

# **Partie I: Les atomes / Le tableau périodique**

**V. Michaud (MX)**

**Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne**



# 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).

$$E = h \nu \quad h \text{ est de Planck}$$

(J)       $\nu \rightarrow H_3$

Dans le vide:

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

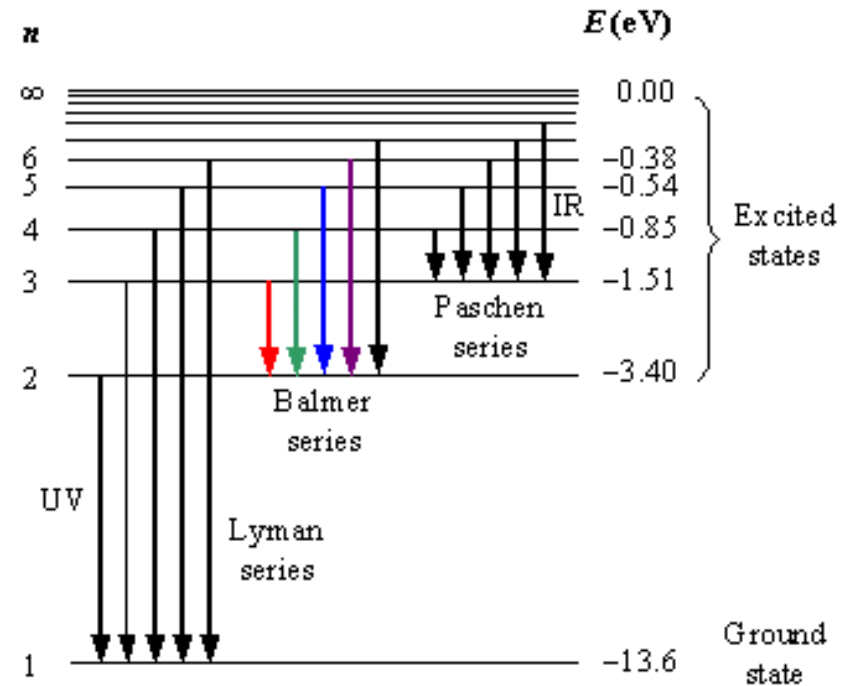
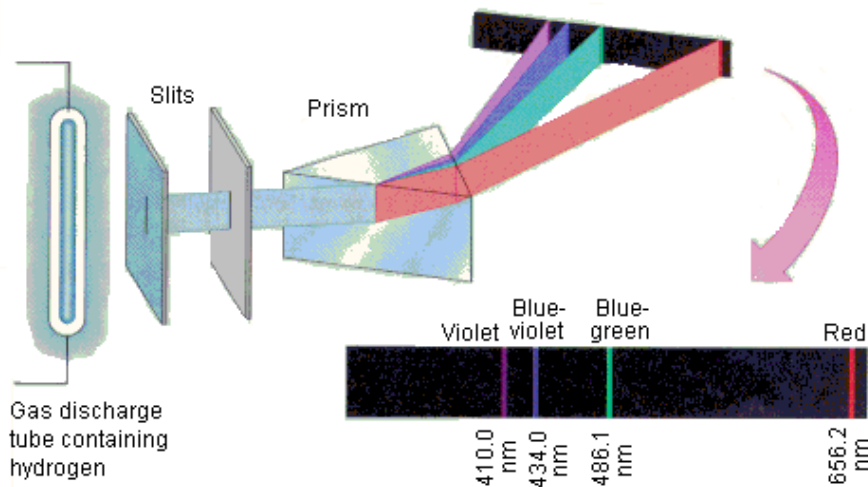
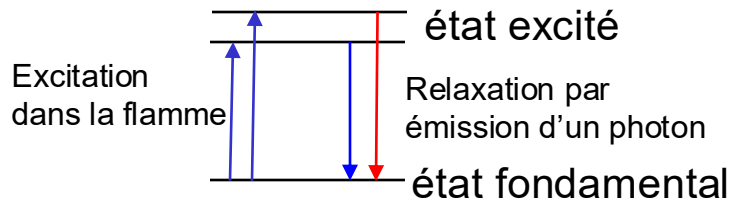
$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

vitesse  $c$ , longueur d'onde  $\lambda$ ,  
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

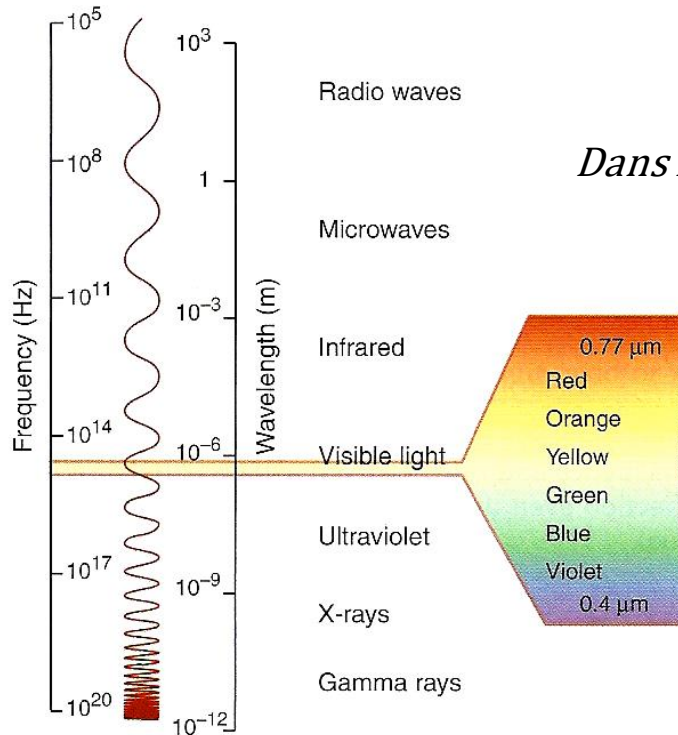
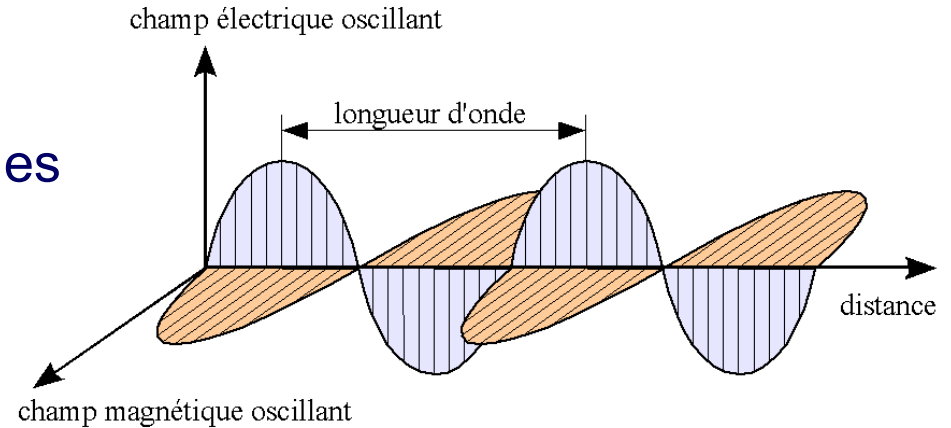
$$E_n = \frac{-13.6 \text{ eV}}{n^2}$$

$$1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Coulombs} \times 1 \text{ V} \\ = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Joules}$$

