

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université des sciences et de la Technologie d'Oran « MOHAMMED BOUDIAF »

Faculté de Génie Mécanique



LMD 1 Année ST

Structure de la matière

Chimie 1 – Cours & Exercices



Nuage Electronique

Présenté par :

Dr BENDAOUJ Nadia

2015-2016

Sommaire

Chapitre I- Notion Fondamentales.....	5
I.1.1 La matière (qu'est-ce que la matière ?).....	5
I.1.2 Changements d'état de la matière.....	6
I.1.3 Classification de la matière.....	7
Le nombre de moles et le volume molaire.....	7
Unité de masse atomique (u.m.a).....	9
Masse molaire atomique et masse molaire moléculaire.....	9
Loi de conservation de la masse (lavoisier), réaction chimique.....	10
I.I.2 Aspect qualitatif et quantitatif de la matière.....	11
a) les solutions.....	12
b) Concentration.....	12
c) expressions de concentration.....	13
d) dilution d'une solution aqueuse.....	14
I.I.3 Loi des solutions diluées : loi de Raoult.....	14
a) Ebulliométrie (1 ^{ère} loi de Raoult).....	15
b) Cryométrie (2 ^{ème} loi de Raoult).....	15
Chapitre II – Principaux constituant de l'atome.....	16
II.1 Constituants de l'atome.....	16
II.2 Masse atomique.....	17
II.3 Présentation et caractéristiques de l'atome.....	18
a) Nucléides (= noyaux atomiques).....	18
b) Quantité de matière.....	19
c) Nombre d'Avogadro N_A (constante d'Avogadro).....	19
d) Masse molaire M	19
e) Unité de masse atomique (1 u).....	19
f) Isotopes d'un élément chimique.....	20
II.4 Lois de conservation.....	20
a) Défaut de masse.....	20
b) Energie de liaison.....	21

c) Fission nucléaire.....	22
d) Réaction en chaîne.....	23
e) Fusion nucléaire.....	23
 Chapitre III : Radioactivité -Réactions nucléaires.....	24
III.1- Définition.....	24
III.2 Types de radioactivité.....	25
a) Courbe de stabilité.....	25
b) Désintégration alpha.....	25
c) Désintégration β^-	26
d) Désintégration β^+	26
e) Désintégration γ	26
III.3 Loi de la désintégration radioactive.....	27
a) Loi de décroissance radioactive.....	27
b) Demi-vie T d'un radioélément.....	29
c) Relation entre T et λ	29
d) Interprétation de l'expérience avec la source de radon.....	30
e) Activité d'une source radioactive.....	30
 Chapitre IV Structure électronique de l'atome.....	32
IV.1 Spectre de L'atome d'Hydrogène.....	32
IV.2 Atome de Bohr	32
Formule générale.....	33
IV.3 Etat fondamental et état excité pour l'atome H.....	35
IV.4 Modèle quantique de l'atome.....	36
IV.5 Equation de Schrödinger.....	37
IV.6 Configuration électronique.....	38
a) Règle de KLECHKOWSKI.....	38
b) Règles de remplissage des Orbites atomique.....	38
c) Règle de HUND.....	39
 IV.7 Tableau Périodique.....	40

Chapitre V- Classification périodique	41
V.1 Classification périodique des éléments.....	41
V.2 Comparaison des rayons atomiques.....	43
V.3 Comparaison des énergies d'ionisation.....	44
V.4 Charge effective.....	45
V.4.1 Exemple de calcul de charge effective.....	45
V.5 Energie d'ionisation.....	46
V.5.1 Application.....	46
V.6 Affinité électronique.....	47
V.7 Electronegativité.....	47
Chapitre VI Liaison chimique.....	49
VI.1 Configuration électronique.....	49
VI.2 Formule de Lewis.....	49
VI.3 Liaison ionique.....	50
VI.4 Liaison Covalente.....	51
VI.5 Moment Dipolaire	52
Exercices.....	43

Chapitre I- Notion Fondamentales

I.1.1 LA MATIERE (QU'EST-CE QUE LA MATIERE ?)

La matière constituée tous ce qui possède une masse et qui occupe un volume dans l'espace.

La matière peut exister sous trois états physiques différents :

- **L'état solide** : possède un volume et une forme définis.
- **L'état liquide** : possède un volume définis mais aucune forme précise, il prend la forme de son contenant
- **L'état gazeux** : n'a ni volume ni forme définis, il prend le volume et la forme de son contenant.

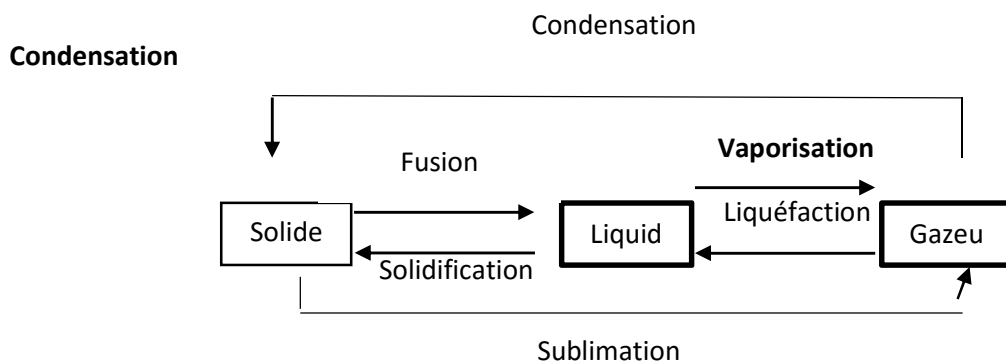
I.1.2 CHANGEMENTS D'ETAT DE LA MATIERE

Les changements d'état sont des **changements physiques** importants qui se produisent à des températures qui sont caractéristiques de la substance.

Exemple: Température de fusion de l'eau: 0 °C
Température de fusion du cuivre: 1084 °C

a) Changement physique

Un changement physique est une transformation qui ne change pas la nature d'une substance, il implique simplement un changement dans son état, sa forme ou ses dimensions physiques.



b) Changement chimique

Un changement chimique est une transformation qui change la nature d'une substance au moyen d'une réaction chimique,

Exemple : *Corrosion* : le fer donne la rouille.

Combustion : le bois brule pour donner de la cendre et des gaz.

On peut reconnaître un changement chimique à certains indices :

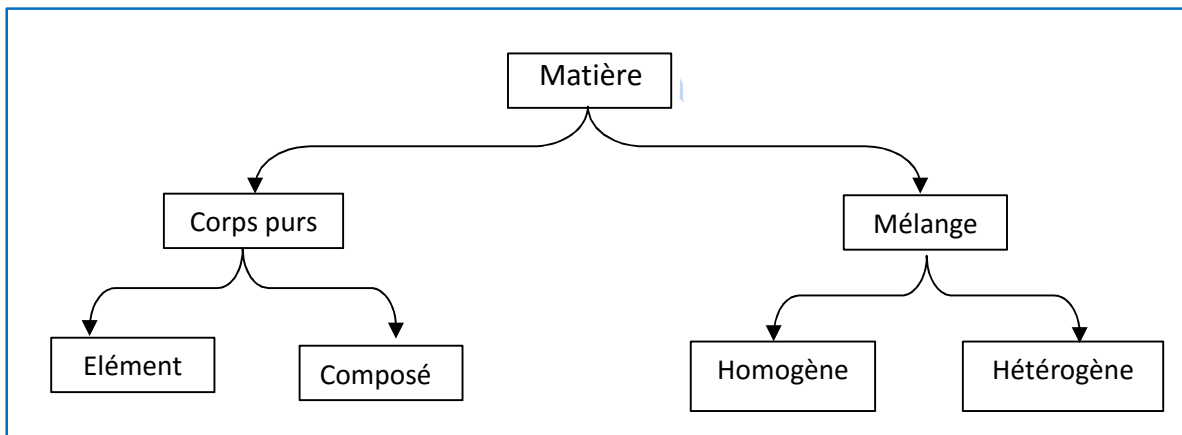
- Formation d'un gaz
- Formation d'un précipité
- Changement de couleur
- Production de l'énergie se forme de lumière et de chaleur.

Exercice

Déterminez si chacun des énoncés suivants exprime un changement physique ou chimique.

- A) La glace fond.
- B) Un morceau de papier brûle.
- C) Les feuilles des arbres changent de couleur à l'automne.
- D) Le chlorure de calcium se dissout dans l'eau.
- E) L'explosion d'un feu d'artifice.
- F) L'attraction d'un clou en fer par un aimant.
- G) Du lait qui surit.
- H) L'eau qui s'évapore.
- I) La fabrication d'un fil de cuivre à partir d'un lingot de cuivre.
- J) Une vitre qui casse.
- K) La combustion d'une chandelle.
- L) Une tomate qui mûrit au soleil.

