

**ESSAIS DE CLASSIFICATION
ET PROPRIETES PERIODIQUES
DES ELEMENTS CHIMIQUES**

Classifications anciennes

- **Masses atomiques**
- **Propriétés chimiques et physiques**

Triades de Dobereiner 1817 (Ressemblance)

- Masse atomique / Propriétés
- Ca (40) / Sr (88) / Ba (137)
- Cl (35,5) / Br (80) / Iode (127)
- Li (7) / Na (23) / K (39).

Tétrades de Dumas 1859

- **Fluor / Chlore/ Brome / Iode**
- **Magnésium/ Calcium / Strontium / Baryum**

Vis tellurique de Chancourtois 1862 : Périodicité des propriétés

- **Eléments organisés en spirale sur un cylindre divisé en seize parties.**
- **certaines « triades » se retrouvaient précisément alignées dans cette représentation, ainsi que la tétrade oxygène – soufre – sélénium – **tellure****

Loi des octaves de Newlands 1863

- « Le 8^{ème} élément, qui suit un élément donné, ressemble au 1^{er} comme la 8^{ème} note de l'octave ressemble à la 1^{ère}. »
- Éléments organisés dans un tableau à 7 lignes en les arrangeant de telle sorte que leurs propriétés chimiques soient similaires par lignes
- Problème de périodicité au-delà du calcium

Classification périodique de Mendeleïev 1869

- Masse atomique + combinaisons chimiques avec O et H .
- Périodicité des propriétés
- Existence de valence (+) et (-)
- Cases vides pour les éléments non découverts à l'époque

Classifications modernes

- **Numéro atomique (Z) , valence**
- **2 classifications**

1- Classification courte

- **Z + valence**
- **8 colonnes : groupes (0 \longrightarrow VII)**
- **7 lignes : progression des couches électroniques**
- **Le groupe 0 : gaz rares (valence = 0)**
- **A partir de la 4^{ème} ligne \longrightarrow 2 éléments par case : élément A et élément B (métal de transition)**
- **Lanthanides et actinides à l'extérieur du tableau**

2- Classification longues

- **Z**
- **18 colonnes et 7 lignes ou périodes**
- **Une période se définit par le remplissage progressif des sous-couches électroniques jusqu'à atteindre la sous-couche s de la couche électronique suivante.**
- **Chaque case contient au maximum un élément**

- **Sous-couche 1s** 1 case quantique → 2 électrons
→ **2 éléments sur la 1re période**
- **Sous-couche 2s** 1 case quantique → 2 électrons
- **Sous-couche 2p** 3 cases quantiques → 6 électrons
→ **8 éléments sur la 2e période**
- **Sous-couche 3s** 1 case quantique → 2 électrons
- **Sous-couche 3p** 3 cases quantiques → 6 électrons
→ **8 éléments sur la 3e période**
- **Sous-couche 4s** 1 case quantique → 2 électrons
- **Sous-couche 3d** 5 cases quantiques → 10 électrons
- **Sous-couche 4p** 3 cases quantiques → 6 électrons
→ **18 éléments sur la 4e période**

- Sous-couche 5s 1 case quantique → 2 électrons
 - Sous-couche 4d 5 cases quantiques → 10 électrons
 - Sous-couche 5p 3 cases quantiques → 6 électrons
- **18 éléments sur la 5e période**

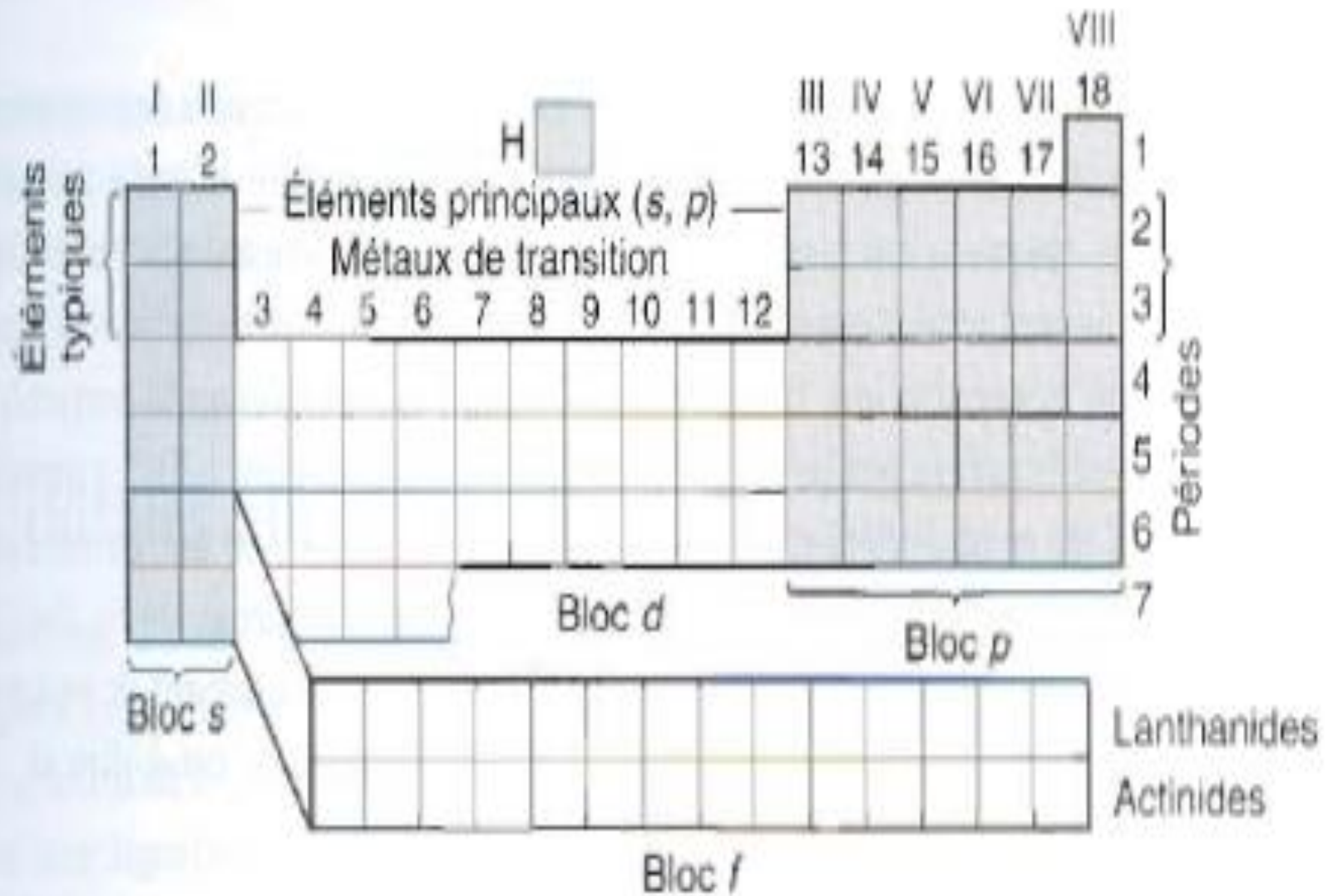
- Sous-couche 6s 1 case quantique → 2 électrons
 - Sous-couche 4f 7 cases quantiques → 14 électrons
 - Sous-couche 5d 5 cases quantiques → 10 électrons
 - Sous-couche 6p 3 cases quantiques → 6 électrons
- **32 éléments sur la 6e période**

- Sous-couche 7s 1 case quantique → 2 électrons
 - Sous-couche 5f 7 cases quantiques → 14 électrons
 - Sous-couche 6d 5 cases quantiques → 10 électrons
 - Sous-couche 7p 3 cases quantiques → 6 électrons
- **32 éléments sur la 7e période**