# 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  $\lambda$

perméabilité du vide  $\mu_0$

permittivité du vide  $\epsilon_0$

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

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

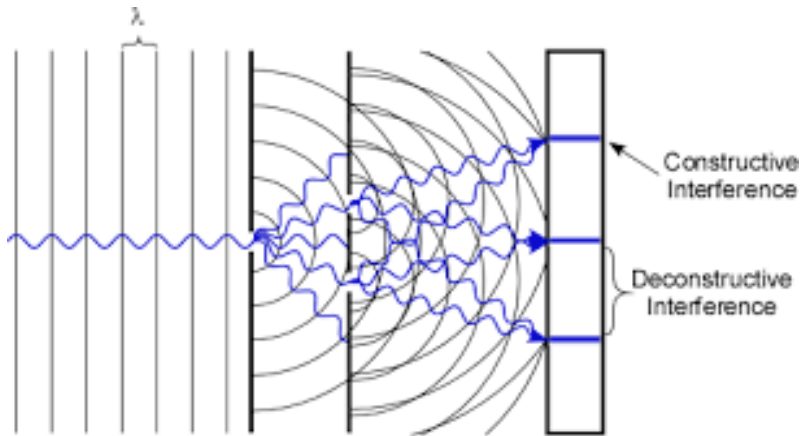
Emission d'ondes Infra-rouges



# Dualité onde-particule

## ONDE

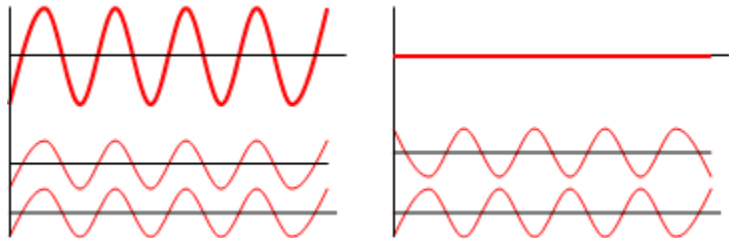
Observation de la diffraction



Interférence

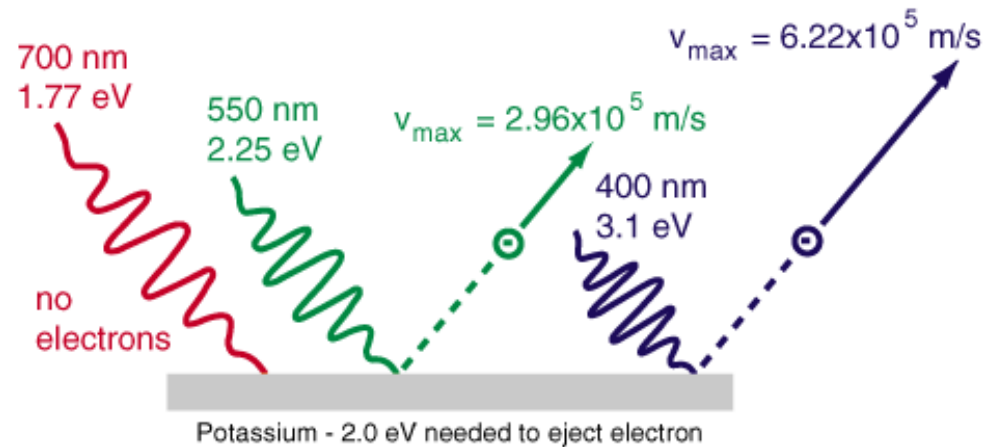
constructive

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  $\lambda$  :

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

electron: 
$$\lambda = \frac{6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}}{9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \times 2.7 \cdot 10^6 \text{ m/s}} = 2.65 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$
$$= 2.65 \text{ \AA}$$

si  $v \approx 2.7 \cdot 10^6 \text{ m/s}$

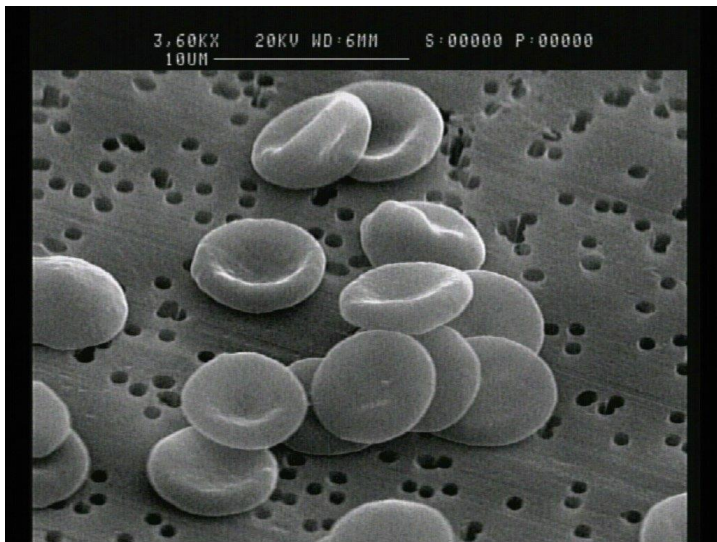
Rayon atome  $\sim \text{\AA}$

# 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  $\lambda$  :

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



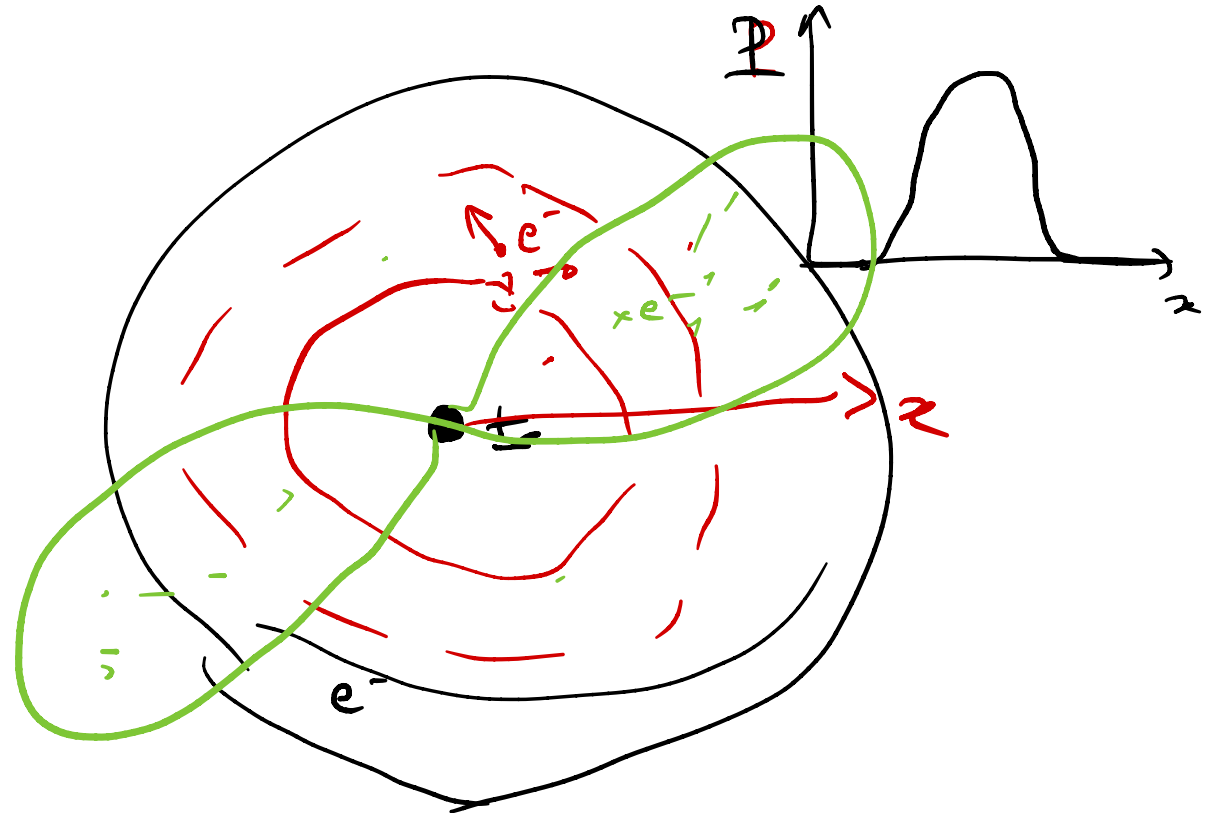
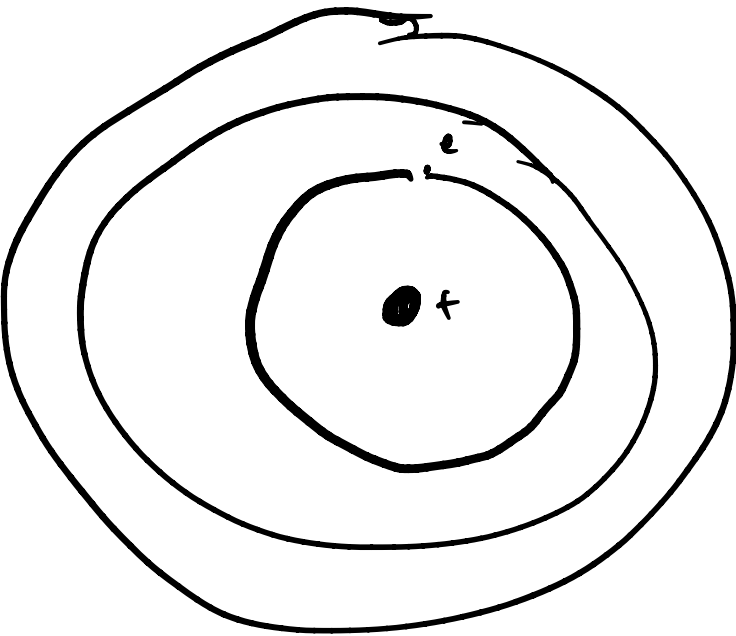
L'hypothèse fut vérifiée quelques années plus tard, et a permis de développer le microscope électronique (faisceaux d'électrons au lieu de faisceaux de lumière à travers des lentilles, donc petite longueur d'onde et meilleure résolution)