I.1.3 CLASSIFICATION DE LA MATIERE



- Un **corps pur** est un corps constitué d'une seule sorte d'entité chimique (atome, ion ou molécule).

Un corps pur est soit un élément (corps pur simple ex : Cu, Fe, H₂, O₂...) soit un composé (constitué de plusieurs éléments ex : l'eau pure H₂O)

- Un **mélange** est un corps constitué de plusieurs sortes d'entités chimiques mélangé ensemble.

Les mélanges sont soit **Homogène** (l'eau et le sel...) soit **Hétérogène** (possède deux ou plusieurs phases distinctes exemple : l'eau et l'huile...)

Exemple : l'eau salée : constituée d'eau H₂O et de sel NaCl.

Unité fondamentales de mesure de la matière

Grandeur physique	Unité	Symbole
Longueur	mètre	m
Volume	Litre	L
masse	Kilogramme	Kg
Température	Kelvin	K°
Temps	Seconde	S
Courant électrique	Ampère	A
Quantité de matière	Mole	mol

Notion d'atome, molécules, mole et nombre d'Avogadro

- Les atomes s'associer pour donner des molécules, une **molécule** est par conséquent une union d'atomes.

La **mole** est l'unité de mesure de la quantité de matière.

Le nombre d'atomes contenus dans une mole est appelé le **Nombre d'Avogadro (N_A)**

$$N_A = 6,023 \cdot 10^{23}$$

$$1 \text{ mole (d'atomes, ions, molécules....)} = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ (atomes, ions, molécules....)}$$

LE NOMBRE DE MOLES ET LE VOLUME MOLAIRE

Le nombre de mole désigne la quantité de matière: la masse molaire est la

Définition :

Le nombre de mole est le rapport entre la masse du composé et sa masse molaire

$$n = \frac{m}{M}$$

n : nombre de moles

m : masse de composé en g

M : masse molaire du composé en g/mol

Cas des composés gazeux : Loi d'Avogadro-Ampère

Dans des conditions normales de température et de pression, une mole de molécules de gaz occupe toujours le même volume. Ce volume est **le volume molaire (V_M)** :

$V_M = 22.4$ l/mol dans ce

cas $n = V/22.4$

Exercice

1. Calculer le nombre de moles dans les cas suivants :

1/ 5 g d'or ($M_{Au} = 197\text{g/mol}$) 2/ 1 mg d'argent ($M_{Ag} = 107\text{g/mol}$)

3/ 1 kg de carbone ($M_C = 12\text{g/mol}$) 4/ 0,5 kg de silicium ($M_{Si} = 28\text{g/mol}$)

5/ 4,48 litres de gaz azote (N_2) ($M_N = 14\text{g/mol}$)

2. Calculer la masse (ou le volume) contenue dans :

1/ 0,2 moles de fer 2/ 4 moles de chlorure de sodium

3/ 30 moles de dihydrogène 4/ 0,6 moles d'acide sulfurique (H_2SO_4)

UNITE DE MASSE ATOMIQUE (u.m.a)

Les masses des particules (é, p, n...) ne sont pas de tout à notre échelle, on utilise donc une unité de masse différente au Kg mais mieux adaptée aux grandeurs mesurées, c'est l'**u.m.a** ou (u)

$$1 \text{ u.m.a} = 1/12 m_C = 1/N_A = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ Kg} \quad (m_C = 12/N)$$

MASSE MOLAIRE ATOMIQUE ET MASSE MOLAIRE MOLECULAIRE

- La masse molaire atomique : est la masse d'une mole d'atomes.
Ex : $M_C = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $M_O = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- La masse molaire moléculaire : est la masse d'une mole de molécules.
Ex : La masse molaire de l'eau H_2O : $M_{H_2O} = 2 \cdot 1 + 16 = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Exercice :

1. donne la masse molaire des molécules suivantes.

a. H_2S : _____ g/mol

b. $CaCl_2$: _____ g/mol

c. $Mg(OH)_2$: _____ g/mol

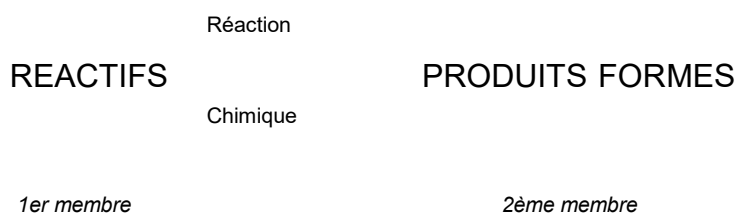
d. $Mg_3(PO_4)_2$: _____ g/mol

2. Calculer la quantité de matière contenue dans :
 - 1,6 g de méthane (CH₄) ; 1,7 g d'ammoniac (NH₃) ; 4,4 g de dioxyde de carbone (CO₂)
3. Quelle masse est contenue dans : 0,2 mole d'éthane (C₂H₆) et 2,5 moles d'acide sulfurique (H₂SO₄).

Loi de conservation de la masse (lavoisier), réaction chimique

«rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme»(Lavoisier 1743-1794)

En général, on peut écrire une équation qui montre le bilan d'une réaction chimique :



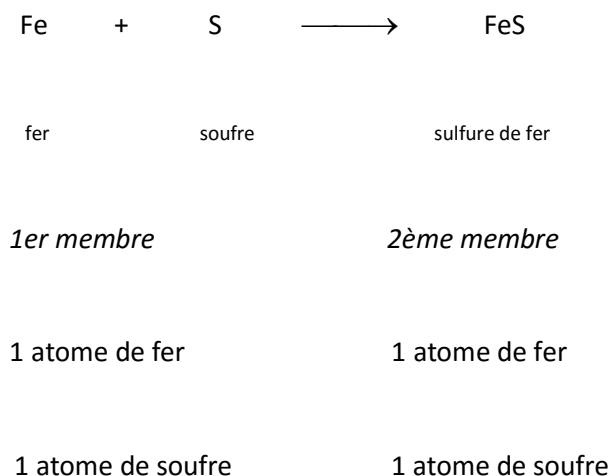
Cette équation bilan obéit à deux lois :

- ***Dans une réaction chimique, les éléments se conservent***
- ***Dans une réaction chimique, la masse des réactifs disparus est égale à la masse des produits formés (Loi de Lavoisier)***

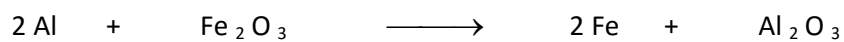
PREMIERE LOI :

Exemples :

1. Réaction fer / soufre



2. Réaction aluminium / oxyde de fer III



Aluminium

oxyde de fer III

fer

dioxyde d'aluminium

1er membre

2ème membre

2 atomes d'aluminium

2 atomes d'aluminium

2 atomes de fer

2 atomes de fer

3 atomes d'oxygène

3 atomes d'oxygène

I.I.2 Aspect qualitatif et quantitatif de la matière

a) LES SOLUTIONS

Une solution est un mélange homogène de deux ou plusieurs constituants. (en phase liquide, gazeuse, ou solide).

- Le **solvant** est toute substance liquide qui a le pouvoir de dissoudre d'autres substances.
- Le **soluté** est une espèce chimique (moléculaire ou ionique) dissoute dans un solvant.

Le solvant est toujours en quantité très supérieure au(x) soluté(s).

- Ce mélange homogène (solvant + soluté) est appelé **solution aqueuse** si le solvant est l'eau.

b) LES CONCENTRATIONS

Les concentrations sont des grandeurs avec unités permettant de déterminer la proportion des solutés par rapport à celle du solvant, Selon la nature de l'unité choisie, on distingue :

- 1) La molarité (C_M) : exprime le nombre de mole du soluté par litre de solution.
- 2) La molalité (C_m) : exprime la quantité de soluté contenue dans 1000g de solvant.
- 3) La normalité (N) : exprime le nombre d'équivalents grammes de soluté par litre de solution (ég.g/l).
 - L'équivalent-gramme est la quantité de substance comprenant une mole des particules considérées (H^+ , OH^- , e^- , etc.)
- 4) Le pourcentage % d'une solution indique la masse de substance pour 100g de solution. Il s'agit d'une comparaison poids-poids
- 5) La fraction molaire (x_i) : indique le rapport entre le nombre de moles et le nombre total de mole de la solution.

Remarques

- Une solution est dite molaire pour un soluté donné lorsque $C_M = 1 \text{ mol.L}^{-1}$
- Elle est dite décimolaire lorsque $C_M = 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$
- Elle est dite millimolaire lorsque $C_M = 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$

➤ Lorsque les substances sont présentes sous forme de trace dans une solution, il est courant d'utiliser les notions de ppm ppb et ppt.