Tableau périodique des éléments

← Groupe	1	2											13	14	15	16	17	18	
← IA	IA	IIA											IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA	
← Période																			
1	hydrogène 1 H 1,00794	← nom de l'élément (gaz, liquide ou solide à 0°C et 101,3 kPa) ← numéro atomique ← symbole chimique ← masse atomique relative ou [celle de l'isotope le plus stable]																hélium 2 He 4,002602	
2	lithium 3 Li 6,941	béryllium 4 Be 9,012182											boré 5 B 10,811	carbone 6 C 12,0107	azote 7 N 14,00674	oxygène 8 O 15,9994	fluor 9 F 18,9984032	néon 10 Ne 20,1797	
3	sodium 11 Na 22,98976928	magnésium 12 Mg 24,3050	3 IB	4 IIB	5 IIB	6 IIB	7 IIB	8 IIB	9 IIB	10 IIB	11 IIB	12 IIB	aluminium 13 Al 26,9815386	silicium 14 Si 28,0855	phosphore 15 P 30,973762	soufre 16 S 32,066	chlore 17 Cl 35,4527	argon 18 Ar 39,948	
4	potassium 19 K 39,0983	calcium 20 Ca 40,078	scandium 21 Sc 44,955912	titane 22 Ti 47,867	vanadium 23 V 50,9415	chrome 24 Cr 51,9961	manganèse 25 Mn 54,938045	fer 26 Fe 55,845	cobalt 27 Co 58,933195	nickel 28 Ni 58,6934	cuivre 29 Cu 63,546	zinc 30 Zn 65,39	galium 31 Ga 69,723	germanium 32 Ge 72,61	arsenic 33 As 74,92160	sélénium 34 Se 78,96	brome 35 Br 79,904	krypton 36 Kr 83,80	
5	rubidium 37 Rb 85,4678	strontium 38 Sr 87,62	yttrium 39 Y 88,90585	zirconium 40 Zr 91,224	niobium 41 Nb 92,90638	molybdène 42 Mo 95,94	technétium 43 Tc 97,9072	ruthénium 44 Ru 101,07	rhodium 45 Rh 102,90550	palladium 46 Pd 106,42	argent 47 Ag 107,8682	cadmium 48 Cd 112,411	indium 49 In 114,818	étain 50 Sn 118,710	antimoine 51 Sb 121,760	tellure 52 Te 127,60	iode 53 I 126,90447	xénon 54 Xe 131,29	
6	césium 55 Cs 132,9054519	baryum 56 Ba 137,327	lanthanides 57-71		hafnium 72 Hf 178,49	tantale 73 Ta 180,94788	tungstène 74 W 183,84	rhénium 75 Re 186,207	osmium 76 Os 190,23	iridium 77 Ir 192,217	platine 78 Pt 195,084	or 79 Au 196,966569	mercure 80 Hg 200,59	thallium 81 Tl 204,3833	plomb 82 Pb 207,2	bismuth 83 Bi 208,98040	polonium 84 Po [208,9824]	astate 85 At [209,9873]	radon 86 Rn [222,0176]
7	francium 87 Fr [223,0197]	radium 88 Ra [226,0254]	actinides 89-103		rutherfordium 104 Rf [261,1125]	dubnium 105 Db [262,1144]	seaborgium 106 Sg [266,1219]	bohrium 107 Bh [264,1247]	hassium 108 Hs [269,1341]	meitnérium 109 Mt [268,1388]	datmadibium 110 Ds [272,1463]	roentgenium 111 Rg [272,1535]	copernicium 112 Cn [277]	ununtrium 113 Uut [284]	flérovium 114 Fl [289]	ununpentium 115 Uup [288]	livermorium 116 Lv [292]	ununseptium 117 Uus [292]	ununoctium 118 Uuo [294]
			lanthane 57 La 138,90547	cérium 58 Ce 140,116	praseodyme 59 Pr 140,90765	néodyme 60 Nd 144,242	prométhium 61 Pm [144,9127]	samarium 62 Sm 150,36	europium 63 Eu 151,964	gadolinium 64 Gd 157,25	terbium 65 Tb 158,92535	dysprosium 66 Dy 162,500	holmium 67 Ho 164,93032	erbium 68 Er 167,259	thulium 69 Tm 168,93421	ytterbium 70 Yb 173,04	lutécium 71 Lu 174,967		
			actinium 89 Ac [227,0277]	thorium 90 Th 232,03806	protactinium 91 Pa 231,03588	uranium 92 U 238,02891	neptunium 93 Np [237,0482]	plutonium 94 Pu [244,0642]	américium 95 Am [243,0614]	curium 96 Cm [247,0703]	berkélium 97 Bk [247,0703]	californium 98 Cf [251,0796]	einsteinium 99 Es [252,0830]	fermium 100 Fm [257,0951]	mendélévium 101 Md [258,0984]	nobélium 102 No [259,1011]	lawrencium 103 Lr [262,110]		

métaux alcalins	alcalino-terreux	lanthanides	actinides	métaux de transition	métaux pauvres	métalloïdes	non-métaux	halogènes	gaz nobles	primordial	désintégration d'autres éléments	synthétique
---	--	---	---	--	--	---	--	---	--	--	---	--





Périodicité des propriétés

Charge nucléaire effective

- Slater 1930.
- constante d'écran σ : dépend de la position des électrons de l'atome par rapport à l'électron E. La charge Z du noyau devient alors une charge effective Z^* relative à l'électron E
- $Z^* = Z - \sigma$.

Calcul de la charge effective

- Configuration électronique selon : (1s) (2s,2p) (3s, 3p) (3d) (4s, 4p) (4d) (4f) (5s, 5p)...
- Choisir l'électron pour lequel on cherche la charge effective. Tous les autres électrons apporteront une contribution partielle σ_i à la constante d'écran totale σ . Cette contribution dépend :
- du type d'orbitale (s, p), (d) ou (f) de l'électron,
- de la couche électronique n de l'électron.

Constantes d'écran

Electron d'origine	Contribution des autres électrons					
	n-2, n-3...	n-1	n			n+1, n+2...
			s, p	d	f	
s, p	1	0,85	0,35	0	0	0
d	1	1	1	0,35	0	0
f	1	1	1	1	0,35	0



