se Sélénium 78.96
52 Te Tellure 127.6
84 Po Polonium (209)
116 Uuh Ununhexium

VII A

9 F Fluor 19.00
17 Cl Chlore 35.45
35 Br Brome 79.90
53 I Iode 126.9
85 At Astate (210)
117 Uus Ununseptium

VIII A

2 He Hélium 4.003
10 Ne Néon 20.18
18 Ar Argon 39.95
36 Kr Krypton 83.80
54 Xe Xénon 131.3
86 Rn Radon (222)
118 Uuo Ununoctium

IV B

22 Ti Titane 47.90
40 Zr Zirconium 91.22
72 Hf Hafnium 178.5
104 Rf Rutherfordium (261)

V B

23 V Vanadium 50.94
41 Nb Niobium 92.91
73 Ta Tantale 180.9
105 Db Dubnium (262)

VI B

24 Cr Chrome 52.00
42 Mo Molybdène 95.94
74 W Tungstène 183.8
106 Sg Seaborgium (263)

VII B

25 Mn Manganèse 54.94
43 Tc Technétium 98.91
75 Re Rhénium 186.2
107 Bh Bohrium (262)

VIII B

26 Fe Fer 55.85
44 Ru Ruthénium 101.1
76 Os Osmium 190.2
108 Hs Hassium (265)

I B

27 Co Cobalt 58.93
45 Rh Rhodium 102.9
77 Ir Iridium 192.2
109 Mt Meitnerium (266)

II B

28 Ni Nickel 58.71
46 Pd Palladium 106.4
78 Pt Platine 195.1
110 Uun Ununium (269)

58 Ce Cérium 140.1

59 Pr Praséodyme 140.9

60 Nd Néodyme 144.2

61 Pm Prométhium (147)

62 Sm Samarium 150.4

63 Eu Europium 152.0

64 Gd Gadolinium 157.3

65 Tb Terbium 158.9

66 Dy Dysprosium 162.5

67 Ho Holmium 164.9

68 Er Erbium 167.3

69 Tm Thulium 168.9

70 Yb Ytterbium 173.0

71 Lu Lutétium 175.0

90 Th Thorium 232.0

91 Pa Protactinium 231.0

92 U Uranium 238.0

93 Np Neptunium 237.0

94 Pu Plutonium 239.1

95 Am Américium 243.1

96 Cm Curium (247)

97 Bk Berkélium (247)

98 Cf Californium (251)

99 Es Einsteinium (254)

100 Fm Fermium (257)

101 Md Mendélévium (258)

102 No Nobelium (259)

103 Lr Lawrencium (260)

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

278

279

280

281

282

283

284

285

286

287

288

289

290

291

292

293

294

295

296

297

298

299

300

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

278

279

280

281

282

283

284

285

286

287

288

289

290

291

292

293

294

295

296

297

298

299

300

Numéro atomique — **Nom** — **État à 25°C** — **Symbole** — **Masse atomique (u)** — **Masse molaire (g/mol)** — **Etats d'oxydation** — **Electronégativité** — **Point de fusion (en °C)** — **Point d'ébullition (en °C)** — **Masse volumique**

(a) La couleur représente l'état à 25°C
Noir: solide - Bleu: liquide - Rouge: gaz
En évidé: les éléments artificiels

(b) Les plus courants sont en gras

(c) en g/cm³ pour les solides et les liquides (à 20°C)
en g/l pour les gaz (à 0°C et 1 atm).
Ces derniers sont marqués d'une *

1 A **II A** **III B** **IV B** **V B** **VI B** **VII B** **VIII B** **I B** **II B**

I A **II A** **III A** **IV A** **V A** **VI A** **VII A** **VIII A**

Métaux **Métalloïdes** **Non-métaux** **Gaz rares**

Les valeurs sont tirées de: David R. Lide, CRC Handbook of Chemistry and Physics. 90 ed, 2009

