

# Éléments d'histoire du tableau périodique

Colloque 150 ans du tableau périodique, 12 décembre 2019

**Thierry Masson**

Centre de Physique Théorique & Centre Gilles Gaston Granger



# Plan de l'exposé

- 1 Découvrir ce qu'il faut classer
- 2 Construire le tableau périodique
- 3 Expliquer et comprendre le tableau périodique

## Découvrir ce qu'il faut classer

- 1 **Découvrir ce qu'il faut classer**
- 2 Construire le tableau périodique
- 3 Expliquer et comprendre le tableau périodique

# La naissance de la chimie

- La chimie « hérite » de savoirs et de pratiques de l'alchimie...
  - ▶ Les principes de l'alchimie reposent sur la science d'**Aristote** (384 av. J.C. – 322 av. J.C.).
  - ▶ La matière est composée de quatre éléments : **Terre, Eau, Air, Feu**.
    - ➔ Classification simple des constituants ultimes de la matière !
- À partir de la Renaissance :
  - ▶ Besoins : militaires (alliages, poudre à canon); médecine (remèdes); teinturerie (colorants); mines; émaux, faïence et verres...
  - ▶ Techniques : distillation, combustion, calcination, réduction...
  - ▶ Concepts : corps simples et composés, acides, alcalis, sels...
- Publication de *Sceptical Chymist* en 1661 par **Robert Boyle** (1627 – 1691).
  - ▶ Naissance de la chimie moderne (pour les anglo-saxons).
  - ▶ Rejette le modèle d'Aristote (mais pas complètement l'alchimie...).
  - ▶ Propose une définition « assez moderne » des **éléments chimiques**. (Corpuscules en mouvement de différentes tailles et formes qui s'assemblent...)

# La chimie quantitative

**Antoine Lavoisier** (1743 – 1794) met en place une chimie quantitative et moderne.

- Usage systématique de la pesée, avant et après les réactions.

Permet des bilans (en masses) et permet d'énoncer une loi de conservation.

*« [...] rien ne se crée, ni dans les opérations de l'art, ni dans celles de la nature, et l'on peut poser en principe que, dans toute opération, il y a une égale quantité de matière avant et après l'opération [...] »*

- Avec **Claude-Louis Berthollet** (1748 – 1822), **Antoine François Fourcroy** (1755 – 1809) et **Louis-Bernard Guyton-Morveau** (1737 – 1816), il met en place une nomenclature moderne de la chimie.



## Vers l'atome...

- Les réactions chimiques se font dans des proportions toujours équivalentes de réactifs, dans des **rapports d'entiers**.

Ex. : 1 g d'hydrogène (gaz) et 8 g d'oxygène (gaz) pour former de l'eau.  
(Ce qui est en trop n'est pas « consommé »)

- **John Dalton** (1766 – 1844) suppose vers 1805 que la matière est composée d'unités simples : les **atomes**.
- **Amedeo Avogadro** (1776 – 1856) distingue vers 1811 les atomes des **molécules**, qui sont des assemblages d'atomes.
- La chimie recherche les **éléments indécomposables** (chimiquement)...

Découvrir ce qu'il faut classer

## Le nombre d'éléments augmente...

**Avant 1800** : 36 éléments découverts.

**1800 à 1849** : 22 éléments nouveaux.

**Humphry Davy** (1778 – 1829) découvre des éléments grâce à la pile de Volta : Sodium, Potassium, Magnésium, Calcium, Strontium, Barium.

**1850 à 1899** : 23 éléments nouveaux.

**Robert Bunsen** (1811 – 1899) et **Gustav Kirchhoff** (1824 – 1887) découvrent en 1860 le Césium et le Rubidium grâce à la spectroscopie...

**1869** : on connaît 63 éléments.

## Les caractéristiques des éléments...

- 1 **La masse atomique** = rapport à la masse d'un élément choisi comme référence.
  - ▶ Paramètre **quantitatif**.
  - ▶ L'atome d'hydrogène est de masse 1 dans la suite...
- 2 **Les affinités chimiques** = comportement lors de réactions chimique.
  - ▶ Paramètre **qualitatif**.
  - ▶ Donne lieu à la notion de **valence**.  
(Valence d'un élément chimique = nombre maximal de liaisons avec d'autres éléments)
- 3 **Les propriétés physiques** = taille, densité, point de fusion, raies spectrales...

**Congrès de Karlsruhe** en 1860 (3 jours, plus de 120 participants) :

**Stanislao Cannizzaro** (1826 – 1910) précise les notions d'atomes, de molécules, de poids équivalents, de masses atomiques...

## Construire le tableau périodique

- 1 Découvrir ce qu'il faut classer
- 2 Construire le tableau périodique**
- 3 Expliquer et comprendre le tableau périodique

## Construire le tableau périodique

## Mettre de l'ordre dans ces éléments...

- 1817 puis 1829, **Johann Döbereiner** (1780 – 1849) introduit des **triades** d'éléments ayant des **affinités chimiques similaires** et dont celui du milieu a une masse atomique à peu près égale à la moyenne des deux extrêmes.

▶ Lithium ~ 7 / Sodium ~ 23 / Potassium ~ 39

$$23 = (39 + 7)/2$$

▶ Chlore ~ 35,5 / Brome ~ 80 / Iode ~ 127

$$81,25 = (127 + 35,5)/2$$

▶ Calcium ~ 40 / Strontium ~ 88 / Baryum ~ 137

$$88,5 = (137 + 40)/2$$

(Tableau périodique moderne : triade = morceau de colonne...)

- 1859, **Jean-Baptiste Dumas** (1800 – 1884) introduit les **tétrades** : l'incrément en masse atomique d'un élément au suivant est similaire dans les tétrades...

▶ Fluor ~ 19 / Chlore ~ 35,5 / Brome ~ 80 / Iode ~ 127

$$+19,5 / +44,5 / +47$$

▶ Magnésium ~ 24 / Calcium ~ 40 / Strontium ~ 88 / Baryum ~ 137

$$+16 / +48 / +49$$

➔ **Masse atomique et affinités chimiques entretiennent une relation...**

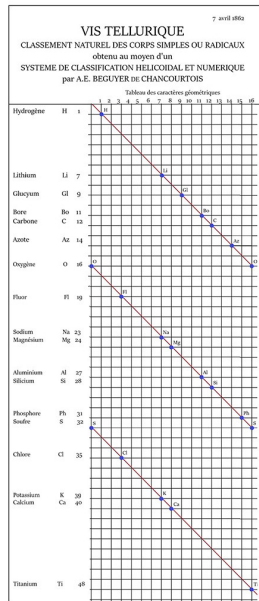
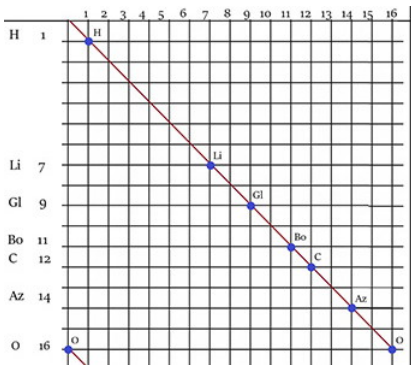
(Conduit souvent à des approches pythagoriciennes de la classification...)