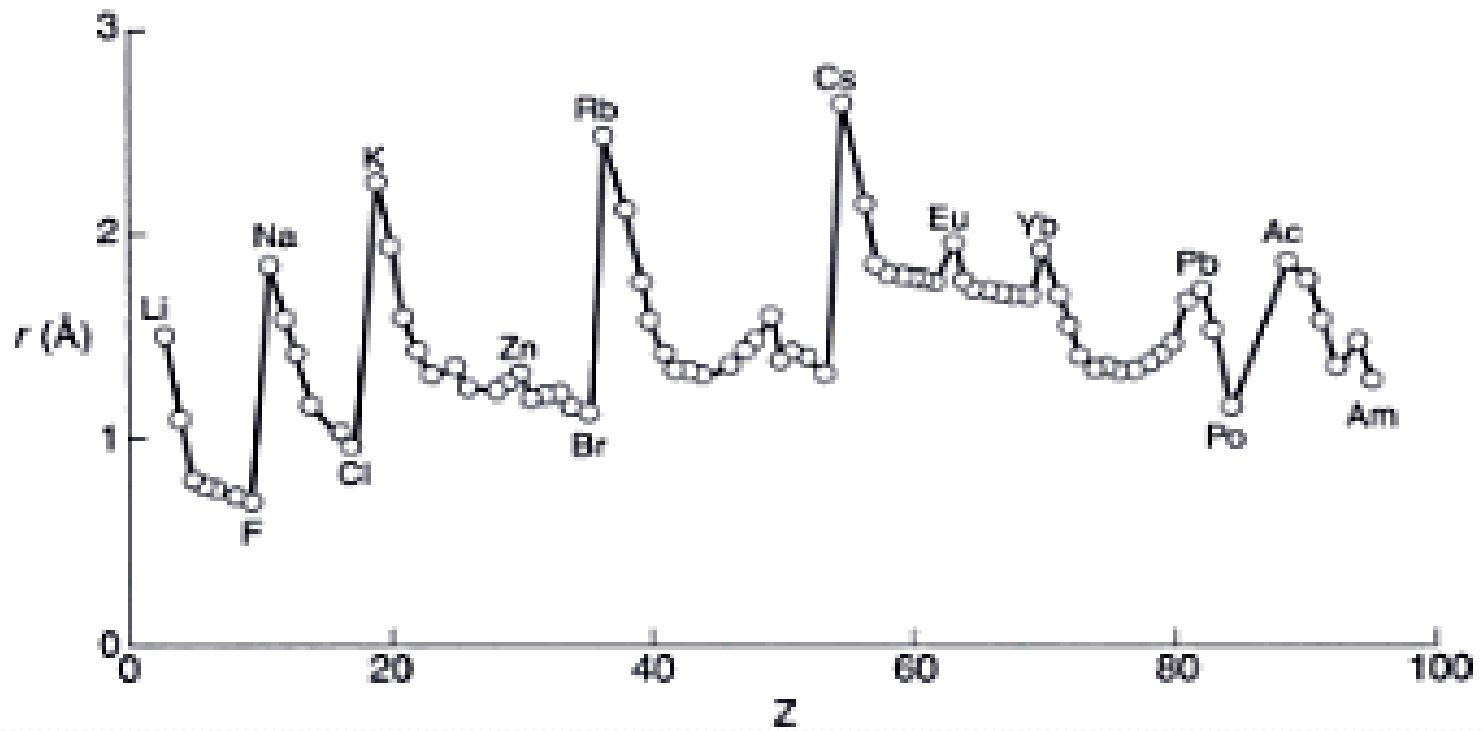
Propriétés physiques

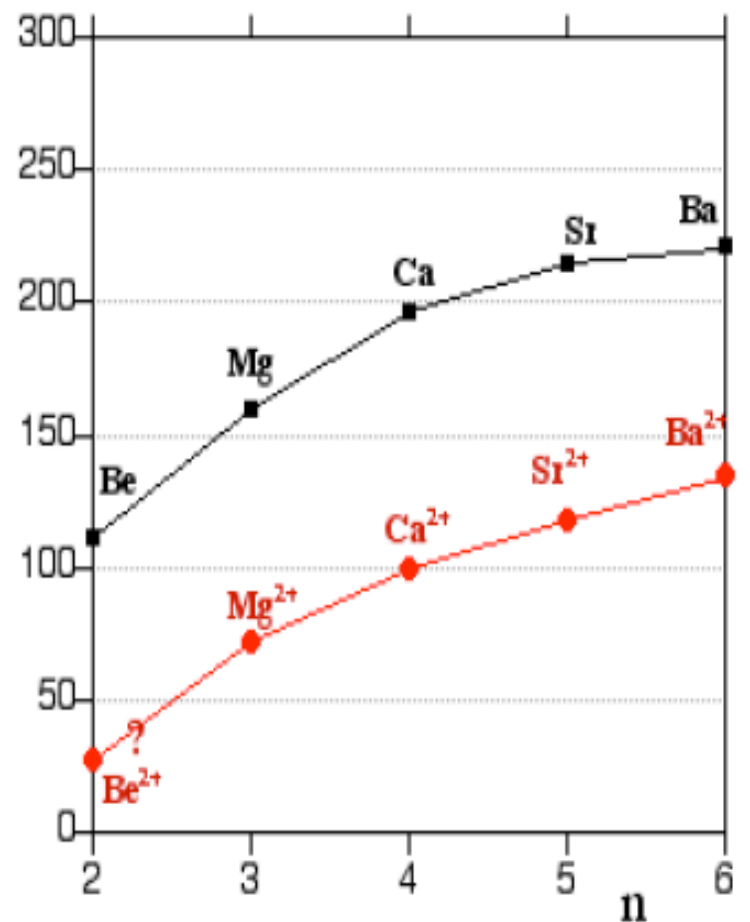
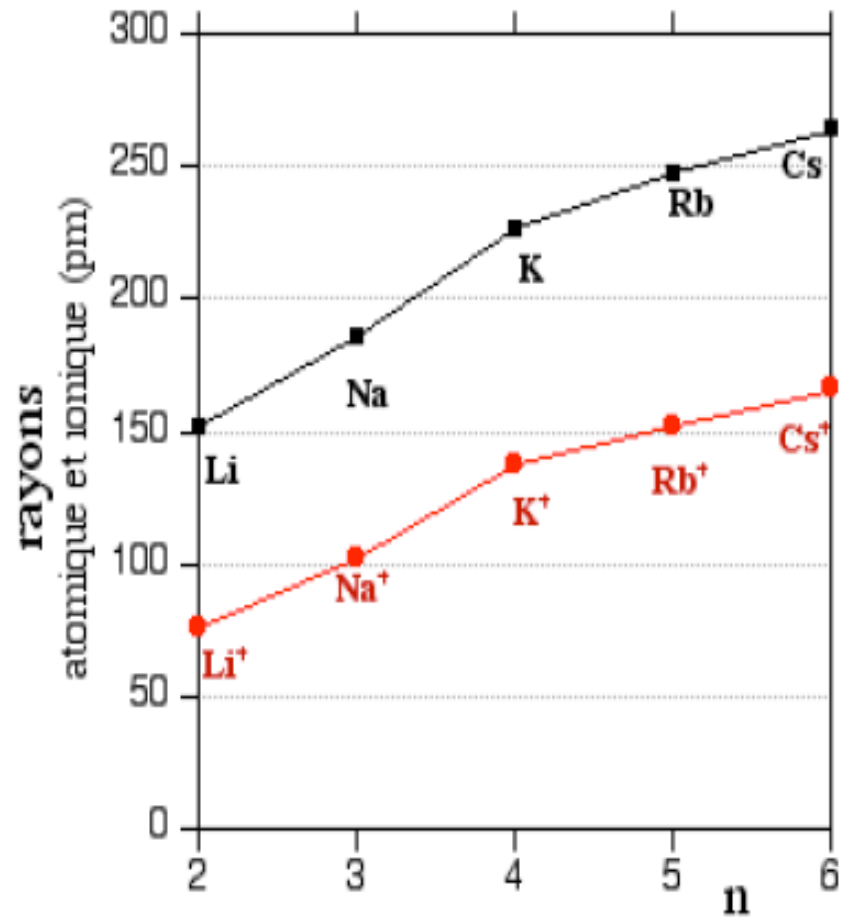
1- Dimensions

Rayon atomique covalent

- Demi distance entre les centres de noyaux d'une molécule diatomique homonucléaire