# 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): *pour info*

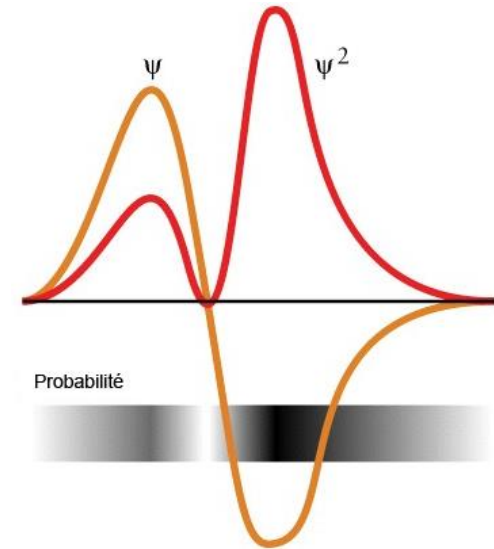
énergie cinétique + énergie potentielle = énergie totale

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi}{dx^2} + V(x)\psi = E\psi$$

*H*  $\psi = E \psi$

(H: hamiltonien;  $\psi$  = fonction d'onde)

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



Interprétation de  $\psi$ :

$\Psi^2(x)$  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.

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

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

$\Delta x$ : incertitude sur la position

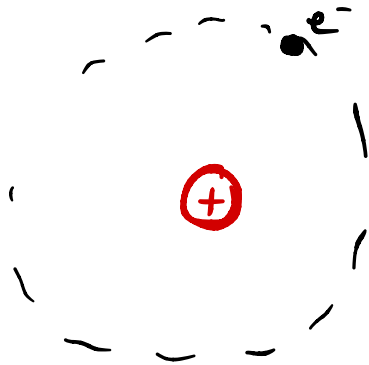
$\Delta p = m\Delta v$  : incertitude sur la quantité de mouvement donc sur la vitesse



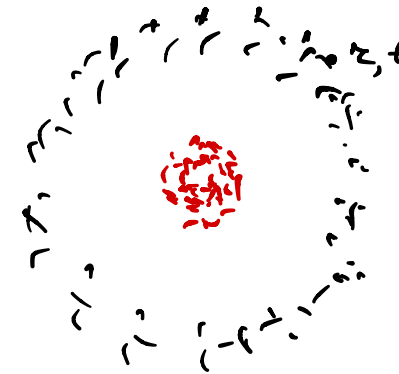
# Modèle actuel de structure de l'atome

---

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



Hydrogène



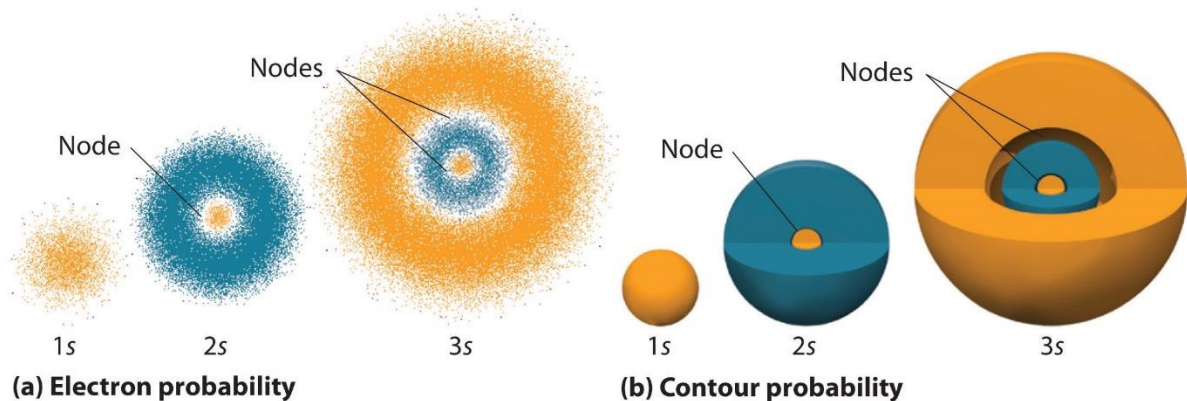
Vision classique de Bohr

Vision quantique

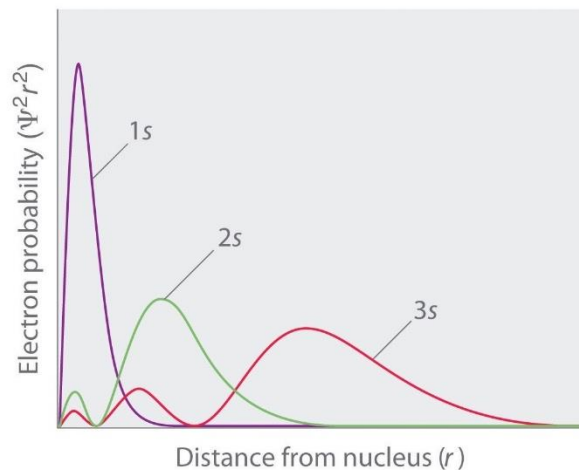
L'électron est représenté par une fonction  $\psi(\mathbf{r},t)$  telle que  $|\psi|^2 dV$  représente la probabilité de le trouver dans un élément de volume  $dV$

# Solution de l'équation de Schrodinger: orbitales

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



Une orbitale est une expression mathématique.



(c) Radial probability

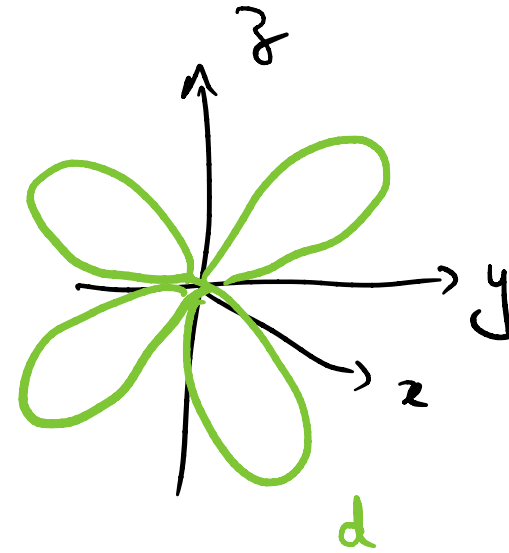
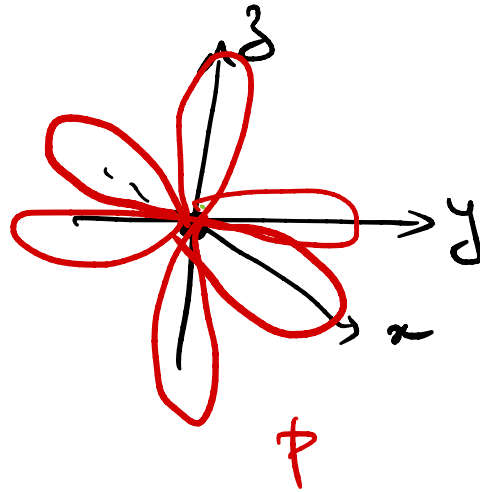
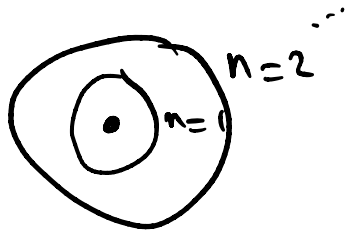
La fonction de distribution radiale donne la densité de probabilité de présence de l'électron pour un rayon donné sommée dans toutes les directions.

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?