Et encore plus récent...2017

PERIODIC TABLE OF ELEMENTS

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

1 H Hydrogen 1.008	Atomic # Symbol Name Weight																2 He Helium 4.0026
3 Li Lithium 6.94	4 Be Beryllium 9.0122	Metals Alkali metals Alkaline earth metals Lanthanoids (Lanthanides) Actinoids (Actinides) Transition metals Post-transition metals Metalloids Other nonmetals Noble gases										5 B Boron 10.81	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998	10 Ne Neon 20.180
11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305	Prictogens Chalcogens Halogens										13 Al Aluminium 26.982	14 Si Silicon 28.085	15 P Phosphorus 30.974	16 S Sulfur 32.06	17 Cl Chlorine 35.45	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.956	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.942	24 Cr Chromium 51.996	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.693	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.630	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 78.971	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.798
37 Rb Rubidium 85.468	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.95	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.91	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.87	48 Cd Cadmium 112.41	49 In Indium 114.82	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.76	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.90	54 Xe Xenon 131.29
55 Cs Caesium 132.91	56 Ba Barium 137.33	57-71	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.95	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.21	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.97	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.38	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89-103	104 Rf Rutherfordium (267)	105 Db Dubnium (268)	106 Sg Seaborgium (269)	107 Bh Bohrium (270)	108 Hs Hassium (277)	109 Mt Meitnerium (278)	110 Ds Darmstadtium (281)	111 Rg Roentgenium (282)	112 Cn Copernicium (285)	113 Nh Nihonium (286)	114 Fl Flerovium (289)	115 Mc Moscovium (290)	116 Lv Livermorium (293)	117 Ts Tennessine (294)	118 Og Oganesson (294)

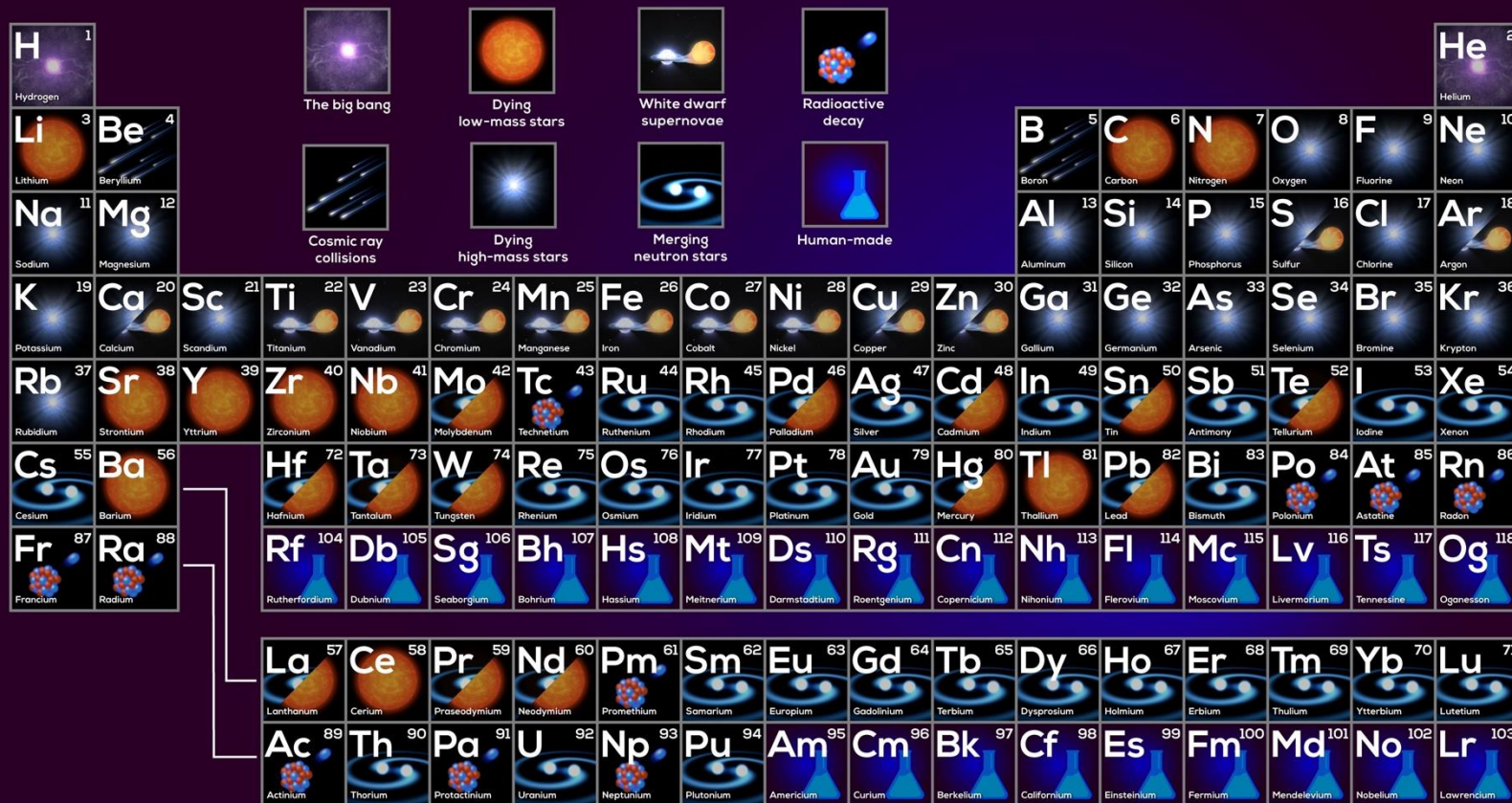
For elements with no stable isotopes, the mass number of the isotope with the longest half-life is in parentheses.