$$R = f(z)$$





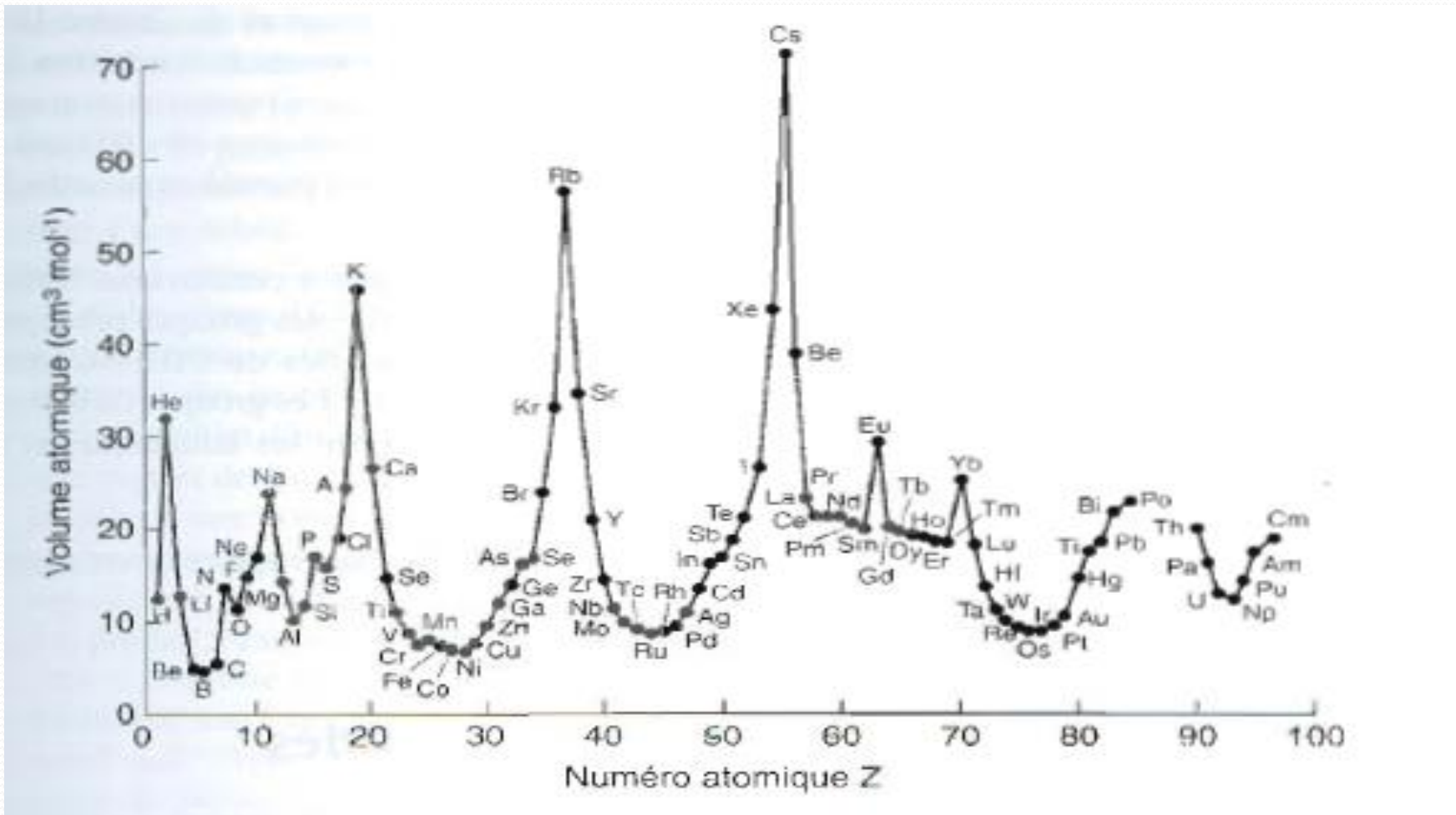
Volume atomique

- **Volume d'une mole d'atome d'un élément à l'état solide**
- **$V_{\text{at}} = M / d$**

M: masse molaire

d: densité

Volume at = f (z)



Rayon ionique

- **Cations**
- **Anions**
- **Séries isoélectroniques**

Nombre de coordination	Rapports limites des Rayons : R^+/R^-	Formes des structures
3	0,155 →	Plan triangulaire
4	0,225 →	Tétraédrique
6	0,414 →	Octaédrique
8	0,732 →	Cubique centré

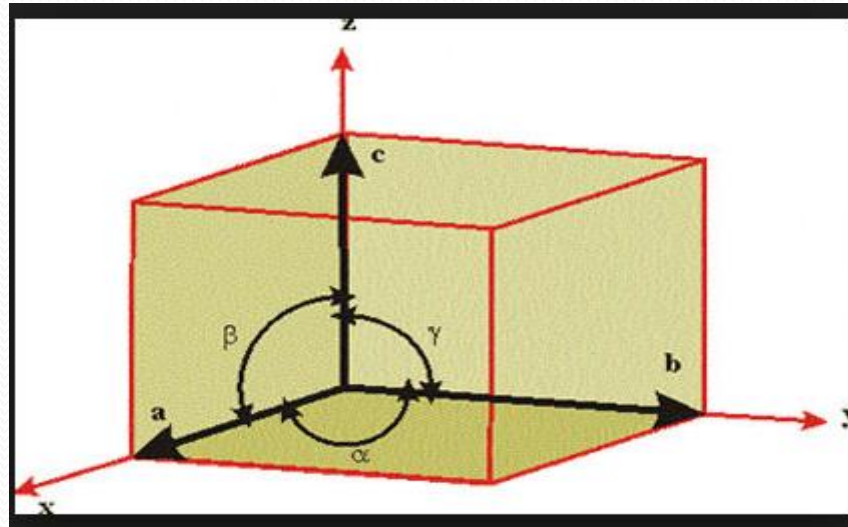
Li⁺ 0,59(4) 0,76(6)	Be²⁺ 0,27(4)	B³⁺ 0,12(4)			N³⁻ 1,71	O²⁻ 1,35(2) 1,38(4) 1,40(6) 1,42(8)	F⁻ 1,28(2) 1,31(4) 1,33(6)
Na⁺ 0,99(4) 1,02(6) 1,16(8)	Mg²⁺ 0,49(4) 0,72(6) 0,89(8)	Al³⁺ 0,39(4) 0,53(6)			P³⁻ 2,12	S²⁻ 1,84(6)	Cl⁻ 1,67(6)
K⁺ 1,38(6) 1,51(8) 1,59(10) 1,60(12)	Ca²⁺ 1,00(6) 1,12(8) 1,28(10) 1,35(12)	Ga³⁺ 0,62(6)			As³⁻ 2,22	Se²⁻ 1,98(6)	Br⁻ 1,96(6)
Rb⁺ 1,49(6) 1,60(8) 1,73(12)	Sr²⁺ 1,16(6) 1,25(8) 1,44(12)	In³⁺ 0,79(6) 0,92(8)	Sn²⁺ 1,22(8)	Sn⁴⁺ 0,69(6)		Te²⁻ 2,21(6)	I⁻ 20,6(6)
Cs⁺ 1,67(6) 1,74(8) 1,88(12)	Ba²⁺ 1,49(6) 1,56(8) 1,75(12)	Tl³⁺ 0,88(6)					

2- Propriétés thermiques

- **T° de fusion, T° d'ébullition**
- **Dépend essentiellement du volume atomique**

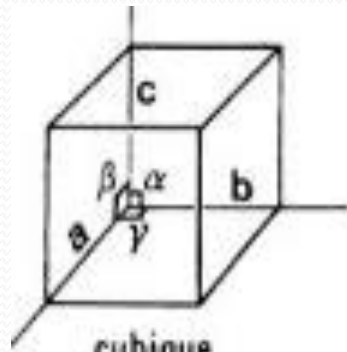
3- Structures

- **Maille élémentaire:** le plus petit motif qui, en se reproduisant régulièrement dans les 3 dimensions, forme le cristal
- Ensemble des mailles élémentaires: **Réseau cristallin**

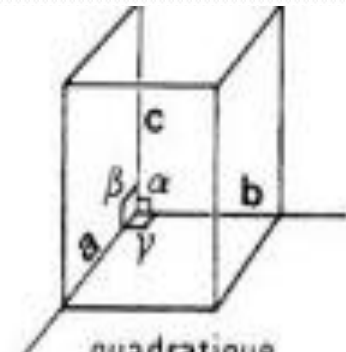


Disposition des atomes dans le parallépipède	Nom de la maille
Aux 8 sommets seulement	Simple ou primitive
Aux 8 sommets et au centre	centrée
Aux 8 sommets et au centre des faces	A faces centrées
Aux 8 sommets et aux centres de 2 faces parallèles	A base centrée

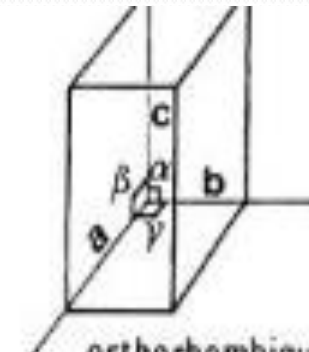
Systeme cristallin	Dimensions	Angles	Reseau de Brouais
Cubique	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simple, CC, CFC
Orthorhombique	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simple, OC, OFC, base centrée
Quadratique	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Primitif, centré
Monoclinique	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	Primitif, base centrée
Rhomboédrique	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	Primitif
Triclinique	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	Primitif
Hexagonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ \quad \gamma = 120^\circ$	Primitif



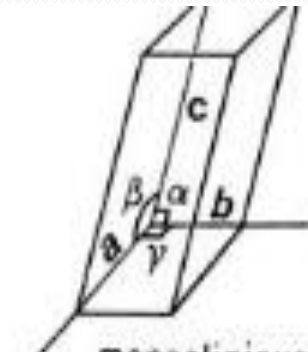
cubique
 $a=b=c$ $\alpha=\beta=\gamma=\frac{\pi}{2}$