- Parties par million = ppm = 1 mg/L
- Parties par billion = ppb = 1 µg/L

Dans une solution, on a : $\sum X_i = 1$ (La somme des fractions molaires de toutes les composantes de la solution est toujours égale à 1).

c) EXPRESSIONS DE CONCENTRATION

Concentration Molaire Ou Molarite Unités : mol/L ou M (mmol/mL = mol/L)	$CM = \frac{n(mol)}{V(L)}$ avec $n = m/M$
Concentration Molale Ou Molalite	$C_m = \frac{n \text{ soluté (mol)}}{V \text{ solvant}}$
Concentration Normale Ou Normalite Unité : éq.g/L ou N	
Concentration Massique	$= n \cdot M / V = C_M \cdot M$
Masse Volumique (g/m³) Densité (d)	$\rho = m \text{ soluté} / V \text{ soluté}$ $\rho_{(eau)} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$ $d_{(liquide)} = (\rho_{(liquide)}) / (\rho_{(eau)})$
Fraction Molaire	$n \text{ soluté} / (n \text{ soluté} + n \text{ solvant})$
Fraction Massique = Pourcentage	$(m \text{ soluté} / m \text{ solution}) \cdot 100$
Fraction Volumique	$Fv = (V \text{ soluté} / V \text{ solvant}) \cdot 100$

d) DILUTION D'UNE SOLUTION AQUEUSE

La dilution d'une solution aqueuse consiste à en diminuer la concentration par ajout de solvant (eau). La solution initiale de concentration supérieure est appelée **solution-mère**.

La solution finale de concentration inférieure est appelée **solution-fille (solution diluée)**. Lors d'une dilution, il ya conservation de la quantité de matière de soluté de telle sorte que l'on peut écrire :

$$n_i = n_f \Rightarrow C_i V_i = C_f V_f$$

Avec n : quantité de matière ; V : volume et C : concentration

i : initial c'est-à-dire relatif à la solution-mère.

f : final c'est-à-dire relatif à la solution diluée.

Généralement, on connaît la valeur des concentrations ; le problème étant de déterminer celle des volumes : V_i : volume de solution-mère à prélever et V_f : volume de solution diluée correspondant à celui de la fiole jaugée.

Execice

On dispose de 100 mL de solution aqueuse de diiode (I_2) de concentration $5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

- Quel volume de solution-mère utiliser pour procéder à la préparation de 50,0 mL de solution diluée de diiode de concentration $1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$

I.1.3 LOI DES SOLUTIONS DILUEES : LOI DE RAOULT

CRYOMETRIE, EBULLIOMETRIE

Ces techniques permettent de mesurer des masses molaires du corps dissous ainsi que la concentration de la solution.

a) ÉBULLIOMETRIE (1^{ère} Loi de Raoult)

C'est l'augmentation de la température d'ébullition du solvant entre solvant pur (T°) et la solution diluée (T).

$$\Delta T_e = T - T^\circ > 0 \text{ (car } T > T^\circ \text{)}$$

$$\Delta T_e = (K_e \cdot n \text{ soluté} / m \text{ solution}) / m_{\text{solution}} = m_{\text{soluté}} + m_{\text{solvant}} = m_{\text{solvant}}$$

$$m(m_{\text{soluté}})$$

$$(m_{\text{soluté}} \ll m_{\text{solvant}})$$

$$\Delta T_e = K_e \cdot C_m = K_e \cdot m_{\text{soluté}} / (M_{\text{soluté}} \cdot M_{\text{solvant}}) \text{ (mol/Kg)}$$

K_e : Constant ebulliométrique du solvant

C_m : La molalité de la solution

b) CRYOMETRIE (2^{ème} Loi de Raoult)

C'est la diminution de la température de solidification (congélation) du solvant entre solvant pur (T°) et la solution diluée (T).

$$\Delta T_f = T - T^\circ < 0 \text{ (car } T < T^\circ \text{)}$$

$$\Delta T_f = K_f \cdot C_m = K_f \cdot m_{\text{soluté}} / (M_{\text{soluté}} \cdot M_{\text{solvant}}) \text{ (mol/Kg)}$$

K_e : Constant cryométrie du solvant

Chapitre II – Principaux constituant de l'atome

II.1 Constituants de l'atome:

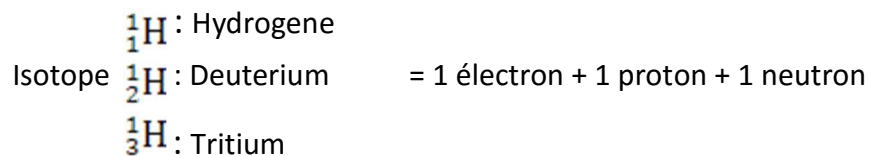
- l'atome est constitué essentiellement de trois particules élémentaires. C'est une entité électriquement neutre. Il renferme un nombre donné de protons et de neutrons appelés aussi nucléons (constituants du noyau), entourés d'électrons.

La neutralité électrique est due à l'égalité du nombre de charges nucléaires (protons) et des électrons. Ce nombre, appelé **numéro atomique** est désigné par Z.

- Les atomes d'un élément naturel peuvent différer par le nombre de neutrons. On dit alors que l'élément présente des **isotopes**.

Les isotopes sont des atomes d'un même élément dont les noyaux présentent le même nombre de protons et un nombre différent de neutrons.

Exemples : L'hydrogène naturel est constitué de trois isotopes.



- La masse atomique est caractérisée par le nombre A, appelé **nombre de masse** qui est la somme des N neutrons et de Z protons exprimée en u.m.a.

$$A = Z + N$$

- Les neutrons étant électriquement neutres, ne jouent aucun rôle dans le comportement chimique. Par conséquent les propriétés chimiques des différents isotopes d'un élément sont identiques.

- Tous les éléments chimiques sont symbolisés par ${}^Z_A\text{X}$

Constituants de quelques éléments

Eléments	Nombre de protons Z	Nombre de masse A	Nombre de neutrons N= A-Z	Nombre d'électrons Z
${}^{19}_9\text{F}$	9	19	10	9
${}^{16}_8\text{O}$	8	16	8	8
${}^{17}_8\text{O}$	8	17	9	8
${}^{18}_8\text{O}$	8	18	10	8

II.2 Masse atomique

La masse atomique étant très faible, et afin d'obtenir des quantités de matières manipulables dans les laboratoires avec les techniques de mesure (balance par exemple), il est pratique de fixer un nombre élevé d'atomes ou de molécules N , qui sera le même pour tous les corps.

- Le nombre d'atomes ${}^{12}_6\text{C}$ contenu dans 12 grammes de cet isotope est pris

- comme nombre N . Il est égale à $6.023 \cdot 10^{23}$ et appelé **nombre d'Avogadro**.

Atome	—————>	atome – gramme ou mole d' atomes
Molécule	—————>	mole
ion	—————>	mole d'ions ou ion-gramme
électron	—————>	mole d'électrons ou électron-gramme

- L'unité de masse atomique (u.m.a) est égale au $\frac{1}{12}$ de la masse de l'isotope ${}^{12}_6\text{C}$ de l'atome de carbone.

- Dans 12g de carbone il y a N atomes ${}^{12}_6\text{C}$. L'unité de masse atomique

Correspond à

$$1 \text{ u.m.a} = \frac{1}{12} \times \frac{12}{N} = \frac{1}{N} \text{ g} = 1,660302 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

- La masse atomique d'un élément de N neutrons et de Z protons est égale à

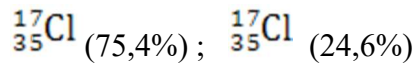
$$N (N+Z) \times \frac{1}{N} = (Z+N) = A(\text{u.m.a.})$$

- Si l'élément présente plusieurs isotopes, sa masse expérimentale est une moyenne pondérée de la masse atomique des différents isotopes.

$$M = \frac{\sum_i a_i M_i}{100}$$

M_i et a_i = masse atomique et abondance relative de l'isotope i

Exemple : le chlore est constitué de deux isotopes



$$M \text{ Cl} = \frac{(35 \times 75,4) + (37 \times 24,6)}{100} = 35,5 \text{ g}$$

II.3 - Présentation et caractéristiques de l'atome

a) Nucléides (= noyaux atomiques)

Les nucléides renferment les nucléons: les protons (portant une charge élémentaire positive e) et les neutrons (charge nulle).

Symbole : $\boxed{{}_Z^A X}$

A est le nombre de masse et représente le nombre de nucléons.

Z est le nombre atomique et représente le nombre de charges positives élémentaires ou le nombre de protons.

N est le nombre de neutrons.

On a : $\boxed{N = A - Z}$

Exemples :

↻ He renferme 4 nucléons : 2 protons et $4 - 2 = 2$ neutrons.

${}_{92}^{238}\text{U}$ renferme 92 protons et $238 - 92 = 146$ neutrons.