$n$  : nombre quantique principal



# 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:  $n \geq 1$  entier  $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, \dots$   
 $n$  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):

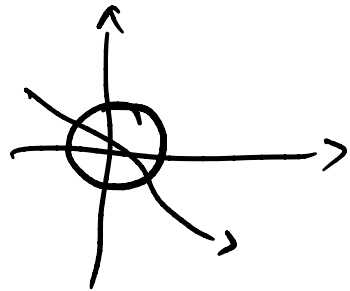
$$0 \leq l \leq n - 1$$

$l$  détermine la forme de l'orbitale

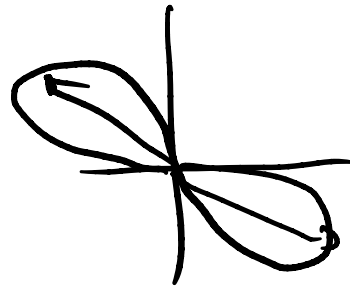
$l = 0$

$l = 1$

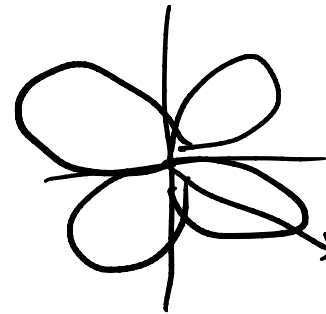
$l = 2$



orbitale s



p



d

$$\text{si } n = 1 \quad l = 0$$

$$\text{si } n = 2 \quad \begin{array}{l} l = 0 \\ l = 1 \end{array}$$

$$\text{si } n = 3 \quad \begin{array}{l} l = 0 \\ l = 1 \\ l = 2 \end{array}$$

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

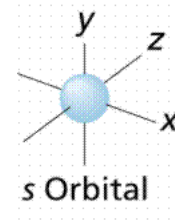
s : sharp  
p : principal  
d : diffuse  
f : fundamental

# Les nombres quantiques et orbitales

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

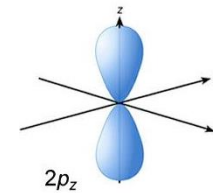
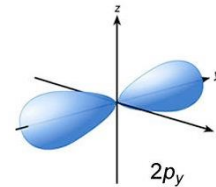
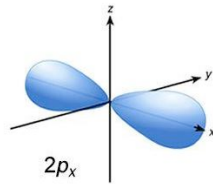
$m_\ell$  représente l'orientation de l'orbitale ( $2 \times \ell + 1$  orientations possibles pour un nombre quantique  $\ell$  donné)

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



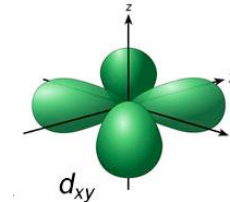
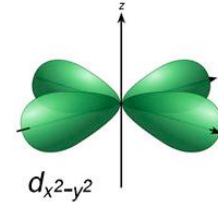
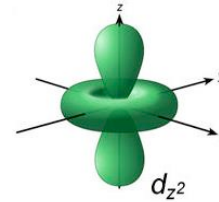
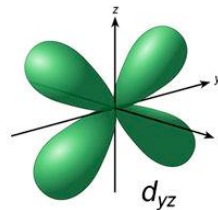
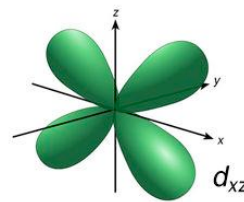
$\ell = 1$

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



$\ell = 2$

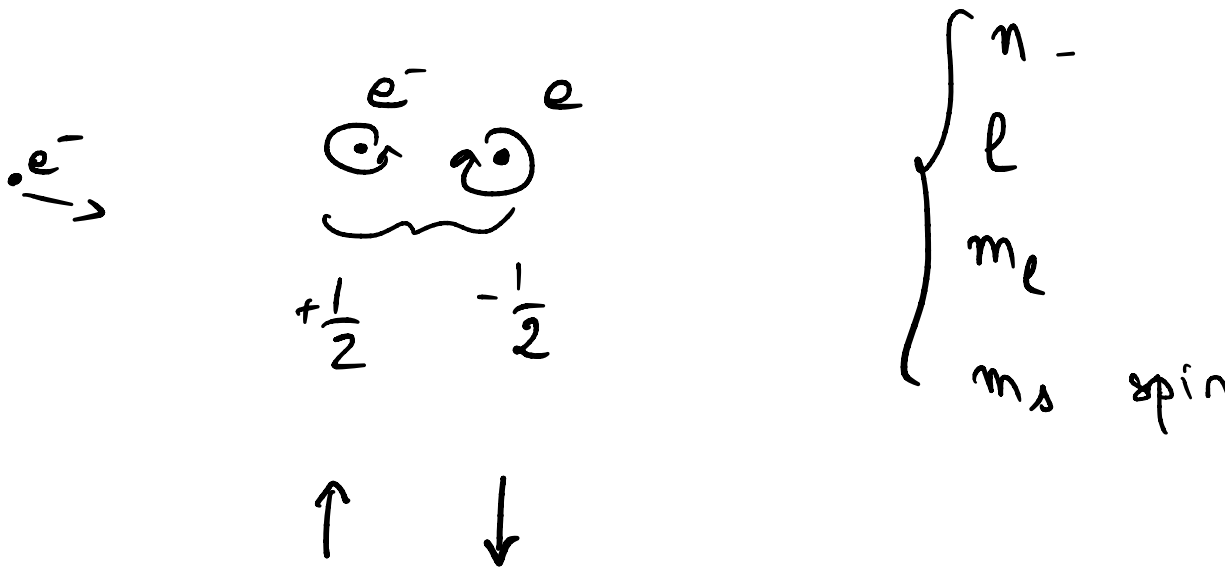
$m_\ell = -2, -1, 0, 1, 2$



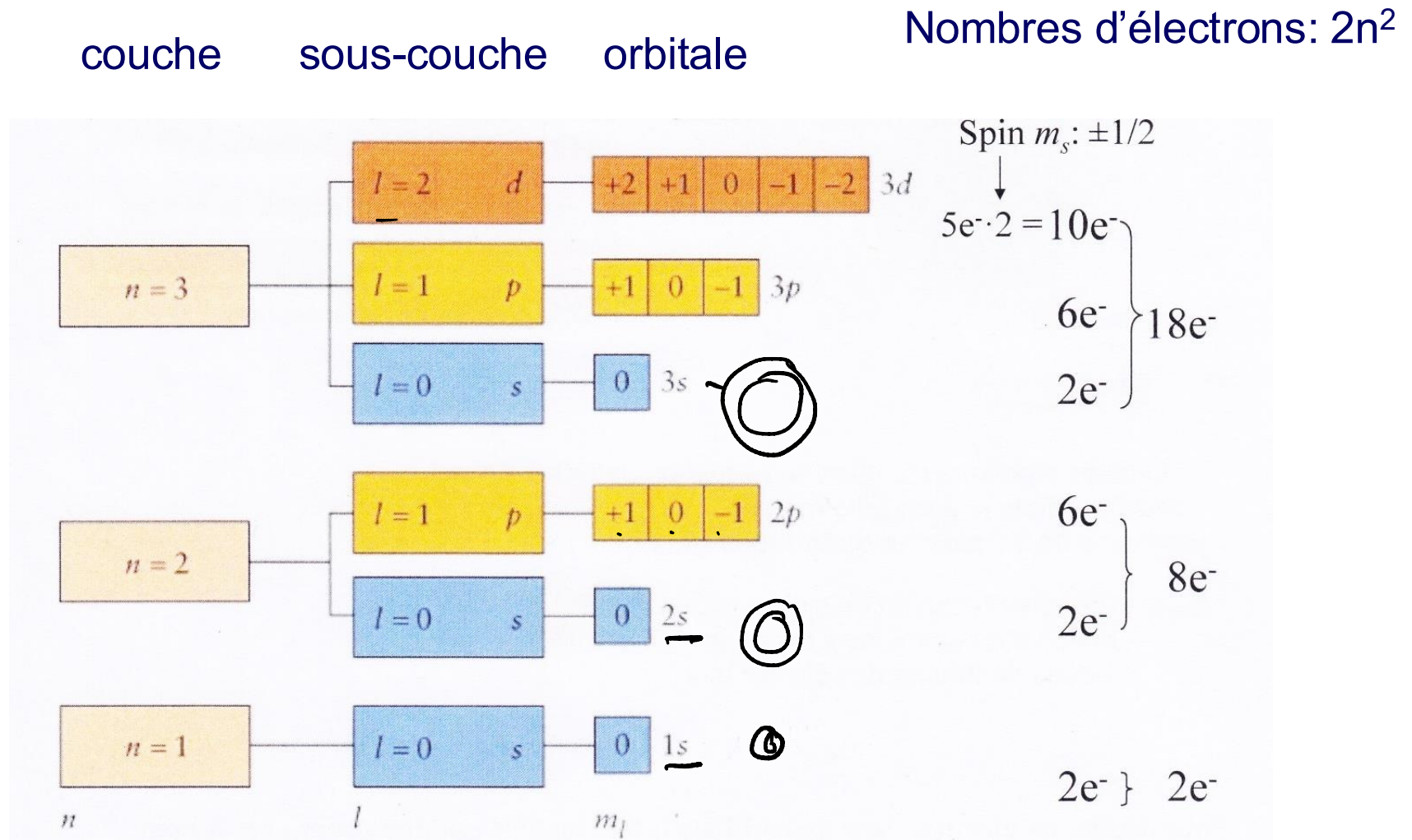
# Les nombres quantiques et orbitales

Pour définir un électron dans une orbitale, on a besoin d'un 4<sup>eme</sup> nombre quantique:

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



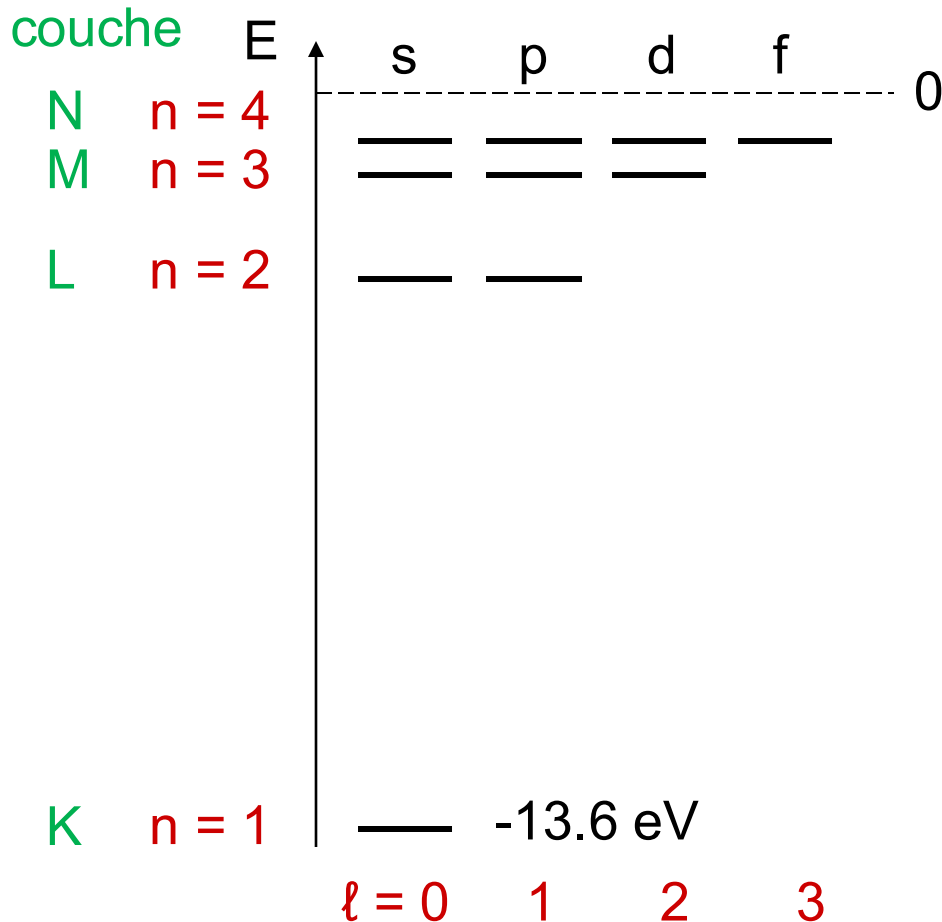
# Remplissage des orbitales



# 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**.

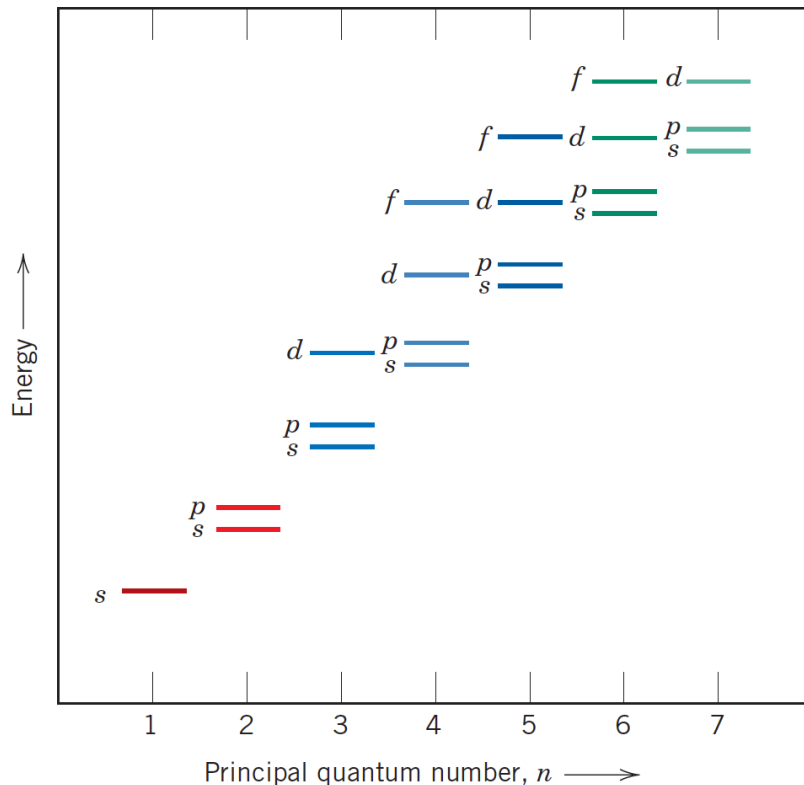


Nombre d'états  
au niveau  $n$ :

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

# Structure des atomes à plusieurs électrons

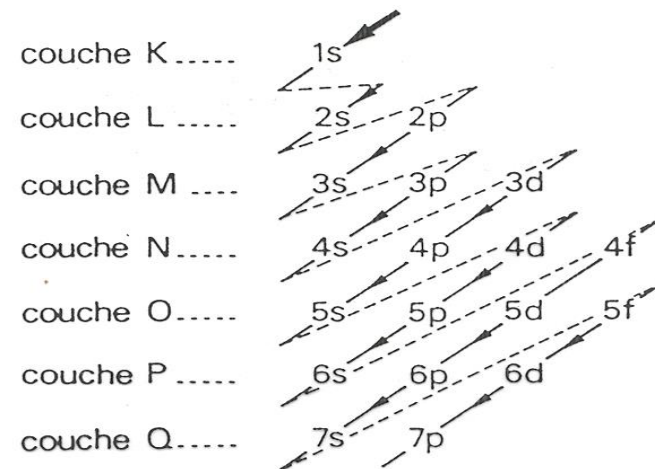
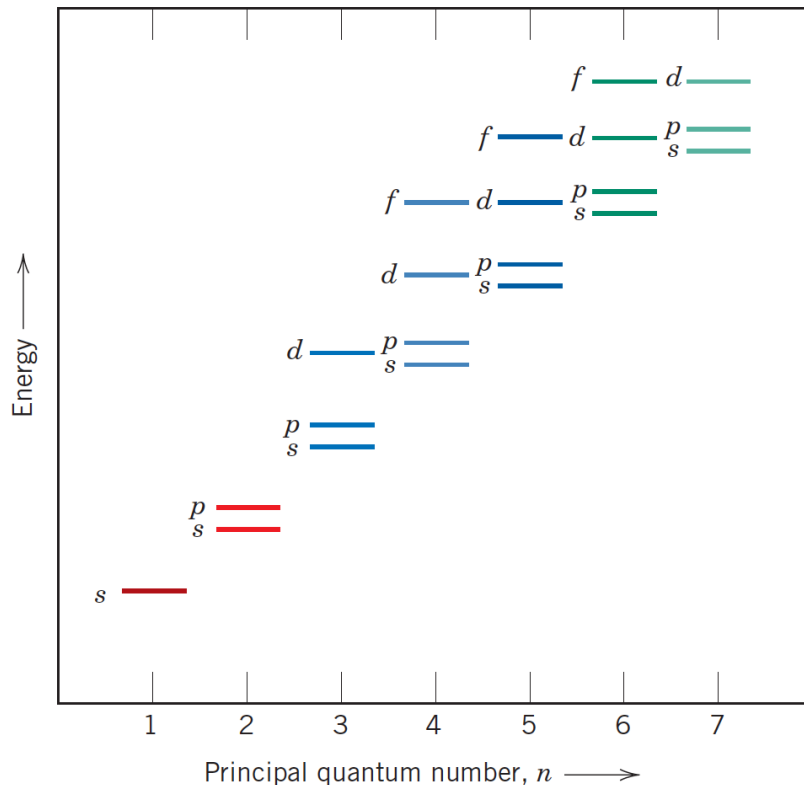
En considérant maintenant les atomes avec un nombre atomique  $Z > 1$ , les niveaux énergétiques des différentes orbitales ne sont plus dégénérés et leur ordre est également perturbé.