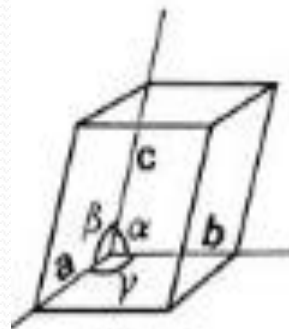
quadratique
 $a=b \neq c$ $\alpha=\beta=\gamma=\frac{\pi}{2}$



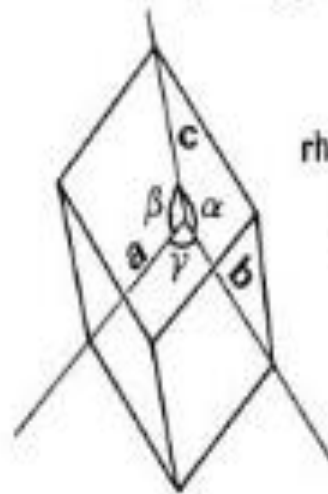
orthorhombique
 $a \neq b \neq c$ $\alpha=\beta=\gamma=\frac{\pi}{2}$



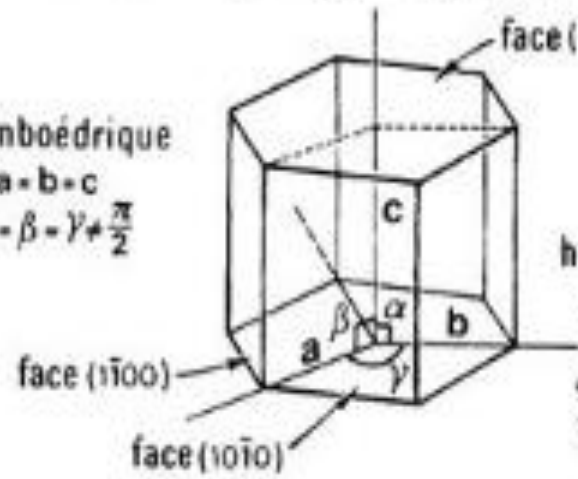
monoclinique
 $a \neq b \neq c$ $\alpha=\gamma \neq \frac{\pi}{2} \neq \beta$



triclinique
 $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq \frac{\pi}{2}$



rhomboédrique
 $a=b=c$
 $\alpha=\beta=\gamma \neq \frac{\pi}{2}$



hexagonal
 $a=b \neq c$
 $\alpha=\beta=\frac{\pi}{2}$
 $\gamma=2\pi/3$



Propriétés physico chimiques

Energie d'ionisation

- Energie nécessaire pour **extraire** l'électron le plus faiblement lié d'un atome gazeux isolé.
 - Dimension de l'atome
 - Charge du noyau
 - Effet écran des électrons
 - Type d'électrons impliqués

Tableau 5.5 Énergies des ionisations successives (kJ/mol) des éléments de la troisième période