	Neutron	Proton	Electron
Charge (C)	0	$e = 1,60 \cdot 10^{-19}$	-e
Masse (kg)	$1,674 \cdot 10^{-27}$	$1,672 \cdot 10^{-27}$	$9,109 \cdot 10^{-31}$
Masse (en u)	1,008 665	1,007 277	0,000 549
Energie au repos (MeV)	939,57	938,28	0,511 003

b) Quantité de matière

Elle caractérise la quantité de matière contenue dans un corps.

Unité S. I. : la mole (mol)

1 mol est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0,012 kilogramme de carbone 12.

c) Nombre d'Avogadro N_A (constante d'Avogadro)

Le nombre d'Avogadro N_A constitue le nombre d'entités contenues dans une quantité de matière de 1 mole, donc

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}$$

Les entités élémentaires doivent être spécifiées et peuvent être des atomes, des molécules, des ions, des électrons, d'autres particules ou des groupements spécifiés de telles particules.

d) Masse molaire M

Elle constitue la masse d'une mole d'atomes ou de molécules, donc de $6,02 \cdot 10^{23}$ atomes ou molécules.

Unité : $1 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$

A partir de la masse molaire on peut calculer la masse d'un atome, m_0 :

$$m_0 = \frac{M}{N_A}$$

Application : calcul du nombre d'atomes dans un échantillon de masse m :

$$N = \frac{m}{m_0} = \frac{m N_A}{M}$$

e) Unité de masse atomique (1 u)

1 u est la masse correspondant à $1 / 12$ de la masse d'un atome de ¹²C

12 g de ^{12}C renferment une quantité de matière de 1 mole et se composent donc de $6,02 \cdot 10^{23}$ atomes. On obtient :

$$1 \text{ u} = \frac{1 \text{ M}}{12 N_A} = \frac{1}{12} \cdot \frac{0,012 \text{ kg mol}^{-1}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 1,661 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

f) Isotopes d'un élément chimique

Noyaux d'un même élément chimique, mais renfermant des nombres de neutrons différents.

Exemples : * $^{35}_{17}\text{Cl}$ contient 17 protons et 18 neutrons, constitue 75% du chlore naturel

II.4- Lois de conservation

Dans toutes les réactions nucléaires (radioactivité naturelle ou artificielle, bombardement par des particules, fission, fusion,...), un noyau atomique est transformé, on observe que les grandeurs suivantes sont conservées :

- la somme énergie-masse;
- le nombre de nucléons;
- la charge électrique;
- la quantité de mouvement;
- le moment cinétique (grandeur caractérisant l'état de rotation).

a) Défaut de masse

Dans les réactions nucléaires, la masse n'est pas conservée, mais la somme **masse plus équivalent en masse de l'énergie** est conservée.

Le défaut de masse est la différence entre la masse des particules initiales et celle des particules finales.

On doit tenir compte de la masse au repos des particules : $E_0 = m_0 c^2$.

Exemple : réaction d'annihilation

1 électron et 1 positron s'annihilent et donnent naissance à deux photons de même énergie partant dans des sens diamétralement opposés.

L'énergie des deux particules est : $2 E_0 = 2 m_0 c^2 = 2 \cdot 511 \text{ keV}$.

L'énergie de chaque photon est donc 511 keV.

Cette radiation est caractéristique dans les réactions d'annihilation. (Application : tomographe à positrons)

b) Energie de liaison

Les noyaux atomiques doivent leur cohésion à la **force d'interaction forte** entre nucléons. C'est une force d'attraction à courte portée. Elle est de loin plus importante que les forces électriques répulsives.

Défaut de masse : On constate que la somme des masses des A nucléons composant un noyau atomique est toujours supérieure à la masse du noyau ${}^A_Z\text{X}$:

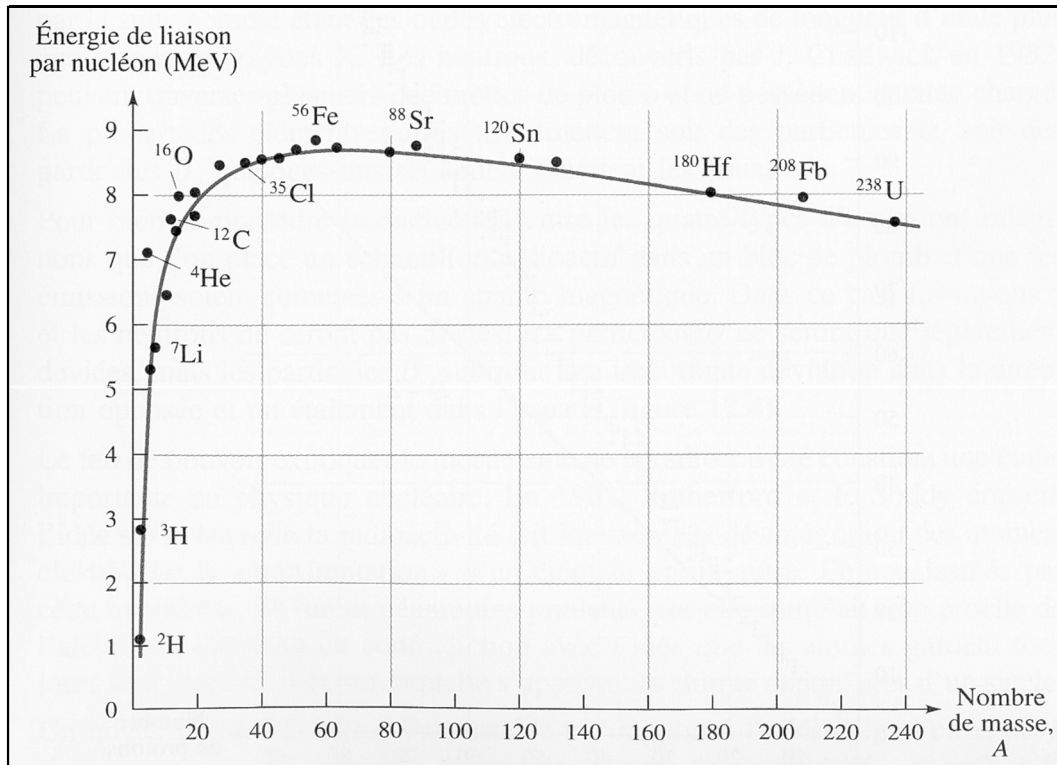
$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_x > 0$$

Pour disperser tous les nucléons du noyau, il faut donc fournir au noyau l'énergie $\Delta m \cdot c^2$. Cette énergie représente **l'énergie de liaison E_L du noyau**:

$$E_L = \Delta m \cdot c^2$$

E_L est aussi l'énergie qui est libérée si on construit un noyau atomique à partir de ses composantes.

Courbe de l'énergie de liaison par nucléon ($\frac{E_L}{A}$):



d) Fission nucléaire

Exemple de fission nucléaire : un neutron lent peut s'introduire dans un noyau d'uranium-235 et y rester. Le noyau excité se scinde en deux fragments suivant une multitude de possibilités dont l'une est : $^1_0\text{n} + ^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{94}_{38}\text{Sr} + ^{139}_{54}\text{Xe} + 3\ ^1_0\text{n}$

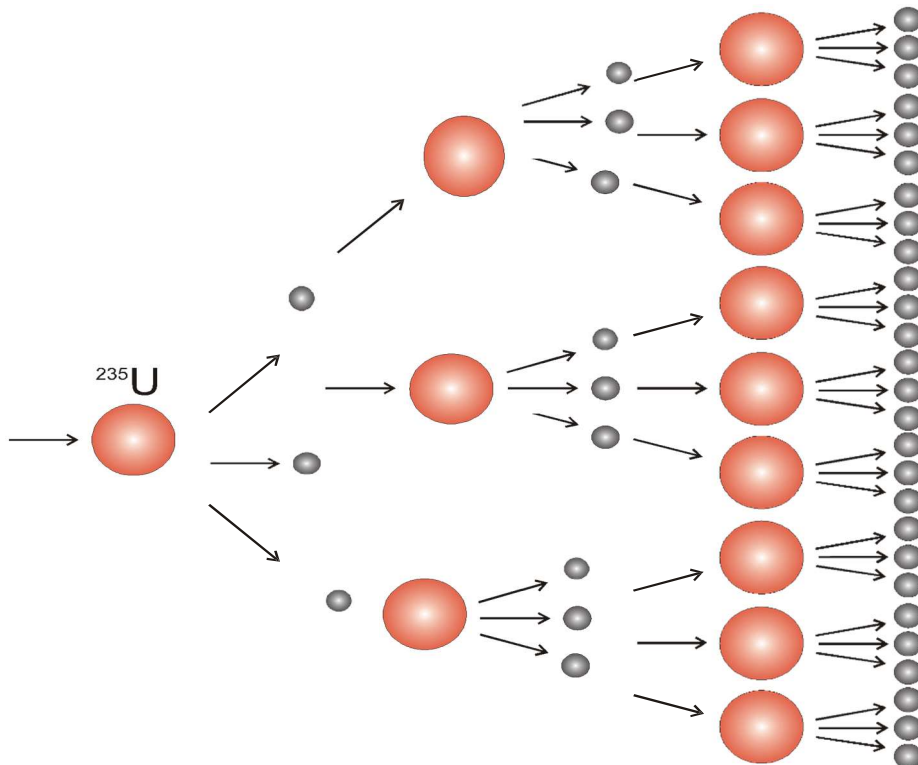
Les neutrons sortant de cette réaction sont des neutrons rapides et peuvent donner lieu à une fission nucléaire si on les ralentit (neutrons thermiques).