# 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

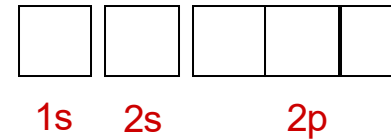
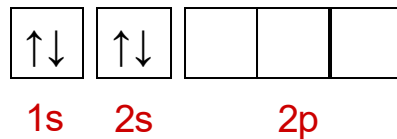
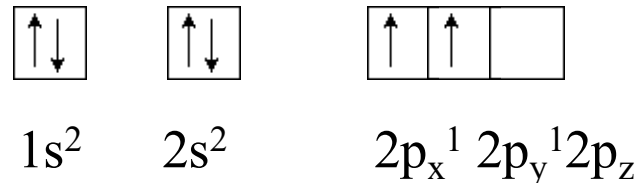


# Principe de construction: 2 principes

## 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  $(n, \ell, m_\ell, m_s)$  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)



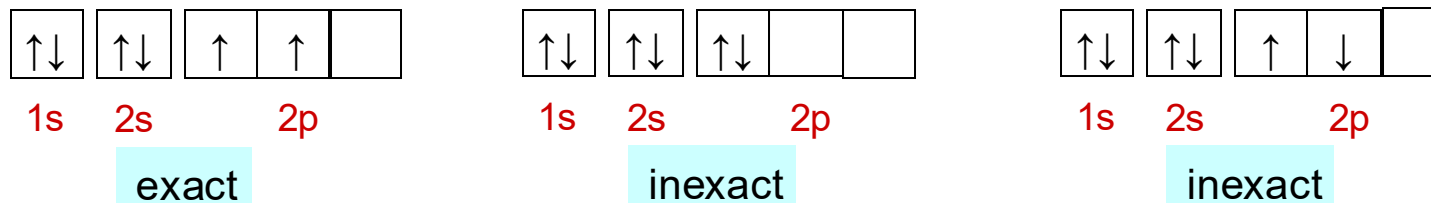
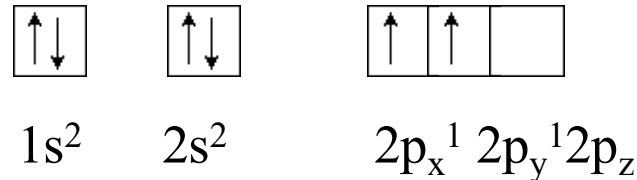
$\uparrow\downarrow$  électrons appariés     $\uparrow$  électron célibataire

# Principe de construction: 2 principes

## Règle de Hund

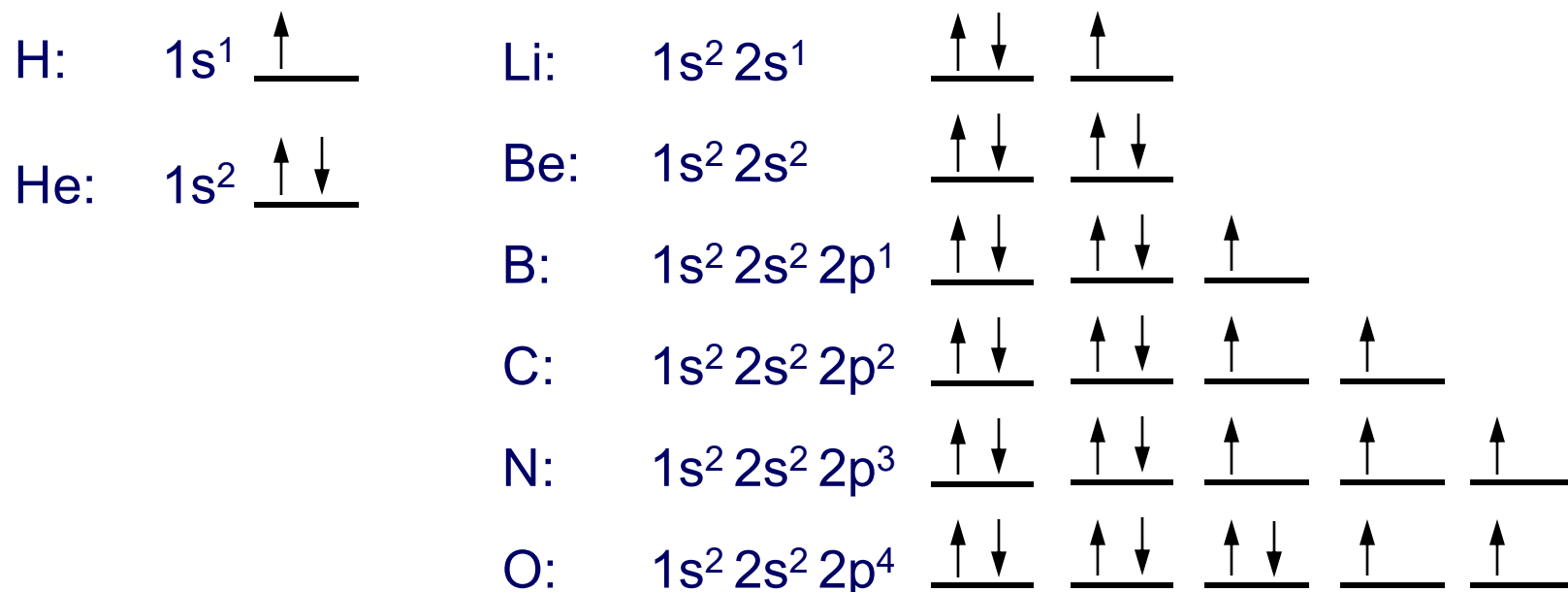
L'arrangement le plus stable est celui correspondant au maximum d'électrons de spins parallèles (sur les orbitales  $(n, \ell)$ , on fixe d'abord  $m_s$  avant de varier  $m_\ell$ )

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

Éléments des groupes principaux

Bloc <i>s</i>												Bloc <i>p</i>							
IA													VIII B						
←1s→	IIA											III B	IV B	V B	VII B	VIII B	←1s→		
←2s→		Éléments de transition										←2p→							
		Bloc <i>d</i>																	
←3s→		IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA	IB	IIB										
←4s→		←3d→										←3p→							
←5s→		←4d→										←4p→							
←6s→		←5d→										←5p→							
←7s→		←6d→										←6p→							
Éléments de transition internes												←4f→							
Bloc <i>f</i>												←5f→							

Le tableau périodique est construit selon **le principe de l'Aufbau**, ajout d'un électron (et d'un proton) à l'atome dont le numéro atomique est immédiatement inférieur.

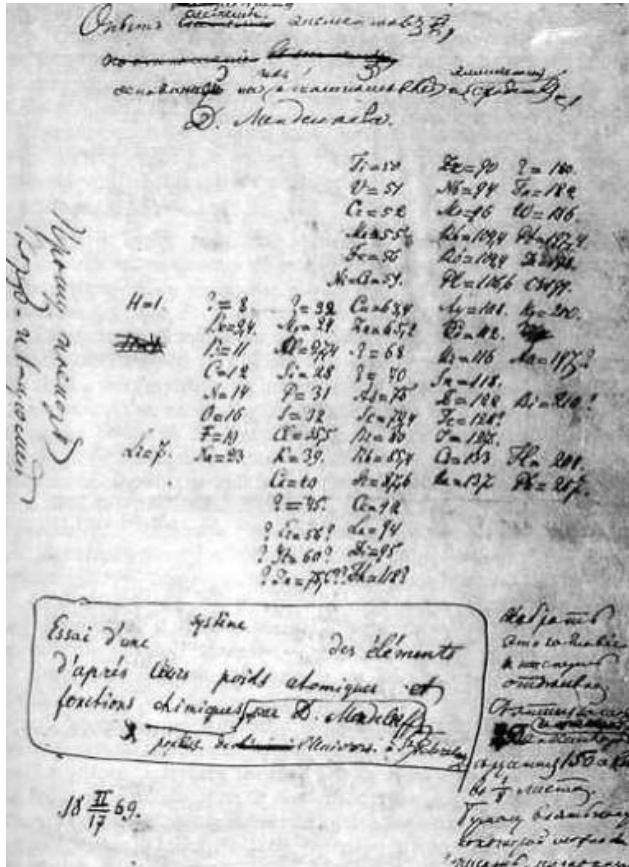
Le tableau périodique permet une lecture rapide de la configuration électronique d'un atome en se basant sur la configuration électronique du gaz rare précédent et sur la position de l'élément dans le tableau.