## Construire le tableau périodique

## Vers une classification périodique...

En 1862, **Alexandre-Emile Béguyer de Chancourtois** (1820 – 1886) note une **périodicité** :

- La **vis tellurique** range les éléments en spirale sur un cylindre divisé en 16 parties.
- Les éléments similaires sont sur le même axe vertical.
- Périodicité de 7 (jusqu'au Calcium)



## Construire le tableau périodique

## La loi des octaves de Newlands...

En 1864, **John Newlands** (1837 – 1898) prédit l'existence d'éléments à découvrir, en « construisant » de nouvelles triades :

Silicium ~ 28, Étain ~ 118, et un élément « à découvrir » (Germanium ~ 73).

En 1865 et 1866, après plusieurs tentatives, il introduit une classification de période 7 (**loi des octaves**) le long des masses atomiques croissantes.

- Intervertit si nécessaire des éléments (Iode et Tellure).
- Pas de case vide ; parfois deux éléments par case.
- **Insiste sur la périodicité comme une loi** (en défaut après le Calcium!).

no.	no.	no.	no.	no.	no.	no.	no.	no.	no.
H 1	F 8	Cl 15	Co and Ni 22	Br and Ni 22	Pd 36	I 42	Pt and Ir 50		
Li 2	Na 9	K 16	Cu 23	Rb 30	Ag 37	Cs 44	Os 51		
G 3	Mg 10	Ca 17	Zn 24	Sr 31	Cd 38	Ba and V 45	Hg 52		
Bo 4	Al 11	Cr 19	Y 25	Ce and La 33	U 40	Ta 46	Tl 53		
C 5	Si 12	Ti 18	In 26	Zr 32	Sn 39	W 47	Pb 54		
N 6	P 23	Mn 20	As 27	Di and Mo 34	Sb 41	Nb 48	Bi 55		
O 7	S 14	Fe 21	Se 28	Ro and Ru 35	Te 43	Au 49	Th 56		

## Vers un tableau périodique...

- **Gustavus Detlef Hinrichs** (1836 - 1923) propose en 1867 une classification périodique en spirale, en se basant en partie sur le spectre des atomes.
- En 1864 et 1865, **William Odling** (1829 – 1921) introduit un regroupement ordonné d'éléments :
  - ▶ **Considérations arithmétiques sur les masses atomiques.**
  - ▶ Il laisse des places vacantes pour des éléments à découvrir.
  - ▶ Il met le Thallium, le Plomb, le Mercure et le Platine dans les bons groupes. (contrairement aux premiers essais de Mendeleïev)
- **Julius Lothar Meyer** (1830 - 1895) propose deux tableaux de classification :
  - ▶ Premier tableau (1864) de 28 éléments **classés par leur valence** en six familles.
  - ▶ Ordre croissant des masses atomiques implicite, mais exceptions (Iode et Tellure).
  - ▶ **Prend en compte des propriétés physiques** : taille, densité, fusibilité...
  - ▶ Arrange les métaux de transitions dans un second tableau.
  - ▶ Prévoit des éléments à découvrir mais ne décrit pas leurs propriétés.
  - ▶ Second tableau non publié (1868) très proche du tableau moderne.

## Construire le tableau périodique

## Le tableau de Meyer de 1864

	4 werthig	3 werthig	2 werthig	1 werthig	1 werthig	2 werthig
Differenz =	—	—	—	—	Li = 7,03	(Be = 9,3?)
	—	—	—	—	16,02	(14,7)
Differenz =	C = 12,0	N = 14,04	O = 16,00	Fl = 19,0	Na = 23,05	Mg = 24,0
	16,5	16,96	16,07	16,46	16,08	16,0
Differenz =	Si = 28,5	P = 31,0	S = 32,07	Cl = 35,46	K = 39,13	Ca = 40,0
	$\frac{89,1}{2} = 44,55$	44,0	46,7	44,51	46,3	47,6
Differenz =	—	As = 75,0	Se = 78,8	Br = 79,97	Rb = 85,4	Sr = 87,6
	$\frac{89,1}{2} = 44,55$	45,6	49,5	46,8	47,6	49,5
Differenz =	Sn = 117,6	Sb = 120,6	Te = 128,3	J = 126,8	Cs = 133,0	Ba = 137,1
	89,4 = 2.44,7	87,4 = 2.43,7	—	—	(71 = 2.35,5)	—
Differenz =	Pb = 207,0	Bi = 208,0	—	—	(Tl = 204?)	—

- Pas d'Hydrogène...

- Mise en évidence de différences de masses atomiques régulières...

## Construire le tableau périodique

## Le tableau de Meyer de 1864, métaux de transition

	4 werthig	4 werthig	4 werthig	2 werthig	
	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Mn} = 55,1 \\ \text{Fe} = 56,0 \end{array} \right.$	Ni = 58,7	Co = 58,7	Zn = 65,0	Cu = 63,5
Differ. =	$\left\{ \begin{array}{l} 49,2 \\ 48,3 \end{array} \right.$	45,6	47,3	46,9	44,4
	Ru = 104,3	Rh = 104,3	Pd = 106,0	Cd = 111,9	Ag = 107,94
Differ. =	92,8 = 2.46,4	92,8 = 2.46,4	93,0 = 2.46,5	88,3 = 2.44,2	88,8 = 2.44,4
	Pt = 197,1	Jr = 197,1	Os = 199,0	Hg = 200,2	Au = 196,7

## Construire le tableau périodique

## Le tableau de Meyer de 1868, non publié

MEYER'S TABLE OF 1868.