L'énergie libérée est :

$$\Delta E = E_{\text{réactifs}} - E_{\text{produits}} = [(m_{\text{U}} + m_{\text{n}}) - (m_{\text{Xe}} + m_{\text{Sr}} + 3m_{\text{n}})]c^2$$

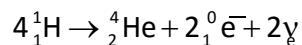
d) Réaction en chaîne

Lorsqu'on est en présence d'un nombre de noyaux U-235 assez important, les 2 ou 3 neutrons libérés dans la réaction précédente peuvent donner lieu à 2 ou 3 nouvelles fission de U-235 et ainsi de suite. Il s'ensuit une réaction en chaîne où le nombre de fissions augmente rapidement en fonction du temps.



e) Fusion nucléaire

* L'énergie solaire a pour origine la fusion de l'hydrogène selon le **cycle de Bethe** dont le bilan est :



L'énergie libérée est :

$$\Delta E = E_{\text{réactifs}} - E_{\text{produits}} = [4m_p - (m_{\text{He}} + 2m_e)]c^2$$

$$m_p \cdot c^2 = 938,27 \text{ MeV} ; m_{\text{He}} = 3727,4 \text{ MeV} ; m_e = 0,511 \text{ MeV} : \quad \Delta E = 24,7 \text{ MeV.}$$

Chapitre III : Radioactivité - Réactions nucléaires

III.1- Définition

On appelle radioactivité la transformation de noyaux atomiques au cours desquelles un rayonnement est émis.

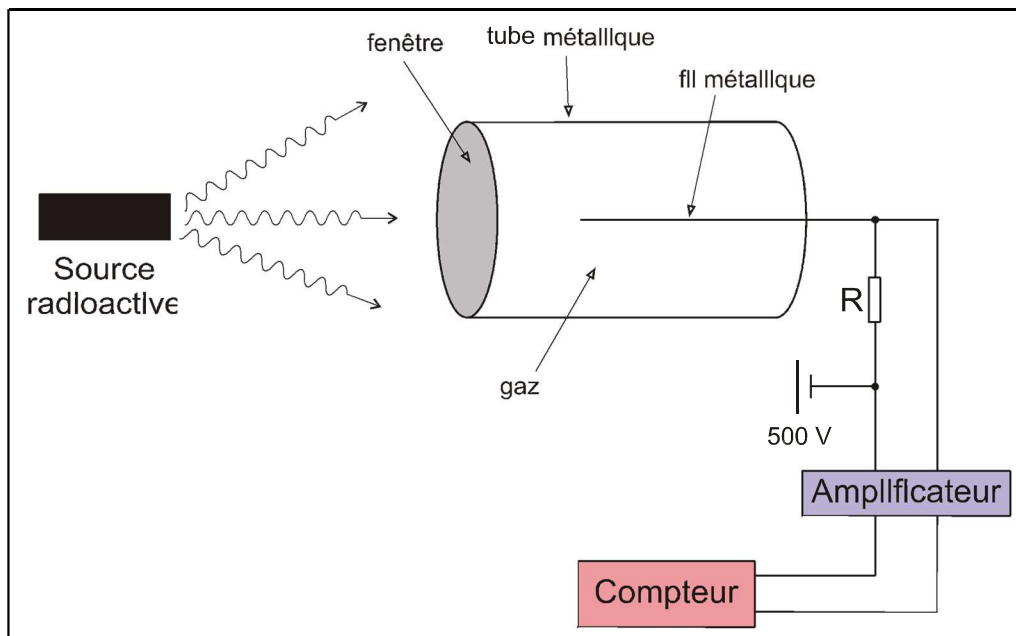
Ces rayonnements sont par exemple

- des rayons gamma (γ) constitués de photons de très grande énergie (très grande fréquence);
- des particules matérielles: rayons alpha, composés de noyaux ${}^4_2\text{He}$ (ou ${}^4_2\alpha$);
rayons bêta, composés d'électrons ${}^0_{-1}\text{e}$ ou (${}^0_{-1}\beta^-$)
ou de ${}^0_1\bar{\text{e}}$ positrons (= antiélectrons) (${}^0_1\beta^+$)
neutrons ${}^1_0\text{n}$
protons ${}^1_1\text{P}$

La **radioactivité naturelle** est celle qui existe naturellement dans la nature.

La **radioactivité artificielle** est celle obtenue par bombardement de noyaux atomiques par des particules (neutrons, protons, particules α , électrons, positrons, ...).

Détecteur de rayonnement radioactif: le compteur Geiger-Müller



Le principe de fonctionnement est basé sur l'effet ionisant du rayonnement radioactif. Chaque ionisation à l'intérieur du tube provoquée par le rayonnement fait apparaître un courant électrique de courte durée à travers le gaz et la résistance R. Aux bornes de celle-ci naît alors une impulsion de tension qui est amplifiée et envoyée vers un hautparleur ("bip-bip") et un compteur d'impulsions.

Malheureusement un compteur Geiger-Müller ne renseigne pas sur la nature et l'énergie des rayonnements.

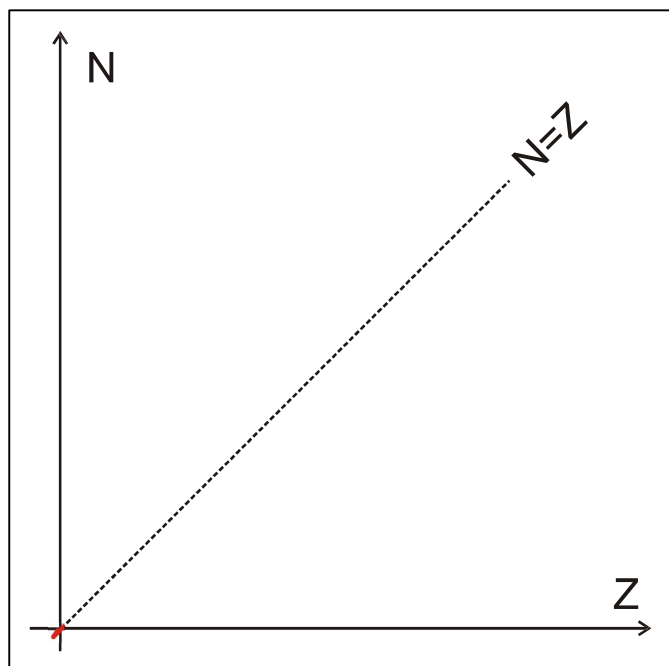
III.2 Types de radioactivité

a) Courbe de stabilité

La courbe de stabilité des nucléides indique l'allure du nombre de neutrons en fonction du nombre de protons pour les quelque 1500 nucléides stables connus.

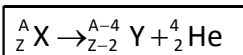
En principe les noyaux stables entourent la courbe de près tandis que les noyaux radioactifs s'en écartent davantage.

Les noyaux ont tendance à se rapprocher de la courbe de stabilité par l'émission de rayonnements radioactifs.



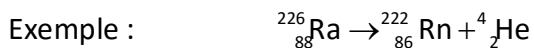
b) Désintégration alpha

Certains noyaux lourds ($N+Z > 200$) émettent des particules alpha (ou noyaux d'hélium). Equation bilan :

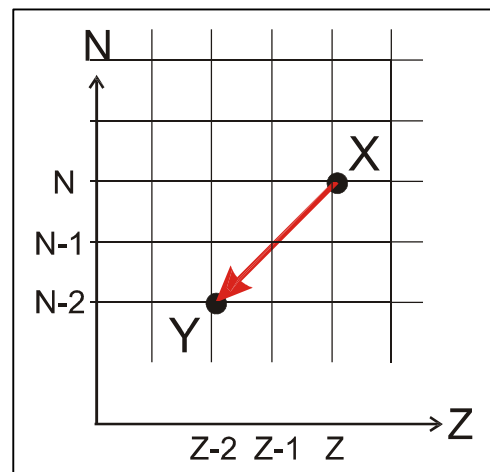


Le nucléide X est appelé "noyau père", le nucléide Y "noyau fils".

X et Y correspondent à des éléments chimiques différents.

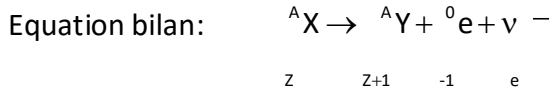
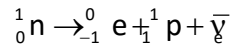


Le noyau fils est dans un état excité et émet un photon gamma.