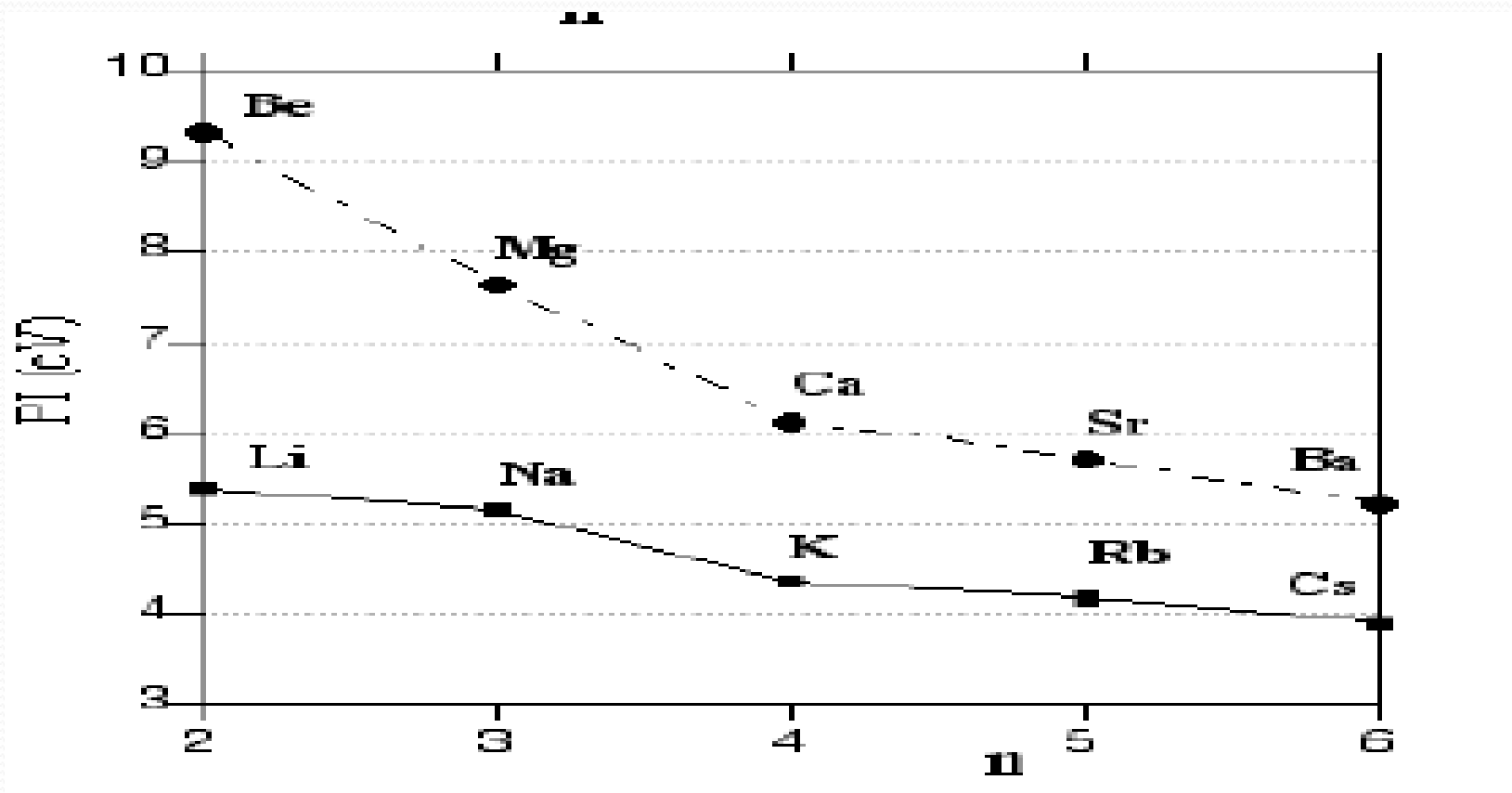


↑
diminution globale

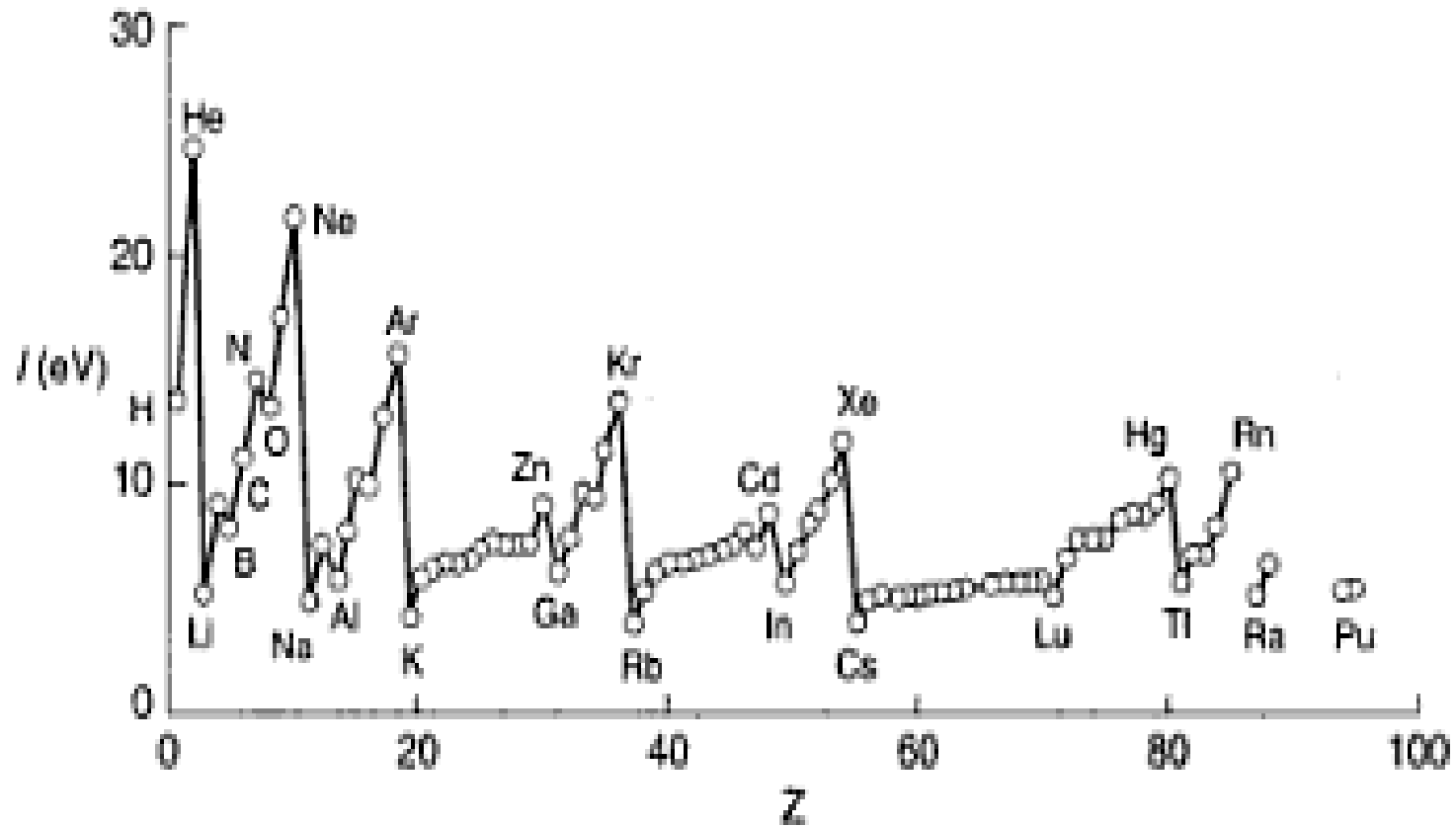
élément	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7
Na	495	4560					
Mg	735	1445	7730	électrons de cœur*			
Al	580	1815	2740	11 600			
Si	780	1575	3220	4350	16 100		
P	1060	1890	2905	4950	6270	21 200	
S	1005	2260	3375	4565	6950	8490	27 000
Cl	1255	2295	3850	5160	6560	9360	11 000
Ar	1527	2665	3945	5770	7230	8780	12 000

* Remarquons la différence considérable qui existe entre l'énergie d'ionisation nécessaire à l'arrachement d'un électron de cœur et celle nécessaire à l'arrachement d'un électron de valence.

→ augmentation globale →



$$E_i = f(z)$$

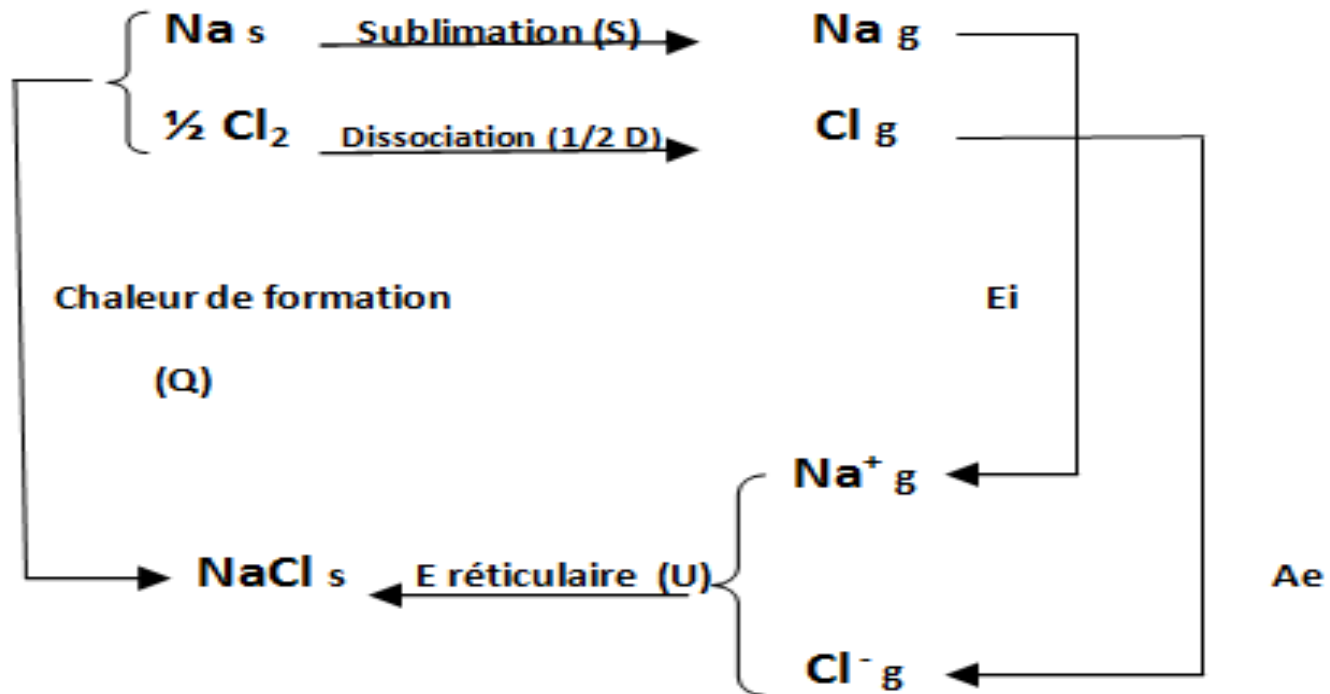


Affinité électronique



- Affinité (-): réaction endothermique
- Affinité (+): réaction exothermique
halogènes : la plus élevée
- Déterminée par le Cycle de Born -Haber (1919) .

Cycle de Born - Haber



$$-Q = +S + 1/2 D + Ei - Ae - U$$

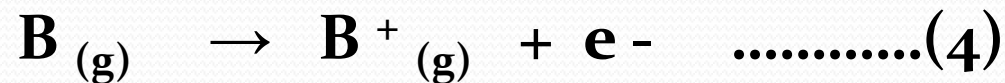
Electronégativité

- Pouvoir d'attraction d'un électron par un élément engagé dans une **combinaison chimique**
- Plusieurs échelles

Echelle de Mulliken: $\chi = \frac{1}{2} (E_i + A_e)$



- La réaction (1) est la somme des 2 réactions:



- L'énergie mise en jeu dans la réaction (1) est:

$$\Delta E = E_i B - A_e A$$

- Si la réaction (1) nécessite moins d'énergie que la réaction (2) :

$$E_i B - A_e A < E_i A - A_e B \quad \text{ou:} \quad E_i B + A_e B < E_i A + A_e A$$