57 La Lanthanum 138.91	58 Ce Cerium 140.12	59 Pr Praseodymium 140.91	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.96	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.93	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93	70 Yb Ytterbium 173.05	71 Lu Lutetium 174.97
89 Ac Actinium (227)	90 Th Thorium 232.04	91 Pa Protactinium 231.04	92 U Uranium 238.03	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (258)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (266)



Et l'origine cosmique?

ORIGINS OF THE ELEMENTS



This periodic table depicts the primary source on Earth for each element. In cases where two sources contribute fairly equally, both appear.

Métaux et non-métaux

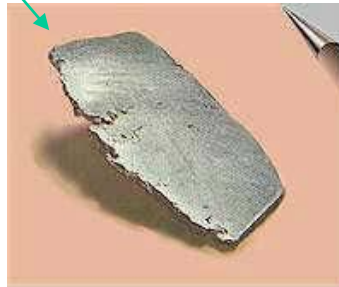
Les **MÉTAUX**: conduisent l'électricité, sont malléables
groupe des **métaux alcalins** (Ia) →
groupe des **métaux alcalino-terreux** (IIa)
groupe des **métaux de transition d**



Sodium



Cuivre



Scandium

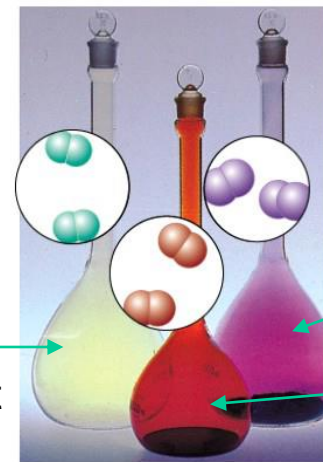


Magnésium

Les **NON-MÉTAUX**:

groupe du **carbone**
groupe de **l'azote**
groupe de **l'oxygène**

groupe des **halogènes** : gaz jaune-vert



Fluor

Iode
solide bleu-noir

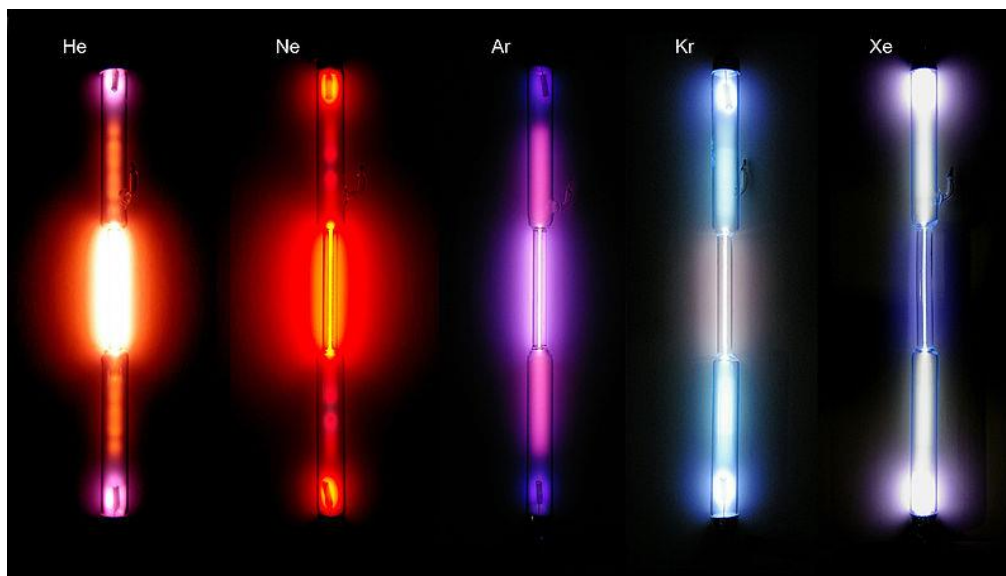
Brome
liquide rouge-brun

Gas nobles, semi-métaux

Les **GAZ NOBLES** (gaz rares):

configuration électronique $ns^2 np^6$ (couche complète contenant 8 électrons)

Hélium (He), Néon (Ne), Argon (Ar), Krypton (Kr), Xénon (Xe), Radon (Ra)



Les **SEMI-MÉTAUX** (metalloïdes) sont les éléments de chaque côté de la ligne noire en escalier (voir p.19).

Ils possèdent certaines propriétés des métaux et des non-métaux.

Les éléments suivants sont considérés comme metalloïdes: B, Si, Ge, As, Sb, Bi, Te, At.

Résumé

- Les atomes sont constitués de protons, neutrons et électrons. Le noyau se compose de protons et de neutrons et il constitue la quasi-totalité de la masse de l'atome.
- Selon la mécanique quantique (que vous verrez en détail dans des cours de physique plus tard), l'état d'un électron dans un atome est défini par un set de 4 nombres quantiques (n, l, m_l, m_s).
- Le tableau périodique des éléments peut s'expliquer via les niveaux d'énergie des orbitales atomiques. Dans le cas des groupes principaux, le numéro de chaque groupe correspond au nombre d'électrons de valence des éléments qu'il contient (électrons situés au niveau d'énergie le plus élevé).
- Certaines propriétés atomiques reviennent périodiquement lorsqu'on examine les éléments par ordre croissant de numéro atomique

A retenir du cours d'aujourd'hui

- *Savoir calculer les niveaux d'énergies*
- *Savoir retrouver les remplissages des orbitales électroniques à partir du nombre Z d'un élément ou de sa place dans le tableau périodique. Savoir ce que sont les nombres quantiques et apprendre à les manipuler.*
- *Savoir lire le tableau périodique et y retrouver les éléments.*

Pour la prochaine fois

- *Si ces concepts ne constituent pas un rappel des cours de chimie pour vous, lisez le chapitre 1 et 4 du livre de Hill, Chimie générale.*