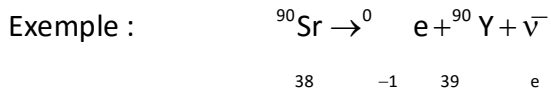
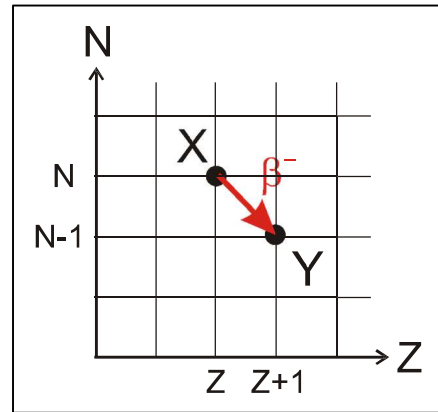


c) Désintégration β^-

Les noyaux avec un surplus de neutrons (situés à gauche de la courbe de stabilité) émettent un électron qui provient de la décomposition d'un neutron en un proton et un *antineutrino électronique* suivant l'équation :



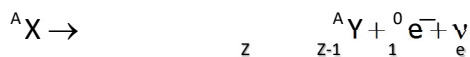
X et Y correspondent à des éléments chimiques différent



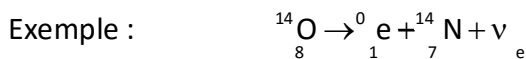
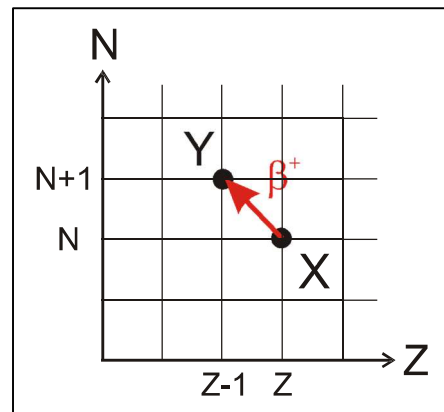
L'antineutrino garantit la conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie.

d) Désintégration β^+

Les noyaux avec trop de protons (ou trop peu de neutrons, donc situés à droite de la courbe de stabilité) émettent un positron qui provient de la décomposition d'un proton en un positron, un neutron et un *neutrino électronique*:

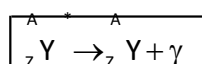


X et Y correspondent à des éléments chimiques différents. La particule notée ${}^0_1e^-$ est un positron (ou positon ou antiélectron) : de même masse que l'électron mais de charge opposée.



e) Désintégration γ

Après une transformation radioactive du noyau, le noyau fils est dans un état excité (*) et se désexcite en émettant un (ou plusieurs) photons de haute énergie (gamma).



Remarques

- Toutes les désintégrations sont accompagnées d'une libération d'énergie !
- Il existe d'autres types de radioactivité : émission de protons, neutrons, ...
- Les neutrinos et antineutrinos électroniques sont des particules de charge électrique nulle, de masse au repos très petite, et n'interagissant que très peu avec la matière.

III.3 - Loi de la désintégration radioactive

La désintégration radioactive est un **phénomène aléatoire** : chaque désintégration est un événement indépendant et on ne peut pas prévoir à quel moment un noyau donné va subir une désintégration. Lorsqu'un noyau se désintègre, il est transformé en un autre nucléide, qui peut être radioactif ou non.

La désintégration d'un nucléide est indépendante des conditions physiques (température, pression, ...) dans lequel il se trouve et de son état chimique (libre ou combiné en molécules).

a) Loi de décroissance radioactive

Le but est de déterminer l'évolution statistique du **nombre N de nucléides radioactifs présents** dans un échantillon. Il s'agit d'établir l'équation mathématique de la diminution de N en fonction du temps t.

Condition initiale : à l'instant $t = 0$, l'échantillon comprend N_0 noyaux radioactifs.

A l'instant t, il y en a N. A l'instant $t+dt$ il n'y en a plus que $N+dN < N$ ($dN < 0$).

$-dN$ est le **nombre de noyaux qui se désintègrent** dans l'intervalle de temps dt.

$-dN$ est d'autant plus grand que:

1. le nombre N de noyaux radioactifs présents est plus grand: $-dN \propto N$
2. la durée dt de l'intervalle de temps est plus grande: $-dN \propto dt$

$$\Leftrightarrow dN = -\lambda N dt$$

Par suite : $-dN \propto N dt$

$\lambda > 0$ est la **constante de désintégration** ; unité : s^{-1}

λ représente la probabilité de désintégration par seconde

On a donc l'équation différentielle suivante : $\frac{dN}{N} = -\lambda dt$

Afin de résoudre cette équation différentielle on cherche la primitive à gauche et à droite du signe d'égalité.

$$\int \frac{dN}{N} = -\lambda \int dt$$

On obtient :

$$\ln N = -\lambda t + C$$

La constante d'intégration C s'obtient à l'aide de la condition initiale.

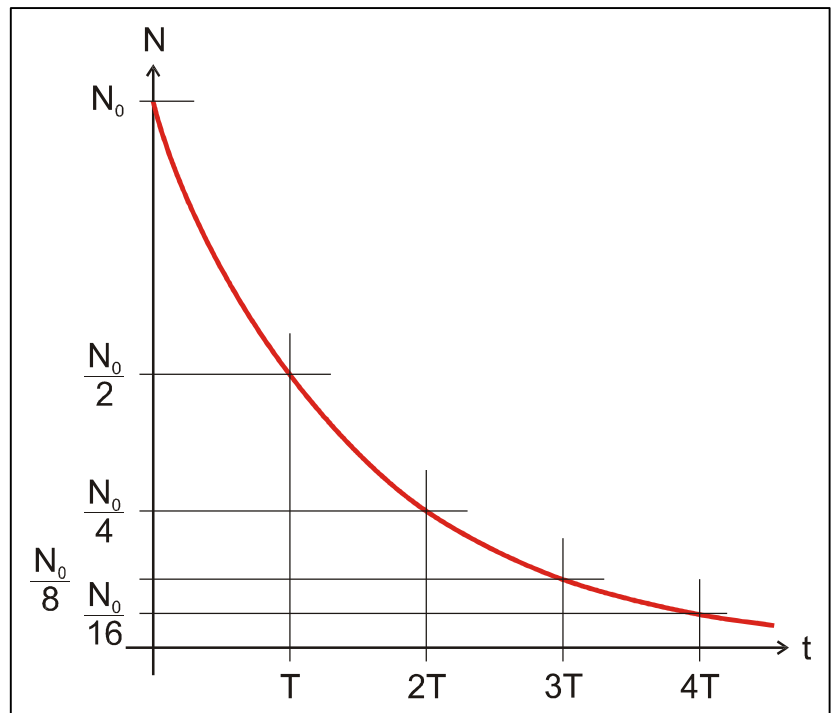
On obtient : $C = \ln N_0$

Finalement :

$$\ln N(t) - \ln N_0 = -\lambda t$$

$$\ln \left(\frac{N(t)}{N_0} \right) = -\lambda t$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

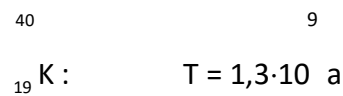
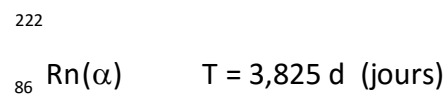
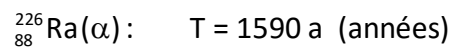


b) Demi-vie T d'un radioélément

On appelle demi-vie T d'un radioélément le temps au bout duquel le nombre N a diminué de moitié.

La demi-vie des noyaux radioactifs peut s'étendre de fractions de secondes jusqu'à des milliards d'années. Elle est caractéristique d'un nucléide particulier.

Exemples de quelques demi-vies :



neutron (instable) : T = 702 s

proton (stable): T est infini

c) Relation entre T et λ :

En t = T, on a $N(T) = N_0/2$, donc:

$$N(T) = \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T}$$

Cette relation fournit :

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad \text{ou} : \quad \lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

d) Interprétation de l'expérience avec la source de radon

Le nombre de désintégrations par seconde s'écrit

$$-\frac{dN}{dt} = N \lambda e^{-\lambda t} > 0$$

Il décroît suivant la même loi exponentielle que la décroissance radioactive!

Les 55 s représentent donc la demi-vie du radon 220.

Constante de désintégration du radon 220 : $\lambda = \ln 2 / T = \ln 2 / 55 \text{ s} = 1,26 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$

e) Activité d'une source radioactive

L'activité A d'une source radioactive est le nombre de noyaux radioactifs qui se désintègrent par seconde. C'est aussi le nombre de particules ou de photons émis par unité de temps.