1	2	3	4	5	6	7	8
Cr=52.6	Mn=55.1 49.2 Ru=104.3 92.8=2.46.4 Pt=197.1	Al=27.3 2 $\frac{1}{2}$ I=14.8 Fe=56.0 48.9 Rh=103.4 92.8=2.46.4 Ir=197.1	Al=27.3 Co=58.7 47.8 Pd=106.0 93=2.465 Os=199.	Ni=58.7	Cu=63.5 44.4 Ag=107.9 88.8=2.44.4 Au=196.7	Zn=65.0 46.9 Cd=111.9 88.3=2.44.5 Hg=200.2	C=12.00 16.5 Si=28.5 2 $\frac{1}{2}$ I=44.5 # $\frac{1}{2}$ I=44.5 Sn=117.6 89.4=2.41.7 Pb=207.0
9	10	11	12	13	14	15	
N=14.4 16.96 P=31.0 44.0 As=75.0 45.6 Sb=120.6 87.4=2.43.7 Bi=208.0	O=16.00 16.07 S=32.07 46.7 Se=78.8 49.5 Te=128.3	F=19.0 16.46 Cl=35.46 44.5 Br=79.9 46.8 I=126.8	Li=7.03 16.02 Na=23.05 16.08 K=39.13 46.3 Rb=85.4 47.6 Cs=133.0 71=2.35.5 Te=204.0	Be=9.3 14.7 Mg=24.0 16.0 Ca=40.0 47.6 Sr=87.6 49.5 Ba=137.1	Ti=48 42.0 Zr=90.0 47.6 Ta=137.6	Mo.=92.0 45.0 Vd=137.0 47.0 W=184.0	

- Agencement plus correct que les premiers essais de Mendeleïev...
- Cette disposition ne met pas en évidence les périodicités...

# Le tableau de Mendeleïev

À partir de 1869, **Dmitri Ivanovitch Mendeleïev** (1834 – 1907) propose des tableaux périodiques de plus en plus affinés qui tendent vers la version actuelle.

- Les éléments sont (presque) dans l'**ordre croissant des masses atomiques**.
  - ▶ La disposition des éléments correspond à leur valence (= propriétés chimiques).
  - ▶ Périodicités de longueurs variables des propriétés chimiques.
  - ▶ Le tableau est plus cohérent en réarrangeant certains éléments.  
Ex. : Tellure et Iode... (Mendeleïev pense que les masses seront corrigées un jour...)
- Tableau accompagné d'une **analyse théorique des propriétés des éléments**.
  - ▶ Masse atomique  $\leftrightarrow$  propriétés physico-chimiques.  
(Mais en un certain sens, Mendeleïev met au second plan les propriétés physico-chimiques.)
  - ▶ Des éléments nouveaux sont prédits (avec leurs propriétés physico-chimiques).
  - ▶ Des corrections de masses atomiques sont prédites.
- Pas de recherche de structures « numériques » (triades ou autres...).

## Construire le tableau périodique

## Le tableau de Mendeleïev en 1869

			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		Pl=106,6	Os=199.
		Cu=63,4		Ag=108	Hg=200.
H=1	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	Sn=118	
	N=14	P=31	As=75	Sb=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=87,4	Ba=137	Pb=207.
		?=45	Ce=92		
		?Er=56	La=94		
		?Yt=60	Di=95		
		?In=75,4	Th=118?		

- Les colonnes sont liées à des périodes de valence.
- Les points d'interrogation indiquent des éléments à découvrir.
- Quelques erreurs de « placement » : Uranium (116)...

## Construire le tableau périodique

## Le tableau de Mendeleïev en 1871

Reihen	Gruppo I. — R'O	Gruppo II. — RO	Gruppo III. — R'O <sup>3</sup>	Gruppo IV. RH <sup>4</sup> RO <sup>4</sup>	Gruppo V. RH <sup>5</sup> R'O <sup>5</sup>	Gruppo VI. RH <sup>6</sup> RO <sup>6</sup>	Gruppo VII. RH R'O <sup>7</sup>	Gruppo VIII. — RO <sup>4</sup>
1	H=1							
2	Li=7	Be=9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27,3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63.
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=86	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108.
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Ce=140	—	—	—	— — — —
9	(—)	—	—	—	—	—	—	
10	—	—	?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184	—	Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199.
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	—	—	
12	—	—	—	Th=231	—	U=240	—	— — — —

- Les éléments sont regroupés verticalement.
- Des éléments ont des masses atomiques corrigées par rapport à 1869, ils ont donc des positions différentes. Ex. : Uranium (240)...