# 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



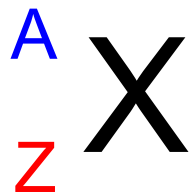
I	II	III	IV	V	VI
			Ti = 50	Zr = 90	? = 180
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186
			Mn = 55	Rh = 104.4	Pt = 197.4
			Fe = 56	Ru = 104.4	Ir = 198
			Ni = Co = 59	Pd = 106.6	Os = 199
H = 1	? = 8	? = 22	Cu = 63.4	Ag = 108	Hg = 200
	Be = 9.4	Mg = 24	Zn = 65.2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27.4	? = 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

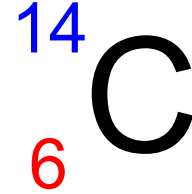
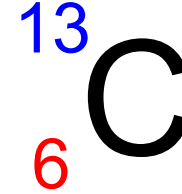
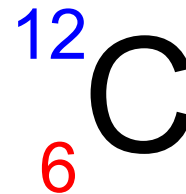
numéro atomique  $Z$  = nombre de **protons** du noyau  
= nombre d'**électrons** (pour un atome neutre)

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

**CLASSIFICATION PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS**

électronégativité

nombre atomique

électrons par orbitale

symbole

nom

masse atomique relative

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 H		2 He												2 He						2 K															
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		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											Métaux		Semi-métaux		Non-métaux		Gaz nobles		VIIIB
	H											B	C	N	O	F	He			
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne		
3	Na	Mg	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	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 <b>H</b> Hydrogène 1.008
3 <b>Li</b> Lithium 6.941
11 <b>Na</b> Sodium 22.99
19 <b>K</b> Potassium 39.10
37 <b>Rb</b> Rubidium 85.47
55 <b>Cs</b> Césium 132.9
87 <b>Fr</b> Francium (223)

**II A**

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

**III B**

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

**IV B**   **V B**   **VI B**   **VII B**   **VIII B**   **I B**   **II B**

22 <b>Ti</b> Titane 47.90	23 <b>V</b> Vanadium 50.94	24 <b>Cr</b> Chrome 52.00	25 <b>Mn</b> Manganèse 54.94	26 <b>Fe</b> Fer 55.85	27 <b>Co</b> Cobalt 58.93	28 <b>Ni</b> Nickel 58.71	29 <b>Cu</b> Cuivre 63.55	30 <b>Zn</b> Zinc 65.39	31 <b>Ga</b> Gallium 69.72	32 <b>Ge</b> Germanium 72.59	33 <b>As</b> Arsenic 74.92	34 <b>Se</b> Sélénium 78.96	35 <b>Br</b> Brome 79.90	36 <b>Kr</b> Krypton 83.80
40 <b>Zr</b> Zirconium 91.22	41 <b>Nb</b> Niobium 92.91	42 <b>Mo</b> Molybdène 95.94	43 <b>Tc</b> Technétium 98.91	44 <b>Ru</b> Ruthénium 101.1	45 <b>Rh</b> Rhodium 102.9	46 <b>Pd</b> Palladium 106.4	47 <b>Ag</b> Argent 107.9	48 <b>Cd</b> Cadmium 112.4	49 <b>In</b> Indium 114.8	50 <b>Sn</b> Étain 118.7	51 <b>Sb</b> Antimoine 121.8	52 <b>Te</b> Tellure 127.6	53 <b>I</b> Iode 126.9	54 <b>Xe</b> Xénon 131.3
72 <b>Hf</b> Hafnium 178.5	73 <b>Ta</b> Tantale 180.9	74 <b>W</b> Tungstène 183.8	75 <b>Re</b> Rhénium 186.2	76 <b>Os</b> Osmium 190.2	77 <b>Ir</b> Iridium 192.2	78 <b>Pt</b> Platine 195.1	79 <b>Au</b> Or 197.0	80 <b>Hg</b> Mercure 200.6	81 <b>Tl</b> Thallium 204.4	82 <b>Pb</b> Plomb 207.2	83 <b>Bi</b> Bismuth 209.0	84 <b>Po</b> Polonium (209)	85 <b>At</b> Astate (210)	86 <b>Rn</b> Radon (222)
104 <b>Rf</b> Rutherfordium (261)	105 <b>Db</b> Dubnium (262)	106 <b>Sg</b> Seaborgium (263)	107 <b>Bh</b> Bohrium (262)	108 <b>Hs</b> Hassium (265)	109 <b>Mt</b> Meitnerium (266)	110 <b>Uun</b> Ununium (269)	111 <b>Uuu</b> Ununium (272)	112 <b>Uub</b> Ununium (277)	113 <b>Uut</b> Ununtrium -	114 <b>Uuq</b> Ununquadium -	115 <b>Uup</b> Ununpentium -	116 <b>Uuh</b> Ununhexium -	117 <b>Uus</b> Ununseptium -	118 <b>Uuo</b> Ununoctium -

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

5 <b>B</b> Bore 10.81	6 <b>C</b> Carbone 12.01	7 <b>N</b> Azote 14.01	8 <b>O</b> Oxygène 16.00	9 <b>F</b> Fluor 19.00	10 <b>Ne</b> Néon 20.18
13 <b>Al</b> Aluminium 26.98	14 <b>Si</b> Silicium 28.09	15 <b>P</b> Phosphore 30.97	16 <b>S</b> Sulfure 32.06	17 <b>Cl</b> Chlore 35.45	18 <b>Ar</b> Argon 39.95
31 <b>Ga</b> Gallium 69.72	32 <b>Ge</b> Germanium 72.59	33 <b>As</b> Arsenic 74.92	34 <b>Se</b> Sélénium 78.96	35 <b>Br</b> Brome 79.90	36 <b>Kr</b> Krypton 83.80
49 <b>In</b> Indium 114.8	50 <b>Sn</b> Étain 118.7	51 <b>Sb</b> Antimoine 121.8	52 <b>Te</b> Tellure 127.6	53 <b>I</b> Iode 126.9	54 <b>Xe</b> Xénon 131.3
81 <b>Tl</b> Thallium 204.4	82 <b>Pb</b> Plomb 207.2	83 <b>Bi</b> Bismuth 209.0	84 <b>Po</b> Polonium (209)	85 <b>At</b> Astate (210)	86 <b>Rn</b> Radon (222)

**Numéro atomique**   **Nom**   **Etats d'oxydation**   **Electronégativité**   **Masse volumique**

**Symbole**   **Masse atomique (u)**   **Masse molaire (g/mol)**   **Point de fusion (en °C)**   **Point d'ébullition (en °C)**

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

**Lb) Les plus courants sont en gras**  
**lc) 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 \*

26 <b>Fe</b> Fer 55.85 -2,3 7.86   1538   2871
---

58 <b>Ce</b> Cérium 140.1	59 <b>Pr</b> Praséodyme 140.9	60 <b>Nd</b> Néodyme 144.2	61 <b>Pm</b> Prométhium (147)	62 <b>Sm</b> Samarium 150.4	63 <b>Eu</b> Europium 152.0	64 <b>Gd</b> Gadolinium 157.3	65 <b>Tb</b> Terbium 158.9	66 <b>Dy</b> Dysprosium 162.5	67 <b>Ho</b> Holmium 164.9	68 <b>Er</b> Erbium 167.3	69 <b>Tm</b> Thulium 168.9	70 <b>Yb</b> Ytterbium 173.0	71 <b>Lu</b> Lutétium 175.0
90 <b>Th</b> Thorium 232.0	91 <b>Pa</b> Protactinium 231.0	92 <b>U</b> Uranium 238.0	93 <b>Np</b> Neptunium 237.0	94 <b>Pu</b> Plutonium 239.1	95 <b>Am</b> Américium 243.1	96 <b>Cm</b> Curium (247)	97 <b>Bk</b> Berkélium (247)	98 <b>Cf</b> Californium (251)	99 <b>Es</b> Einsteinium (254)	100 <b>Fm</b> Fermium (257)	101 <b>Md</b> Mendelevium (258)	102 <b>No</b> Nobelium (259)	103 <b>Lr</b> Lawrencium (260)