Si dans un intervalle de temps dt, dN atomes se sont désintégrés, l'activité vaut :

$$A = -\frac{dN}{dt}$$

Unité : 1 becquerel = 1 Bq = 1 s⁻¹

A l'aide de la loi de la désintégration on obtient :

$$A = -\frac{dN}{dt} = -\frac{d}{dt} (N e^{-\lambda t}) = \lambda N e^{-\lambda t}$$

$$A = \lambda N$$

En posant

$A_0 = \lambda N_0$, on obtient: $A = A_0 e^{-\lambda t}$

Applications

- **Datation en archéologie** : L'isotope C-14 est radioactif β^- avec une demi-vie de 5730 années. $^{14}_6\text{C}$ est créé dans l'atmosphère par bombardement par rayons cosmiques. Il est ensuite absorbé par les plantes sous forme de dioxyde de carbone. A la mort des plantes, l'absorption cesse et le carbone C-14 se désintègre au cours du temps. L'activité renseigne sur la date de la mort de l'organisme.

Exemple : Dans un échantillon de carbone prélevé sur une momie, l'activité du C-14 a diminuée à la valeur 60 % de la valeur initiale. Calculer la date de la mort de la personne.

On a:
$$A = 0,60 \cdot A_0 = A_0 e^{-\frac{\ln 2 \cdot t}{T}}$$

Et:
$$t = -T \cdot \frac{\ln 0,60}{\ln 2} = 4\,222 \text{ y}$$

Chapitre IV Structure électronique de l'atome

IV.1- Spectre de L'atome d'Hydrogène

- On appelle spectre, l'ensemble des radiations monochromatiques (une seule couleur et donc λ bien définie) qui composent la lumière visible ou non. On distingue deux types des spectres.

- Spectre continue : lumière d'une lampe électrique par exemple.

- Spectre discontinue ou discret : spectre de l'atome d'hydrogène par exemple (voir plus loin).

a) Longueurs d'ondes limites des familles électromagnétiques

Hertziennes	Infra- rouge	Visibles	Ultra-violet	R-X	R-gamma
Plusieurs Kms à 300 μm	300 μm à 0,8 μm	0,8 μm à 0,4 μm	4000 Å à 200 Å	200 Å à 0,1 Å	< 0,1 Å

R = rayon

1 Å = 10^{-10} m

(Angströme : Å)

IV.2 Atome de Bohr :

Cas de l'atome de l'hydrogène :

Bohr considère que l'électron possède un mouvement de rotation circulaire autour du noyau et, pour expliquer la discontinuité du spectre d'émission, il suggère que l'électron ne peut se mouvoir que sur certaines orbites de rayon bien déterminé. Autrement dit, il n'y a que certaines valeurs qui sont permises pour le rayon. Chaque orbite va avoir alors une énergie bien définie. Elle est quantifiée. L'électron ne peut se trouver que sur ces orbites de niveaux d'énergies permises.

Formules générales :

L'électron en mouvement circulaire possède trois variables : le rayon de l'orbite, l'énergie et la vitesse de l'électron .En résolvant le système constitué par les trois équations suivantes, on aboutit aux formules générales recherchées.

$$F_e = F_c \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \quad (\text{égalité des forces})$$

$$E = E_c + E_p = \frac{1}{2} mv^2 - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} \quad (\text{énergie totale}) \quad E_c = \text{énergie cinétique ; } E_p = \text{énergie potentielle.}$$

$$\text{En effet on a : } dE_p = - Fedr \quad \Rightarrow \quad E_p = \int_r^\infty \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr$$

$$\text{On prend } E_p = 0 \text{ pour } r = \infty \quad \Rightarrow \quad E_p = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

Condition de quantification de l'énergie de Bohr

Le moment de la quantité de mouvement de l'électron par rapport au centre de l'orbite

ne peut prendre que des valeurs entières multiples de $\frac{h}{2\pi}$

$$\Rightarrow \quad mv.r = n \frac{h}{2\pi} \quad n \in \mathbb{N}^* \quad \text{postulat de Bohr } h =$$

cte de planck = $6,626 \cdot 10^{-34}$ j.sec

$$m = \text{masse de l'électron} \quad \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} 9 \cdot 10^9 \text{ SI} \right)$$

En résumé le système est le suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r} \\ E = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \\ m v \cdot r = n \frac{h}{2\pi} \end{array} \right.$$

près la résolution du système on obtient les résultats suivants : $E_n = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2}$

$$\frac{1}{n^2} \quad \text{ou} \quad E_n = \frac{E_1}{n^2} \quad - \quad -$$

$$\text{avec } E_1 = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2}$$

$$r_n = \frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{\pi m e^2} = n^2 r_1$$

$$\text{avec } r_1 = \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m e^2}$$

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2\pi e^2}{nh}$$

$$\text{avec } |v| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2\pi e^2}{h}$$

Application numérique : $E_1 = 13,6 \text{ eV}$; $r_1 = 0,53 \text{ \AA}$; $v_1 = 2,10 \cdot 10^6 \text{ ms}^{-1}$

Formules réduites :

$$E_n = - \frac{13,6}{n^2} \text{ (eV)} \quad ; \quad r_n = 0,53 n^2 \text{ (\AA)}$$

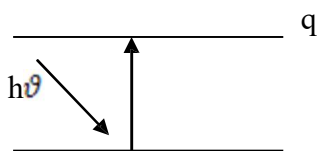
(1 eV = $1,6 \cdot 10^{-19}$ J) ; J = Joule.

IV.3- Etat fondamental et état excité pour l'atome H.

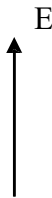
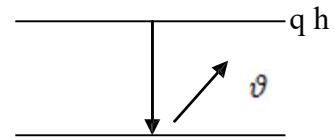
- Lorsque l'électron se trouve sur le niveau $n=1$, l'atome H possède l'énergie la plus faible, il est dans son **état fondamental**.
- Si l'électron se trouve sur un niveau différent de $n=1$, on dit que l'atome est dans un **état excité** (par conséquent instable).

Transitions : on appelle transition, le passage d'un électron d'un niveau p à un autre niveau q .

Energie d'absorption



Energie d'émission



Energie d'une transition ($p < q$)

$$|E_p - E_q| = h \nu \Rightarrow \nu \text{ (s}^{-1}\text{)} = \frac{|E_p - E_q|}{h} = \frac{2\pi^2 m e^4}{(4\pi\epsilon_0)^2 h^3} \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{q^2} \right) \nu$$

: fréquence de la radiation émise ou absorbée.

$$\bar{\nu} \text{ (m}^{-1}\text{)} = \frac{\nu}{c} = \text{nombre d'onde} \quad \text{avec } c = \text{célérité de la lumière}$$

$$\bar{\nu} \text{ (m}^{-1}\text{)} = \frac{m e^4}{8\epsilon_0^2 h^3 c} \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{q^2} \right)$$

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{q^2} \right)$$

c 'est la formule de Ritz.

λ = longueur d'onde de la radiation émise ou absorbée.

$$R_H = 1,1 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1} = \text{cte de Rydberg.}$$

Remarque :

- La transition de $n=1$ à $n = \infty$ s'appelle **l'ionisation** et l'énergie correspondante est **l'énergie d'ionisation**
- A chaque transition correspond **une raie** (λ bien définie)
- L'ensemble des raies qui possèdent le même niveau de départ s'appelle **une série**.

Hydrogéoïdes : on appelle hydrogéoïde, tout système formé d'un seul électron et d'un noyau de charge Ze tels que He^+ , Li^{2+} , Be^{3+} etc...

L'énergie potentielle de l'électron gravitant autour d'un tel noyau est

$$E_p = - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

En appliquant le postulant de Bohr aux hydrogéoïdes, on obtient les formules réduites suivantes :

$$r_n = r_{n,H} \quad r_{n,H} = \text{rayon pour l'atome H}$$

$$E_n = Z^2 E_{n,H} \quad E_{n,H} = \text{énergie pour l'atome H}$$

$$R = Z^2 R_H \quad R_H = \text{cte de Rydberg pour l'atome H.}$$

IV.4- Modèle quantique de l'atome :

Cette théorie actuelle de l'atome a introduit une différence de conception de l'atome avec l'ancienne théorie classique. Elle élucide le passage de la notion d'orbite (trajectoire circulaire) à la notion d'orbitale ou en terme de mécanique le passage de la localisation de l'électron comme point matériel à la perception du nuage électronique et à la notion de probabilité .Il existe un système de quatre grandeurs caractéristiques quantiques de l'électron qui sert à définir l'état de l'électron suivant l'orbitale occupée dans l'atome. Ces quatres grandeurs sont appelées : **nombre quantiques**.