Construire le tableau périodique

# Le tableau de Mendeleïev en 1871 (version moderne)

1 IA																										18 VIIIA				
1	1.0079													2	4.0026															
1	<b>H</b> Hydrogène	2 IIA																						2	He Hélium					
2	3 6.941 <b>Li</b> Lithium	4 9.0122 <b>Be</b> Béryllium													5 10.811 <b>B</b> Bore	6 12.011 <b>C</b> Carbone	7 14.007 <b>N</b> Azote	8 15.999 <b>O</b> Oxygène	9 18.998 <b>F</b> Fluor	10 20.180 <b>Ne</b> Neon										
3	11 22.990 <b>Na</b> Sodium	12 24.305 <b>Mg</b> Magnésium	3 IIIA			4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIII B	9 VIII B	10 VIII B	11 IB	12 IIB	13 26.982 <b>Al</b> Aluminium	14 28.086 <b>Si</b> Silicium	15 30.974 <b>P</b> Phosphore	16 32.065 <b>S</b> Soufre	17 35.453 <b>Cl</b> Chlore	18 39.948 <b>Ar</b> Argon										
4	19 39.098 <b>K</b> Potassium	20 40.078 <b>Ca</b> Calcium	21 44.956 <b>Sc</b> Scandium	22 47.867 <b>Ti</b> Titane	23 50.942 <b>V</b> Vanadium	24 51.996 <b>Cr</b> Chrome	25 54.938 <b>Mn</b> Manganèse	26 55.845 <b>Fe</b> Fer	27 58.933 <b>Co</b> Cobalt	28 58.693 <b>Ni</b> Nickel	29 63.546 <b>Cu</b> Cuivre	30 65.39 <b>Zn</b> Zinc	31 69.723 <b>Ga</b> Gallium	32 72.64 <b>Ge</b> Germanium	33 74.922 <b>As</b> Arsenic	34 78.96 <b>Se</b> Sélénium	35 79.904 <b>Br</b> Brome	36 83.8 <b>Kr</b> Krypton												
5	37 85.468 <b>Rb</b> Rubidium	38 87.62 <b>Sr</b> Strontium	39 88.906 <b>Y</b> Yttrium	40 91.224 <b>Zr</b> Zirconium	41 92.906 <b>Nb</b> Niobium	42 95.94 <b>Mo</b> Molybdène	43 96 <b>Tc</b> Technetium	44 101.07 <b>Ru</b> Ruthénium	45 102.91 <b>Rh</b> Rhodium	46 106.42 <b>Pd</b> Palladium	47 107.87 <b>Ag</b> Argent	48 112.41 <b>Cd</b> Cadmium	49 114.82 <b>In</b> Indium	50 118.71 <b>Sn</b> Étain	51 121.76 <b>Sb</b> Antimoine	52 127.6 <b>Te</b> Tellure	53 126.9 <b>I</b> Iode	54 131.29 <b>Xe</b> Xénon												
6	55 132.91 <b>Cs</b> Césium	56 137.33 <b>Ba</b> Baryum	57-71 <b>La-Lu</b> Lanthanides	72 178.49 <b>Hf</b> Hafnium	73 180.95 <b>Ta</b> Tantale	74 183.84 <b>W</b> Tungstène	75 186.21 <b>Re</b> Rhenium	76 190.23 <b>Os</b> Osmium	77 192.22 <b>Ir</b> Iridium	78 195.08 <b>Pt</b> Platine	79 196.97 <b>Au</b> Or	80 200.59 <b>Hg</b> Mercure	81 204.38 <b>Tl</b> Thallium	82 207.2 <b>Pb</b> Plomb	83 208.98 <b>Bi</b> Bismuth	84 208.98 <b>Po</b> Polonium	85 210 <b>At</b> Astaté	86 222 <b>Rn</b> Radon												
7	87 223 <b>Fr</b> Francium	88 226 <b>Ra</b> Radium	89-103 <b>Ac-Lr</b> Actinides	104 261 <b>Rf</b> Rutherfordium	105 268 <b>Db</b> Dubnium	106 269 <b>Sg</b> Seaborgium	107 270 <b>Bh</b> Bohrium	108 271 <b>Hs</b> Hassium	109 272 <b>Mt</b> Meitnerium	110 273 <b>Ds</b> Darmstadtium	111 274 <b>Rg</b> Roentgenium	112 285 <b>Cn</b> Copernicium	113 286 <b>Nh</b> Nihonium	114 287 <b>Fl</b> Flerovium	115 288 <b>Mc</b> Moscovium	116 289 <b>Lv</b> Livermorium	117 290 <b>Ts</b> Tennessine	118 294 <b>Og</b> Oganesson												
<table border="1"> <tr> <td>57 138.91 <b>La</b> Lanthane</td> <td>58 140.12 <b>Ce</b> Cérite</td> <td>59 140.91 <b>Pr</b> Praseodyme</td> <td>60 144.24 <b>Nd</b> Néodyme</td> <td>61 145 <b>Pm</b> Prométhium</td> <td>62 150.36 <b>Sm</b> Samarium</td> <td>63 151.96 <b>Eu</b> Europium</td> <td>64 157.25 <b>Gd</b> Gadolinium</td> <td>65 162.50 <b>Tb</b> Terbium</td> <td>66 162.50 <b>Dy</b> Dysprosium</td> <td>67 164.93 <b>Ho</b> Holmium</td> <td>68 167.26 <b>Er</b> Érène</td> <td>69 168.93 <b>Tm</b> Thulium</td> <td>70 173.04 <b>Yb</b> Ytterbium</td> <td>71 174.97 <b>Lu</b> Lutécium</td> </tr> </table>																57 138.91 <b>La</b> Lanthane	58 140.12 <b>Ce</b> Cérite	59 140.91 <b>Pr</b> Praseodyme	60 144.24 <b>Nd</b> Néodyme	61 145 <b>Pm</b> Prométhium	62 150.36 <b>Sm</b> Samarium	63 151.96 <b>Eu</b> Europium	64 157.25 <b>Gd</b> Gadolinium	65 162.50 <b>Tb</b> Terbium	66 162.50 <b>Dy</b> Dysprosium	67 164.93 <b>Ho</b> Holmium	68 167.26 <b>Er</b> Érène	69 168.93 <b>Tm</b> Thulium	70 173.04 <b>Yb</b> Ytterbium	71 174.97 <b>Lu</b> Lutécium
57 138.91 <b>La</b> Lanthane	58 140.12 <b>Ce</b> Cérite	59 140.91 <b>Pr</b> Praseodyme	60 144.24 <b>Nd</b> Néodyme	61 145 <b>Pm</b> Prométhium	62 150.36 <b>Sm</b> Samarium	63 151.96 <b>Eu</b> Europium	64 157.25 <b>Gd</b> Gadolinium	65 162.50 <b>Tb</b> Terbium	66 162.50 <b>Dy</b> Dysprosium	67 164.93 <b>Ho</b> Holmium	68 167.26 <b>Er</b> Érène	69 168.93 <b>Tm</b> Thulium	70 173.04 <b>Yb</b> Ytterbium	71 174.97 <b>Lu</b> Lutécium																
<table border="1"> <tr> <td>89 227 <b>Ac</b> Actinium</td> <td>90 232.04 <b>Th</b> Thorium</td> <td>91 231.04 <b>Pa</b> Protactinium</td> <td>92 238.03 <b>U</b> Uranium</td> <td>93 237 <b>Np</b> Neptunium</td> <td>94 244 <b>Pu</b> Plutonium</td> <td>95 243 <b>Am</b> Ameéricium</td> <td>96 247 <b>Cm</b> Curium</td> <td>97 247 <b>Bk</b> Berkélium</td> <td>98 251 <b>Cf</b> Californium</td> <td>99 252 <b>Es</b> Einsteinium</td> <td>100 257 <b>Fm</b> Fermium</td> <td>101 258 <b>Md</b> Mendélium</td> <td>102 259 <b>No</b> Néboium</td> <td>103 261 <b>Lr</b> Lawrencium</td> </tr> </table>																89 227 <b>Ac</b> Actinium	90 232.04 <b>Th</b> Thorium	91 231.04 <b>Pa</b> Protactinium	92 238.03 <b>U</b> Uranium	93 237 <b>Np</b> Neptunium	94 244 <b>Pu</b> Plutonium	95 243 <b>Am</b> Ameéricium	96 247 <b>Cm</b> Curium	97 247 <b>Bk</b> Berkélium	98 251 <b>Cf</b> Californium	99 252 <b>Es</b> Einsteinium	100 257 <b>Fm</b> Fermium	101 258 <b>Md</b> Mendélium	102 259 <b>No</b> Néboium	103 261 <b>Lr</b> Lawrencium
89 227 <b>Ac</b> Actinium	90 232.04 <b>Th</b> Thorium	91 231.04 <b>Pa</b> Protactinium	92 238.03 <b>U</b> Uranium	93 237 <b>Np</b> Neptunium	94 244 <b>Pu</b> Plutonium	95 243 <b>Am</b> Ameéricium	96 247 <b>Cm</b> Curium	97 247 <b>Bk</b> Berkélium	98 251 <b>Cf</b> Californium	99 252 <b>Es</b> Einsteinium	100 257 <b>Fm</b> Fermium	101 258 <b>Md</b> Mendélium	102 259 <b>No</b> Néboium	103 261 <b>Lr</b> Lawrencium																

Z	masse
<b>Symb.</b>	
Nom	

<b>vert foncé</b>

- Rouge : éléments prédits.
- Vert foncé : éléments douteux (masses à revoir?)...