Echelle de Pauling

- se base sur l'énergie de dissociation des molécules diatomiques

- $\Delta X_{A-B} = 0,208\sqrt{\delta}$

δ : Energie de résonance

$$\delta = E_{\text{Li réelle}} - E_{\text{li 100\% cov}}$$


$$E_{\text{li 100\% cov}} = \sqrt{E_{(A-A)} \times E_{(B-B)}}$$

Echelle de Allred et Rochow

- Force d'attraction entre un atome et un électron séparé du noyau de cet atome par une distance égale au rayon covalent de l'atome

$$F = Z_{\text{eff}} e^2 / r_A^2$$

$$X = 0,359 Z_{\text{eff}} / r_A + 0,744$$



Propriétés Métalliques et électriques

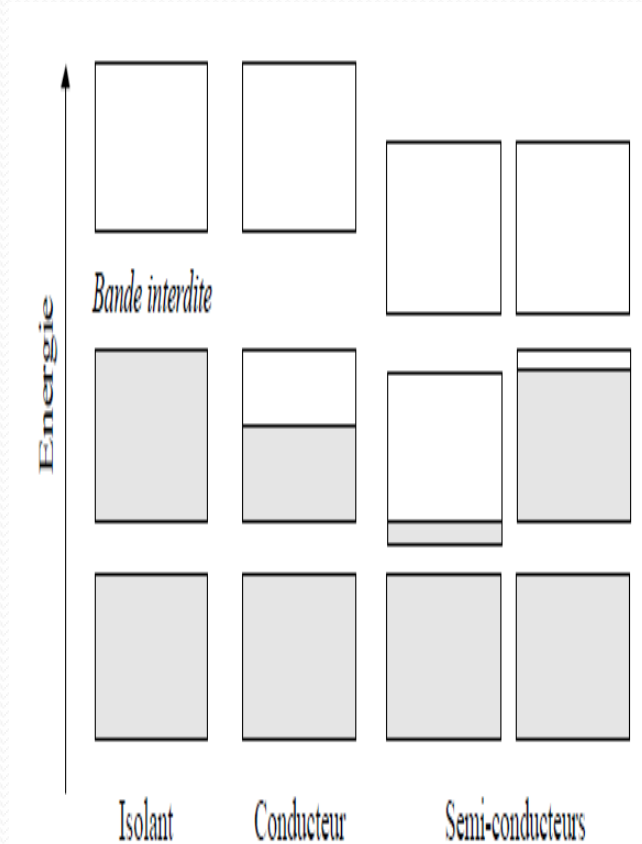
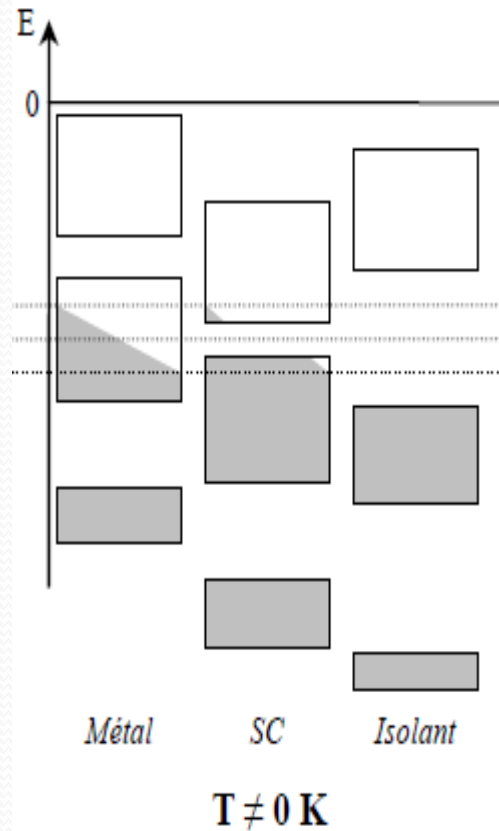
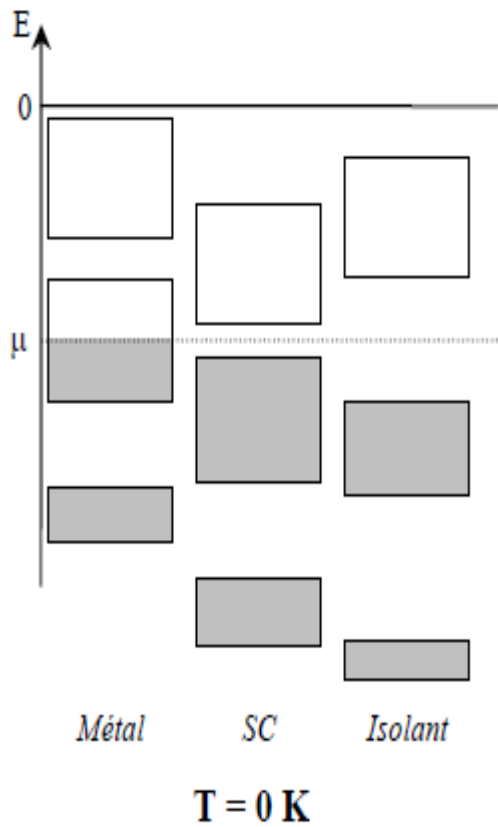
Classification

- **Métaux** → **conducteurs électrique**
- **Non métaux** → **isolants**
- **Semi métaux** → **semi conducteurs**
- - **Influence de la forme allotropique:
C diamant, C graphite**

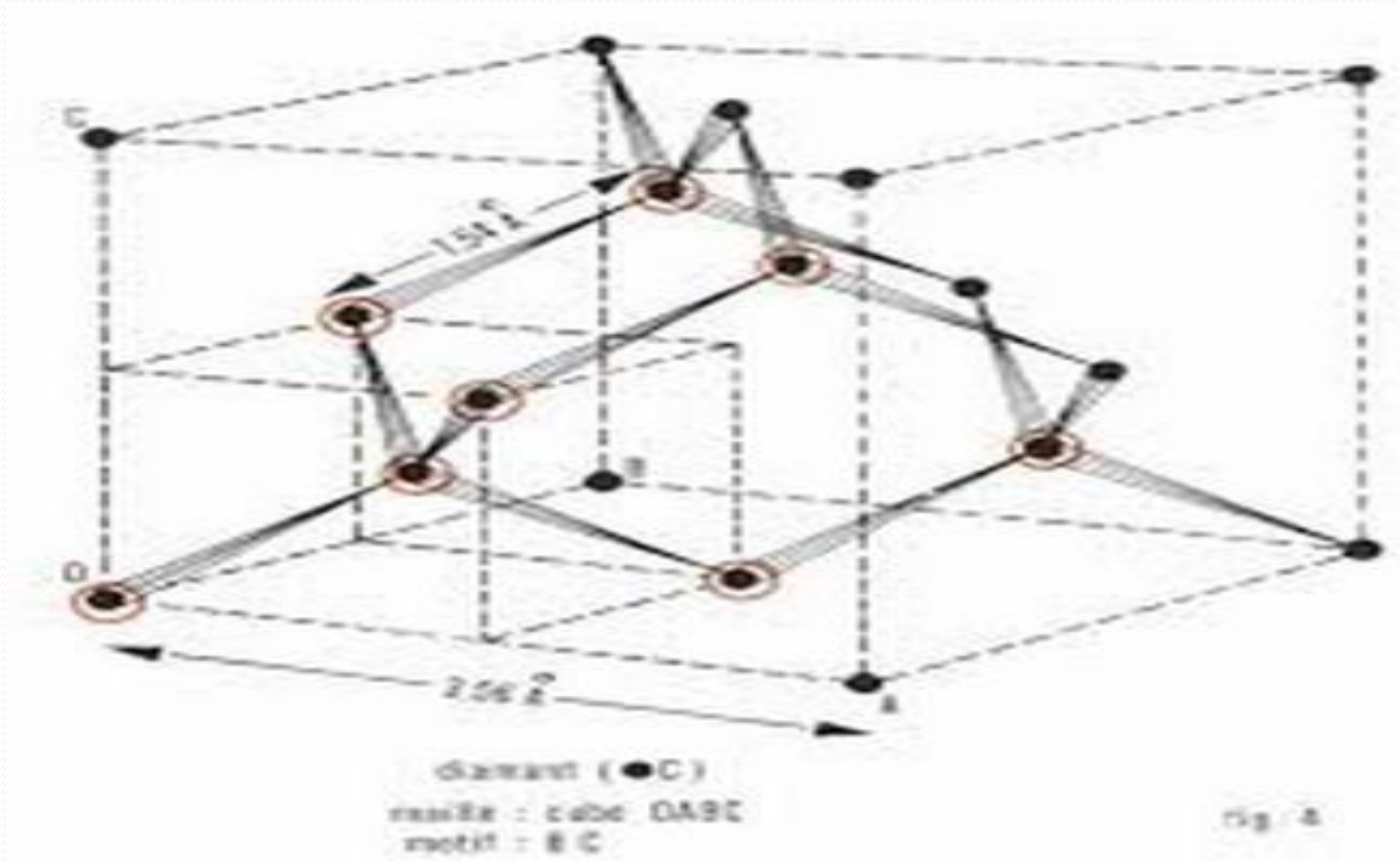
Bandes d'Énergie

- **Atome isolé** \longrightarrow **électrons occupent des niveaux d'énergie discrets.**
- **Dans un cristal** \longrightarrow **électrons occupent des bandes d'énergie permises séparées par des bandes interdites.**