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

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



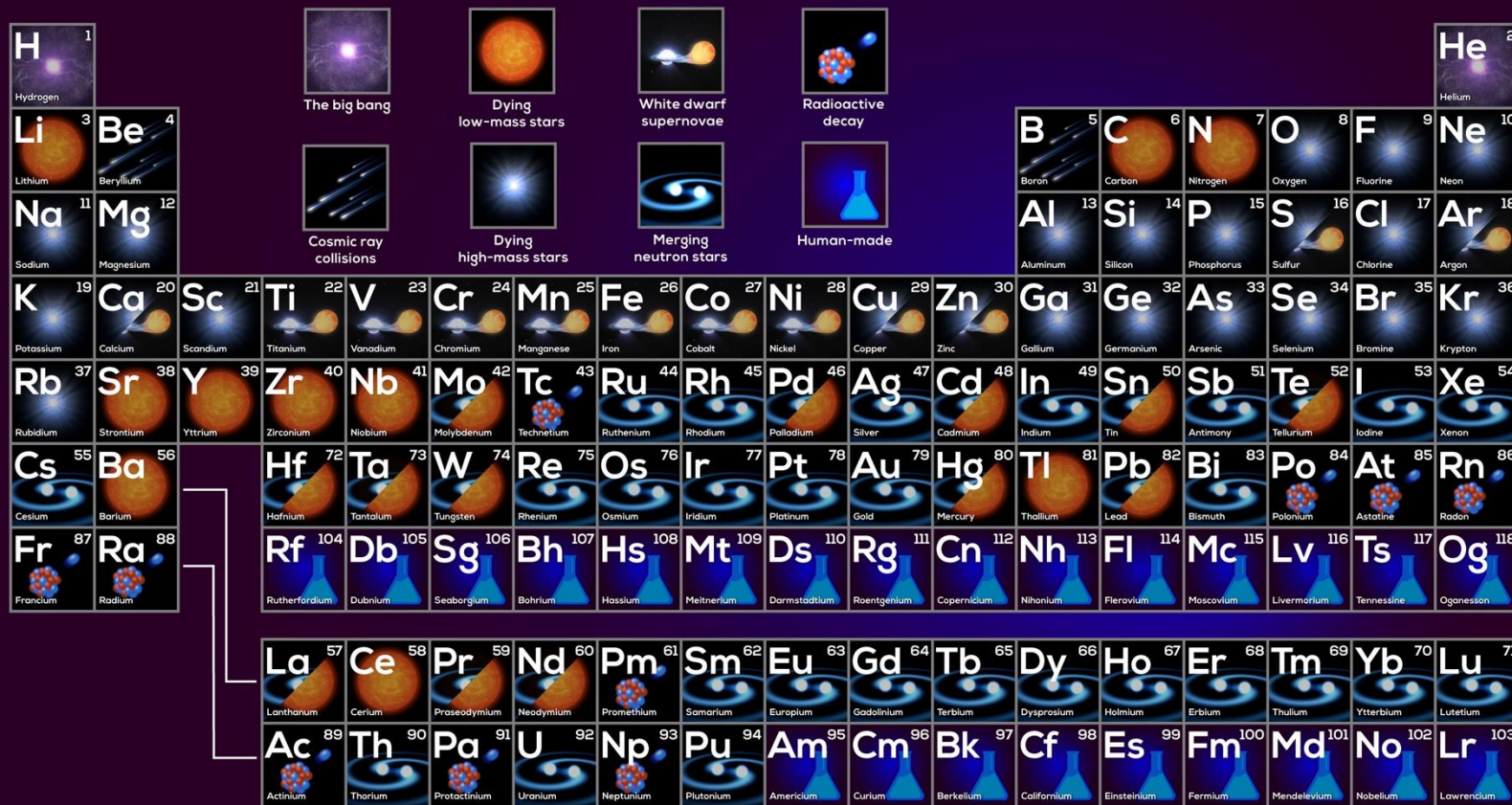
Ptable.com

57 <b>La</b> Lanthanum 138.91	58 <b>Ce</b> Cerium 140.12	59 <b>Pr</b> Praseodymium 140.91	60 <b>Nd</b> Neodymium 144.24	61 <b>Pm</b> Promethium (145)	62 <b>Sm</b> Samarium 150.36	63 <b>Eu</b> Europium 151.96	64 <b>Gd</b> Gadolinium 157.25	65 <b>Tb</b> Terbium 158.93	66 <b>Dy</b> Dysprosium 162.50	67 <b>Ho</b> Holmium 164.93	68 <b>Er</b> Erbium 167.26	69 <b>Tm</b> Thulium 168.93	70 <b>Yb</b> Ytterbium 173.05	71 <b>Lu</b> Lutetium 174.97
89 <b>Ac</b> Actinium (227)	90 <b>Th</b> Thorium 232.04	91 <b>Pa</b> Protactinium 231.04	92 <b>U</b> Uranium 238.03	93 <b>Np</b> Neptunium (237)	94 <b>Pu</b> Plutonium (244)	95 <b>Am</b> Americium (243)	96 <b>Cm</b> Curium (247)	97 <b>Bk</b> Berkelium (247)	98 <b>Cf</b> Californium (251)	99 <b>Es</b> Einsteinium (252)	100 <b>Fm</b> Fermium (257)	101 <b>Md</b> Mendelevium (258)	102 <b>No</b> Nobelium (259)	103 <b>Lr</b> Lawrencium (266)

Design Copyright © 2017 Michael Dayah (michael@dayah.com). For a fully interactive version with orbitals, isotopes, compounds, and free printouts, visit <http://www.ptable.com/>

# 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

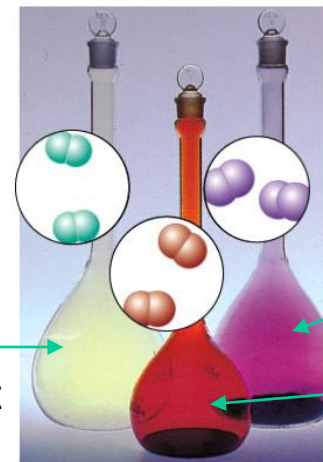


Magnésium

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

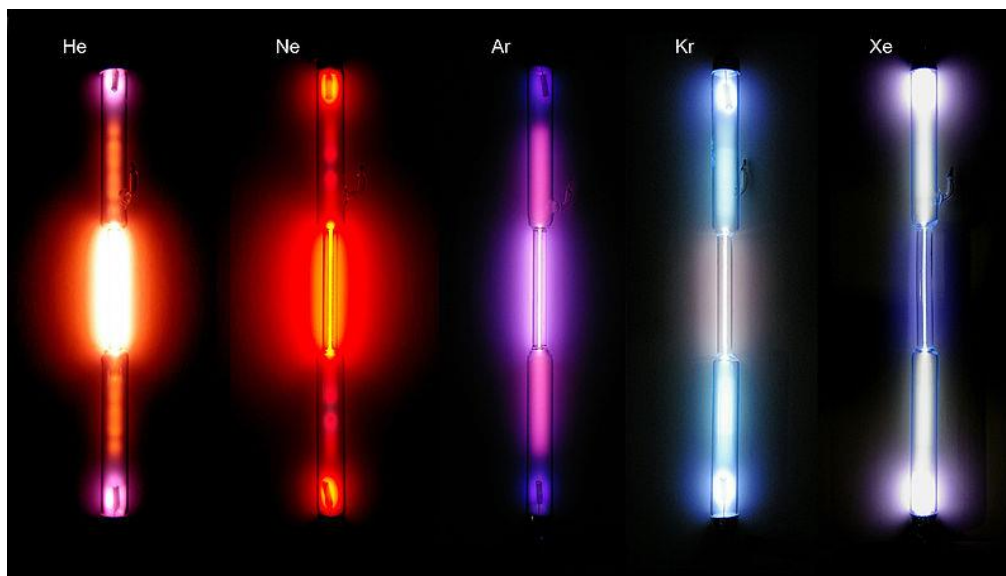
Brome  
liquide rouge-brun

# 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.*