Construire le tableau périodique

# Remplir les cases vides...

Trois éléments prédits par Mendeleïev sont découverts dans les décennies qui suivent, avec les propriétés physico-chimiques annoncées.

- Le Gallium en 1875
- Le Scandium en 1879
- Le Germanium en 1886

- Le Technétium est séparé des produits de fission nucléaire de l'uranium en 1937...

## Extension du tableau...

- À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, on découvre les **gaz rares** (Hélium, Néon, Argon, ...) qui n'entrent pas dans le tableau :
  - ▶ Ils sont inertes chimiquement : difficiles à découvrir.
  - ▶ Ils ont leur place naturelle dans une colonne supplémentaire.
    - ➔ **Grande robustesse du tableau périodique!**
- En 1913, **Henry Moseley** (1887 – 1915) remplace la masse atomique par le **numéro atomique** ( $Z$  = nombres de protons du noyau = nombre d'électrons).
  - ▶ Les éléments sont dans l'ordre croissant des numéros atomiques.
  - ▶ On sait s'il reste des « trous » à combler :  $Z = 43, 61, 72, 75, 85, 87, 91$   
(impossible avec les masses atomiques à cause des isotopes)
- En 1944, **Glenn Theodore Seaborg** (1912 – 1999) émet l'hypothèse d'une famille d'actinides (qui contient l'Uranium).

# Construire le tableau périodique

## Le tableau périodique actuel

1 IA																												18 VIIIA																			
1	1.0079																	2	4.0025																												
1	<b>H</b> Hydrogène																	<b>He</b> Hélium																													
2 IIA																		13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA																								
3	6.941	4	9.0122																	5	10.811	6	12.011	7	14.007	8	15.999	9	18.998	10	20.180																
2	<b>Li</b> Lithium	<b>Be</b> Béryllium																	<b>B</b> Bore	<b>C</b> Carbone	<b>N</b> Azote	<b>O</b> Oxygène	<b>F</b> Fluor	<b>Ne</b> Néon																							
Z masse		Symb.																		Nom		artificiel																									
3	22.990	12	24.305																	<b>Al</b> Aluminium	<b>Si</b> Silicium	<b>P</b> Phosphore	<b>S</b> Soufre	<b>Cl</b> Chlore	<b>Ar</b> Argon																						
4	39.098	20	40.078	3 IIIA	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIIIB	9 VIIIB	10 VIIIB	11 IB	12 IIB	31	69.723	32	72.64	33	74.922	34	78.96	35	79.904	36	83.8																						
4	<b>K</b> Potassium	<b>Ca</b> Calcium	<b>Sc</b> Scandium	<b>Ti</b> Titane	<b>V</b> Vanadium	<b>Cr</b> Chrome	<b>Mn</b> Manganèse	<b>Fe</b> Fer	<b>Co</b> Cobalt	<b>Ni</b> Nickel	<b>Cu</b> Cuivre	<b>Zn</b> Zinc	<b>Ga</b> Gallium	<b>Ge</b> Germanium	<b>As</b> Arsenic	<b>Se</b> Sélénium	<b>Br</b> Brome	<b>Kr</b> Krypton																													
5	85.468	38	87.62	39	88.906	40	91.224	41	92.906	42	95.94	43	95.94	44	101.07	45	102.91	46	106.42	47	107.87	48	112.41	49	114.82	50	118.71	51	121.76	52	127.6	53	126.9	54	131.29												
5	<b>Rb</b> Rubidium	<b>Sr</b> Strontium	<b>Y</b> Yttrium	<b>Zr</b> Zirconium	<b>Nb</b> Niobium	<b>Mo</b> Molybdène	<b>Tc</b> Technétium	<b>Ru</b> Ruthénium	<b>Rh</b> Rhodium	<b>Pd</b> Palladium	<b>Ag</b> Argent	<b>Cd</b> Cadmium	<b>In</b> Indium	<b>Sn</b> Étain	<b>Sb</b> Antimoine	<b>Te</b> Tellure	<b>I</b> Iode	<b>Xe</b> Xénon																													
6	132.91	56	137.33	57-71	72	178.49	73	180.95	74	183.84	75	186.21	76	190.23	77	192.22	78	195.08	79	196.97	80	200.59	81	204.38	82	207.2	83	208.98	84	208.98	85	210	86	222													
6	<b>Cs</b> Césium	<b>Ba</b> Baryum	<b>La-Lu</b> Lanthanides	<b>Hf</b> Hafnium	<b>Ta</b> Tantale	<b>W</b> Tungstène	<b>Re</b> Rhenium	<b>Os</b> Osmium	<b>Ir</b> Iridium	<b>Pt</b> Platine	<b>Au</b> Or	<b>Hg</b> Mercure	<b>Tl</b> Thallium	<b>Pb</b> Plomb	<b>Bi</b> Bismuth	<b>Po</b> Polonium	<b>At</b> Astaté	<b>Rn</b> Radon																													
7	87	223	88	226	89-103	104	267	105	268	106	269	107	270	108	267	109	278	110	281	111	282	112	285	113	286	114	289	115	290	116	293	117	294	118	294												
7	<b>Fr</b> Francium	<b>Ra</b> Radium	<b>Ac-Lr</b> Actinides	<b>Rf</b> Rutherfordium	<b>Db</b> Dubnium	<b>Sg</b> Seaborgium	<b>Bh</b> Bohrium	<b>Hs</b> Hassium	<b>Mt</b> Meitnium	<b>Ds</b> Darmstadtium	<b>Rg</b> Roentgenium	<b>Cn</b> Copernicium	<b>Nh</b> Nihonium	<b>Fl</b> Flerovium	<b>Mc</b> Moscovium	<b>Lv</b> Livermorium	<b>Ts</b> Tennessine	<b>Og</b> Oganesson																													
																		57	138.91	58	140.12	59	140.91	60	144.24	61	145	62	150.36	63	151.96	64	157.25	65	158.93	66	162.50	67	164.93	68	167.26	69	168.93	70	173.04	71	174.97
																		<b>La</b> Lanthane	<b>Ce</b> Cérium	<b>Pr</b> Praxodyme	<b>Nd</b> Néodyme	<b>Pm</b> Prométhium	<b>Sm</b> Samarium	<b>Eu</b> Europium	<b>Gd</b> Gadolinium	<b>Tb</b> Terbium	<b>Dy</b> Dysprosium	<b>Ho</b> Holmium	<b>Er</b> Erbium	<b>Tm</b> Thulium	<b>Yb</b> Ytterbium	<b>Lu</b> Lutécium															
																		89	227	90	232.04	91	231.04	92	238.03	93	237	94	244	95	243	96	247	97	247	98	251	99	252	100	257	101	258	102	259	103	262
																		<b>Ac</b> Actinium	<b>Th</b> Thorium	<b>Pa</b> Protactinium	<b>U</b> Uranium	<b>Np</b> Neptunium	<b>Pu</b> Plutonium	<b>Am</b> Américium	<b>Cm</b> Curium	<b>Bk</b> Berkélium	<b>Cf</b> Californium	<b>Es</b> Einsteinium	<b>Fm</b> Fermium	<b>Md</b> Mendélévium	<b>No</b> Nobelium	<b>Lr</b> Lawrencium															