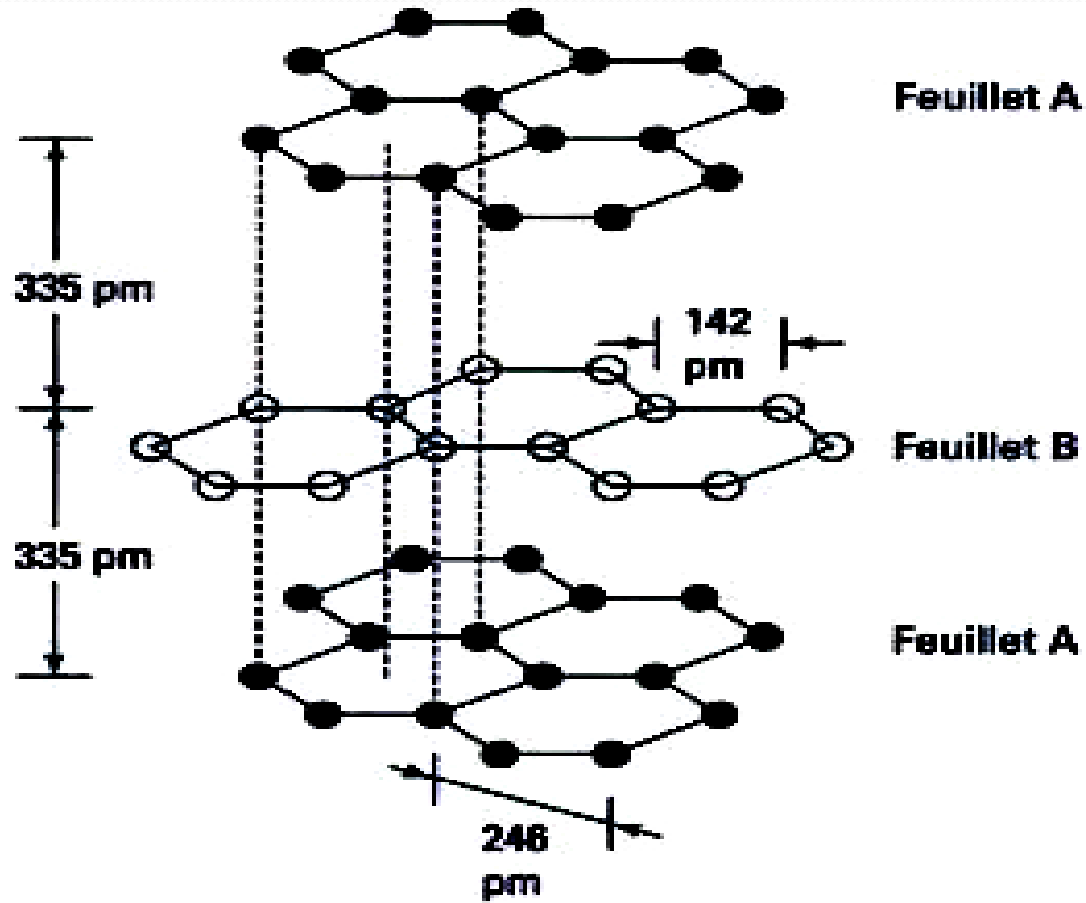
Bandes d'Énergie



Carbone Diamant: non métal



Carbone Graphite: semi métal





Propriétés Chimiques

1- Nombre d'oxydation

- **Charge (+) ou (-), totale ou partielle, portée par un élément engagé dans une combinaison chimique**
- **Certains éléments ont de nombreux états d'oxydation (parfois de signes opposés)**

2- Les Oxydes

Classification selon la réactivité:

Oxydes Basiques solubles dans l'eau :



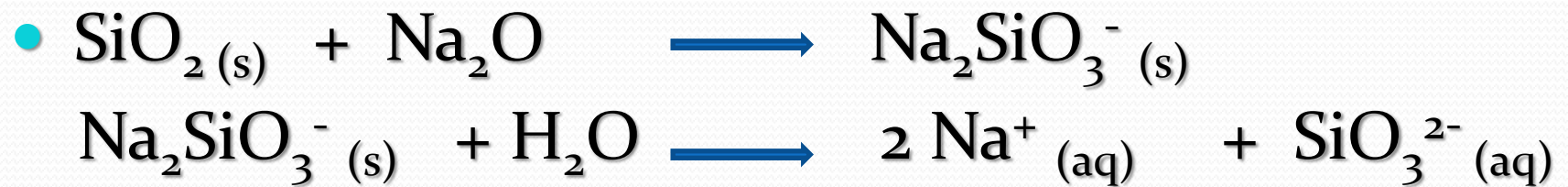
Oxydes Basiques insolubles dans l'eau :

- $\text{NiO}_{(s)} + 2 \text{HCl} \longrightarrow \text{Ni}^{2+}_{(aq)} + 2\text{Cl}^{-}_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{NiO}_{(s)} + 2 \text{H}^{+} \longrightarrow \text{Ni}^{2+}_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{MnO}_{(s)} + 2 \text{H}^{+} \longrightarrow \text{Mn}^{2+}_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}$

Oxydes acides soluble dans l'eau:



Oxydes acides insoluble dans l'eau:




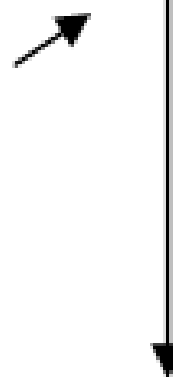
- **Oxydes amphotères:**



- **Oxydes neutres : CO**

Evolution dans le tableau

Acidité 

Basicité 

Li ₂ O	BeO	B ₂ O ₃	CO ₂	N ₂ O ₅
Na ₂ O Na ₂ O ₂	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₄ O ₁₀
KO ₂	CaO	Ga ₂ O ₃	GeO ₂	As ₂ O ₅
RbO ₂	SrO	In ₂ O ₃	SnO ₂	Sb ₂ O ₅
CsO ₂	BaO	Tl ₂ O ₃	PbO ₂	Bi ₂ O ₅

- **Oxydes d'un même élément:**

L'acidité augmente avec le degré d'oxydation

VO	Basique
V ₂ O ₃	Basique
VO ₂	Amphotère
V ₂ O ₅	Acide

Classification suivant la nature de la liaison (structure)

- Les oxydes des Métaux sont des **cristaux ioniques**
- Les non métaux forment des **molécules individualisées** ou **polymériques**
- Certains métaux (de transition) peuvent former des oxydes **stœchiométriques** ou **non stœchiométriques** exp NiO

Oxydes

1 H						2 He	
3 Li	4 Be	Moléculaires					10 Ne
11 Na	12 Mg	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	18 Ar
19 K	20 Ca	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	36 Kr
37 Rb	38 Sr	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	54 Xe
55 Cs	56 Ba	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	86 Rn
		81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	

Ioniques

Polymériques

3- Les Hydrures

Classification selon la réactivité

- **Hydrures basiques**



- **Hydrures acides**



- **Hydrures amphotères:** Be, Al, Ga, Sn ,Pb

Classification suivant la nature de la liaison (structure)

- **Hydrures covalents (moléculaire)**
IIIA – VII A
- **Hydrures Métalliques (interstitiels):**
Métaux de transition
Non stœchiométriques
- **Hydrures salins : I A- II A**