- Métaux alcalins
- Alcalino-terreux
- Métaux de transition
- Métaux pauvres
- Métalloïdes
- Non-métaux
- Halogènes
- Gaz nobles
- Lanthanides
- Actinides
- Non classés

## Expliquer et comprendre le tableau périodique

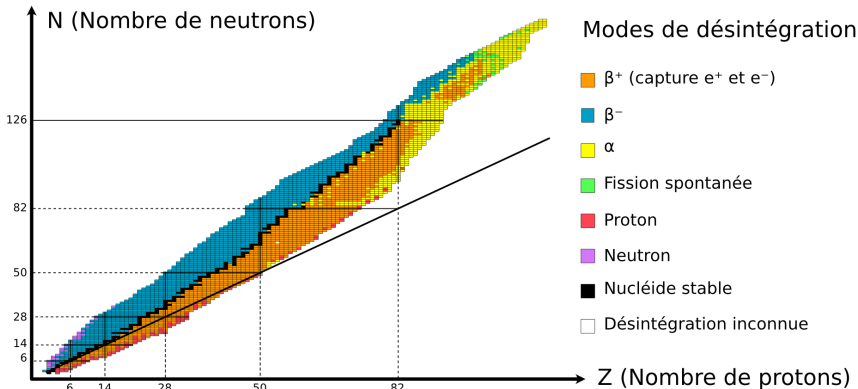
- 1 Découvrir ce qu'il faut classer
- 2 Construire le tableau périodique
- 3 Expliquer et comprendre le tableau périodique

## Expliquer et comprendre le tableau périodique

# Un élément chimique n'est pas un atome...

Élément chimique = **ensemble d'isotopes** pour un numéro atomique  $Z$ .

- La masse atomique n'est donc pas le bon paramètre de classification.
- Les cases ne correspondent pas à des atomes (définis par leur noyau atomique).  
L'élément *hydrogène* contient le *Protium*  ${}^1_1\text{H}$ , le *Deutérium*  ${}^2_1\text{H}$  et le *Tritium*  ${}^3_1\text{H}$ .



## Expliquer et comprendre le tableau périodique

# La physique explique le tableau périodique...

- En principe** la mécanique quantique explique le tableau périodique.
  - ▶ Lignes du tableau de gauche à droite  $\approx$  remplir les couches électroniques.
  - ▶ règle de Hund + exceptions (empiriques)...
  - ▶ 7 couches pour  $Z \leq 118 = 7$  lignes (= 7 périodes dans le tableau).
  - ▶ Chaque période est divisée en blocs (tailles variables) : les orbitales atomiques.
- Propriétés physico-chimiques**  $\leftrightarrow$  configuration électronique (presque !).

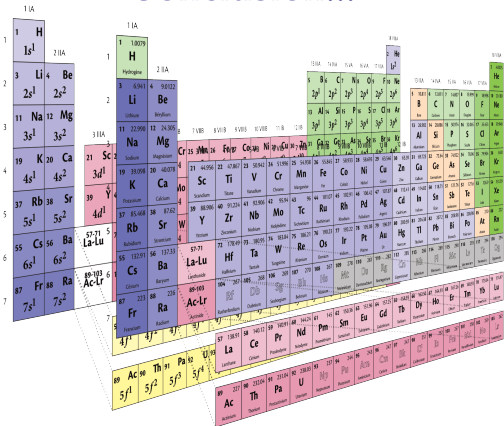
1 IA																												18 VIIIA																						
1	H																He																																	
	1s <sup>1</sup>																1s <sup>2</sup>																																	
2	3															4	5	6	7	8	9	10																												
	Li															Be	B	C	N	O	F	Ne																												
	2s <sup>1</sup>																2s <sup>2</sup>		2p <sup>1</sup>		2p <sup>2</sup>		2p <sup>3</sup>		2p <sup>4</sup>		2p <sup>5</sup>		2p <sup>6</sup>																					
3	11															12	13	14	15	16	17	18																												
	Na															Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar																												
	3s <sup>1</sup>																3s <sup>2</sup>		3p <sup>1</sup>		3p <sup>2</sup>		3p <sup>3</sup>		3p <sup>4</sup>		3p <sup>5</sup>		3p <sup>6</sup>																					
4	19															20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36																		
	K															Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																		
	4s <sup>1</sup>																4s <sup>2</sup>		3d <sup>1</sup>		3d <sup>2</sup>		3d <sup>3</sup>		3d <sup>4</sup>		3d <sup>5</sup>		3d <sup>6</sup>		3d <sup>7</sup>		3d <sup>8</sup>		3d <sup>9</sup>		3d <sup>10</sup>		4p <sup>1</sup>		4p <sup>2</sup>		4p <sup>3</sup>		4p <sup>4</sup>		4p <sup>5</sup>		4p <sup>6</sup>	
5	37															38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																		
	Rb															Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																		
	5s <sup>1</sup>																5s <sup>2</sup>		4d <sup>1</sup>		4d <sup>2</sup>		4d <sup>3</sup>		4d <sup>4</sup>		4d <sup>5</sup>		4d <sup>6</sup>		4d <sup>7</sup>		4d <sup>8</sup>		4d <sup>9</sup>		4d <sup>10</sup>		5p <sup>1</sup>		5p <sup>2</sup>		5p <sup>3</sup>		5p <sup>4</sup>		5p <sup>5</sup>		5p <sup>6</sup>	
6	55															56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86																		
	Cs															Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																		
	6s <sup>1</sup>																6s <sup>2</sup>		5d <sup>2</sup>		5d <sup>3</sup>		5d <sup>4</sup>		5d <sup>5</sup>		5d <sup>6</sup>		5d <sup>7</sup>		5d <sup>8</sup>		5d <sup>9</sup>		5d <sup>10</sup>		6p <sup>1</sup>		6p <sup>2</sup>		6p <sup>3</sup>		6p <sup>4</sup>		6p <sup>5</sup>		6p <sup>6</sup>			
7	87															88	89-103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118																		
	Fr															Ra	Ac-Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og																		
	7s <sup>1</sup>																7s <sup>2</sup>		6d <sup>2</sup>		6d <sup>3</sup>		6d <sup>4</sup>		6d <sup>5</sup>		6d <sup>6</sup>		6d <sup>7</sup>																					
																			5f <sup>1</sup>		5f <sup>2</sup>		5f <sup>3</sup>		5f <sup>4</sup>		5f <sup>5</sup>		5f <sup>6</sup>		5f <sup>7</sup>		5f <sup>8</sup>		5f <sup>9</sup>		5f <sup>10</sup>		5f <sup>11</sup>		5f <sup>12</sup>		5f <sup>13</sup>		5f <sup>14</sup>		6d <sup>1</sup>			
																			89		90		91		92		93		94		95		96		97		98		99		100		101		102		103			
																			Ac		Th		Pa		U		Np		Pu		Am		Cm		Bk		Cf		Es		Fm		Md		No		Lr			
																			5f <sup>1</sup>		5f <sup>2</sup>		5f <sup>3</sup>		5f <sup>4</sup>		5f <sup>5</sup>		5f <sup>6</sup>		5f <sup>7</sup>		5f <sup>8</sup>		5f <sup>9</sup>		5f <sup>10</sup>		5f <sup>11</sup>		5f <sup>12</sup>		5f <sup>13</sup>		5f <sup>14</sup>		6d <sup>1</sup>			



Expliquer et comprendre le tableau périodique

# Conclusion...

Physique →



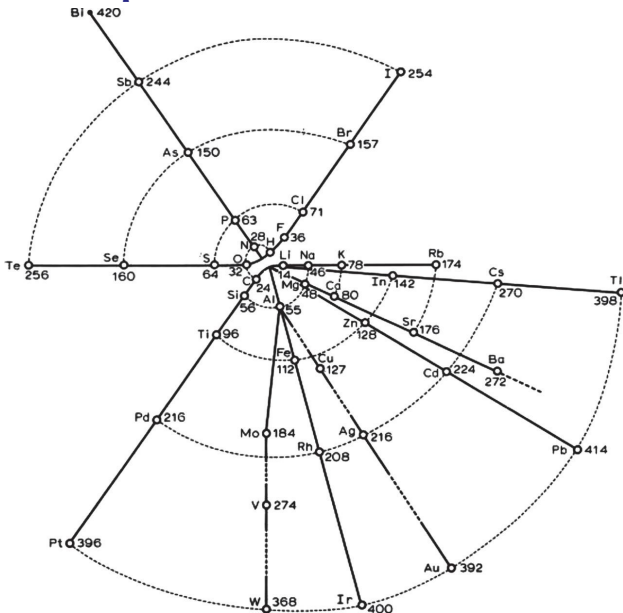
→ Chimie

« La pensée du chimiste nous paraît osciller entre le pluralisme d'une part et la réduction du pluralisme d'autre part. »

G. Bachelard, *Le Pluralisme Cohérent de la Chimie Moderne*, Vrin, Paris, 1932

# Matériel supplémentaire

# Spirale de Hinrichs, 1867



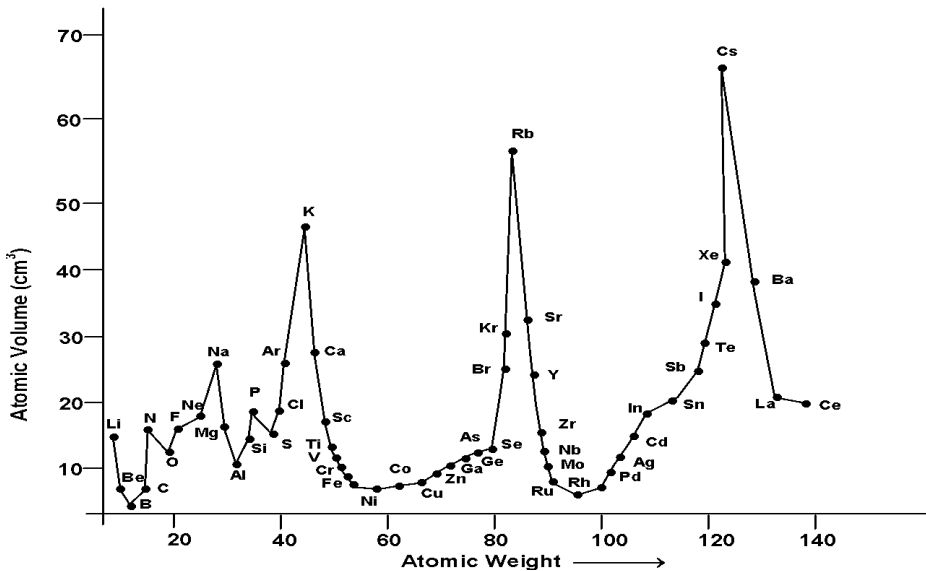
# Tableau de Odling, 1864

			{ Ro 104	Pt 197
			{ Ru 104	Ir 197
			{ Pd 106·5	Os 199
			Ag 108	Au 196·5
..... H 1	"	"	Cd 112	Hg 200 .....
"	"	Zn 65	"	Tl 203
..... L 7	"	"	"	Pb 207 .....
G 9	"	"	U 120	"
..... B 11	Al 27·5	"	Sn 118 .....	" .....
C 12	Si 28	"	Sb 122	Bi 210
..... N 14	P 31	As 75	Te 129 .....	" .....
O 16	S 32	Se 79·5	I 127	" .....
..... F 19	Cl 35·5	Br 80	Ce 133	" .....
..... Na 23	K 39	Rb 85	Ba 137 .....	" .....
Mg 24	Ca 40	Sr 87·5	Ta 138	Th 231·5
	Ti 50	Zr 89·5	"	" .....
	"	Ce 92	"	" .....
	Cr 52·5	Mo 96	{ V 137 .....	" .....
	{ Mn 55		{ W 184	
	{ Fe 56			
	{ Co 59			
	{ Ni 59			
	{ Cu 63·5			

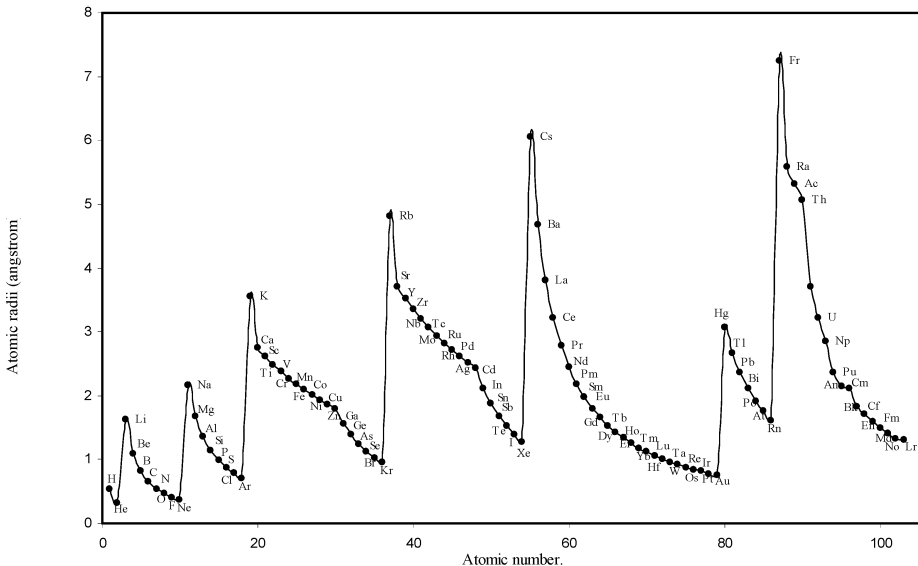
# Le tableau de Mendeleïev en 1869 (imprimé)

Typische Elemente											
H = 1	Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85	Cs = 133	—	—				
	Be = 9,4	Mg = 24	Ca = 40	Sr = 87	Ba = 137	—	—				
	B = 11	Al = 27,3	—	? Yt = 88?	? Di = 138?	Er = 178?	—				
	C = 12	Si = 28	Ti = 48?	Zr = 90	Co = 140?	? La = 180?	Tb = 231				
	N = 14	P = 31	V = 51	Nb = 94	—	Ta = 182	—				
	O = 16	S = 32	Cr = 52	Mo = 96	—	W = 184	U = 240				
	F = 19	Cl = 35,5	Mn = 55	—	—	—	—				
			Fe = 56	Ru = 104	—	Os = 195?	—				
			Co = 59	Rh = 104	—	Ir = 197	—				
			Ni = 59	Pd = 106	—	Pt = 198?	—				
			Cu = 63	Ag = 108	—	Au = 199?	—				
			Zn = 65	Cd = 112	—	Hg = 200	—				
			—	In = 113	—	Tl = 204	—				
			—	Sn = 118	—	Pb = 207	—				
			As = 75	Sb = 122	—	Bi = 208	—				
			Se = 78	Te = 125?	—	—	—				
			Br = 80	J = 127	—	—	—				

# Périodicité du volume atomique (Meyer, 1869)

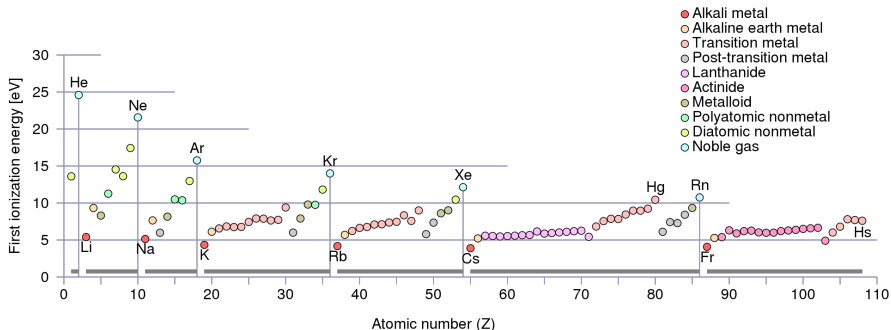


# Périodicité (calculée) de rayons atomiques



D. C. Ghosh, R. Biswas, *Int. J. Mol. Sci.* 2002, 3(2), 87-113

# Périodicité de l'énergie de première ionisation



# Configurations électroniques du tableau périodique

Cette configuration ne prend pas en compte les exceptions empiriques...

Ex. : Cu  $\rightarrow$   $[\text{Ar}]4s^13d^{10}$  plutôt que  $[\text{Ar}]4s^23d^9$

1A										18 VIIIA																																
1	H											2	He																													
	$1s^1$	2 IIA											$1s^2$																													
2	3	Li	4	Be											5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne																
		$2s^1$		$2s^2$												$2p^1$		$2p^2$		$2p^3$		$2p^4$		$2p^5$		$2p^6$																
3	11	Na	12	Mg											13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar																
		$3s^1$		$3s^2$	3 IIIA 4 IVB 5 VB 6 VIB 7 VIIB 8 VIIIB 9 VIIIB 10 VIIIB 11 IB 12 IIB											$3p^1$		$3p^2$		$3p^3$		$3p^4$		$3p^5$		$3p^6$																
4	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						
		$4s^1$		$4s^2$		$3d^1$		$3d^2$		$3d^3$		$3d^4$		$3d^5$		$3d^6$		$3d^7$		$3d^8$		$3d^9$		$3d^{10}$		$4p^1$		$4p^2$		$4p^3$		$4p^4$		$4p^5$		$4p^6$						
5	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						
		$5s^1$		$5s^2$		$4d^1$		$4d^2$		$4d^3$		$4d^4$		$4d^5$		$4d^6$		$4d^7$		$4d^8$		$4d^9$		$4d^{10}$		$5p^1$		$5p^2$		$5p^3$		$5p^4$		$5p^5$		$5p^6$						
6	55	Cs	56	Ba	57-71 La-Lu		72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn						
		$6s^1$		$6s^2$				$5d^2$		$5d^3$		$5d^4$		$5d^5$		$5d^6$		$5d^7$		$5d^8$		$5d^9$		$5d^{10}$		$6p^1$		$6p^2$		$6p^3$		$6p^4$		$6p^5$		$6p^6$						
7	87	Fr	88	Ra	89-103 Ac-Lr		104	Rf	105	Db	106	Sg	107	Bh	108	Hs	109	Mt	110	Ds	111	Rg	112	Cn	113	Nh	114	Fl	115	Mc	116	Lv	117	Ts	118	Og						
		$7s^1$		$7s^2$				$6d^2$		$6d^3$		$6d^4$		$6d^5$		$6d^6$		$6d^7$																								
		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											
			$4f^1$		$4f^2$		$4f^3$		$4f^4$		$4f^5$		$4f^6$		$4f^7$		$4f^8$		$4f^9$		$4f^{10}$		$4f^{11}$		$4f^{12}$		$4f^{13}$		$4f^{14}$		$5d^1$											
		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											
			$5f^1$		$5f^2$		$5f^3$		$5f^4$		$5f^5$		$5f^6$		$5f^7$		$5f^8$		$5f^9$		$5f^{10}$		$5f^{11}$		$5f^{12}$		$5f^{13}$		$5f^{14}$		$6d^1$											

# Isotopes