- **Nombre quantique principal :** n (couches ou niveau)

$$n \in \mathbb{N}^* \quad 1,2,3,\dots,n \longrightarrow n \text{ valeurs}$$

n	1	2	3	4	5	6	7
couche	K	L	M	N	O	P	Q

le nombre maximum d'électron que peut contenir une couche est $2n^2$

- **Nombre quantique secondaire : l** (sous couche)

$0 \leq l \leq n-1$; l représente aussi l'orbital atomique (O.A)

$l = 0, 1, 2, \dots, n-1 \longrightarrow n$ valeurs

$l = 0 \implies$ sous couche ou orbitale s

$l = 1 \implies$ sous couche ou orbitale p

$l = 2 \implies$ sous couche ou orbitale d

$l = 3 \implies$ sous couche ou orbitale f

le nombre maximum d'électron que peut contenir une sous couche est $2(2l + 1)$

- **Nombre quantique magnétique : m** : il détermine le nombre d'orbitales de chaque sous-couche ainsi que leurs orientations spatiales. $-1 \leq m \leq +1$

$m = -1 ; -1 ; -1 ; \dots ; 0, 1, 2, \dots ; +1 \longrightarrow (2l+1)$ valeurs

- **Nombre quantique de spin. s**

L'électron est toujours en rotation autour de lui-même. Ce mouvement est dit **de spin**, il confère à l'électron un 2eme moment cinétique. D'une façon simpliste, le spin électronique peut être perçu comme une rotation de l'électron autour de son axe dans deux sens opposés. L'énergie associée à ce mouvement est quantifiée.

A ces deux rotation sont associées respectivement les deux valeurs $+\frac{1}{2}$ et $-\frac{1}{2}$

IV.5- Equation de Schrödinger

$$\Delta\Psi + \frac{8\pi^2m}{h^2} (E - E_p) \Psi = 0$$

E : énergie totale de l'électron

E_p : énergie potentielle de l'électron

$$\Delta : \text{opérateur laplacien} = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

$\Psi(x,y,z)$ = fonction d'onde de l'électron : c'est la partie qui ne dépend que des coordonnées d'espace (x,y,z)

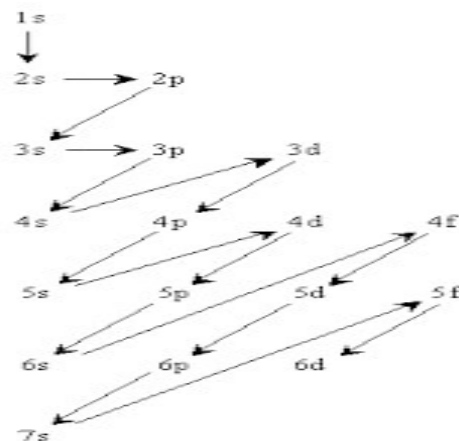
Ψ^2 = densité de probabilité.

Remarque : une orbitale atomique est la région de l'espace où la probabilité de trouver l'électron est très grande (> 90%).

IV.6- Configuration électronique

e) Règle de KLECHKOWSKI

Cette règle montre que le remplissage des O.A se fait par ordre croissant de (n+l) et pour la même valeur de (n+l), il se fait par ordre croissant de n et décroissant de l. On obtient ainsi la configuration électronique de l'état fondamental d'un atome polyelectronique.



b) Règles de remplissage des Orbites atomique

- **Principe de stabilité :** Le remplissage doit se faire selon l'ordre croissant de l'énergie des O.A. Ainsi, on aboutit à l'état fondamental (le plus stable).

- Principe d'exclusion de Pauli :

Dans un atome, deux électrons ne peuvent avoir leur quatre nombres quantiques

égaux : Ils doivent différer au moins par leur spin ($+\frac{1}{2}$ et $-\frac{1}{2}$).

c) Règle de HUND

Lorsque des électrons se placent dans une sous couche multiple, Ils occupent le maximum d'orbitales.

Dans une même sous-couche, des électrons célibataires ont des spins parallèles (même valeur

: $\frac{1}{2}$ ou $-\frac{1}{2}$)

IV.7 Tableau Périodique

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H Hydrogène 1,008	2 He Hélium 4,002602	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">C Solide</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Hg Liquide</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">H Gaz</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Rf Inconnu</div> </div>															
3 Li Lithium 6,94	4 Be Béryllium 9,0121...	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>															
11 Na Sodium 22,989...	12 Mg Magnésium 24,305	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>															
19 K Potassium 39,0983	20 Ca Calcium 40,078	21 Sc Scandium 44,955...	22 Ti Titane 47,867	23 V Vanadium 50,9415	24 Cr Chrome 51,9961	25 Mn Manganèse 54,938...	26 Fe Fer 55,845	27 Co Cobalt 58,933...	28 Ni Nickel 58,6934	29 Cu Cuivre 63,546	30 Zn Zinc 65,38	31 Ga Gallium 69,723	32 Ge Germanium 72,63	33 As Arsenic 74,921...	34 Se Sélénium 78,971	35 Br Brome 79,904	36 Kr Krypton 83,798
37 Rb Rubidium 85,4678	38 Sr Strontium 87,62	39 Y Yttrium 88,90584	40 Zr Zirconium 91,224	41 Nb Niobium 92,90637	42 Mo Molybdène 95,95	43 Tc Technétium (98)	44 Ru Ruthénium 101,07	45 Rh Rhodium 102,90...	46 Pd Paladium 106,42	47 Ag Argent 107,8682	48 Cd Cadmium 112,414	49 In Indium 114,818	50 Sn Étain 118,710	51 Sb Antimoine 121,760	52 Te Tellure 127,60	53 I Iode 126,90...	54 Xe Xénon 131,293
55 Cs Césium 132,90...	56 Ba Baryum 137,327	57-71															
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89-103															
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalino-terreux</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lanthanoides</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Actinoides</div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Métaux alcalins</div> </div>																	

Chapitre V- Classification périodique

V.1 - Classification périodique des éléments

Les éléments sont classés dans le tableau périodique (T.P) suivant leurs propriétés chimiques qui sont dûes uniquement aux électrons de valence.

Le T.P est constitué de 7 lignes horizontales appelées périodes et de 18 colonnes verticales.

Les familles des lanthanides et des actinides correspondant respectivement au remplissage des orbitales 4f et 5f ont été placées en bas du T.P. Les colonnes du T.P sont désignées par les chiffres romains suivis d'un indice

A ou B.

Le chiffre roman est égal à la somme des électrons de la couche périphérique. Les indices A et B sont directement liés à la nature des électrons de valence (blocs).

A pour les blocs s et p. B

pour le bloc d.

Le T.P est constitué de 7 groupes A (IA \longrightarrow VII A) et 7 groupes B \longrightarrow (IB VII B) avec un groupe particulier noté VIII unique dans sa constitution, car il est formé de trois colonnes et connu sous le nom **de triade** :

Le groupe correspondant aux gaz rares qui devrait constituer le groupe VIII A est noté **groupe 0**. En effet la couche externe de ces éléments est saturée, ils sont caractérisés par le degré 0, ce qui explique l'absence de réactivité chimique (**gaz inertes**).

Le T.P est donc divisé **en quatre blocs**.

- **Bloc s** : Il est constitué de deux groupes dont la configuration externe est de la forme ns^x ($x=1,2$) ce sont les métaux alcalins ns^1 (IA) et les métaux alcalino-terreux ns^2 (II A).

- **Bloc p** : Ce bloc est constitué de 6 groupes dont la configuration externe est de la forme $ns^2 np^x$ ($n= 1,2,\dots,6$) ce sont les groupes (III A \rightarrow VIIA et 0).

Le groupe VI A ($ns^2 np^4$) \rightarrow **chalcogènes**

Le groupe VII A ($ns^2 np^5$) \rightarrow **halogènes**

- **Bloc d** : Structure de la couche externe sous la forme $ns^2(n-1) d^x$ ($x= 1,2,\dots,10$) ce sont les groupes (III B \rightarrow VIII \rightarrow II B).

- **Bloc f** : Structure de la couche externe sous la forme $ns^2 (n-1) d(n-2) f^x$ ($x=1,2,\dots,14$).

o **Eléments de transition :**

Ce sont les éléments pour lesquels l'orbitale **ns** est déjà remplie alors que l'orbitale **(n-1) d** est en voie de remplissage, ils sont connus sous le nom d'éléments de transition, puisqu'une fois l'orbitale **ns** est remplie, on transite par la sous couche (n-1) d qu'il faut remplir avant le remplissage du niveau **np**

Les éléments de transition peuvent présenter des orbitales **d** vides qui peuvent accepter les doublets des éléments donneurs. Ils forment alors des complexes ou des composés de coordination.

Remarque I : Chaque configuration électronique se termine par une **couche périphérique** qu'on appelle aussi **couche externe** ou **couche de valence**.

++ A ne pas confondre avec **orbitale atomique externe**. C'est l'O.A de la couche externe qui a le nombre quantique principal (**n**) le plus élevé.

Exemple: Ni(Z=28) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^8$

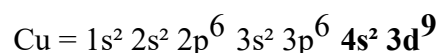
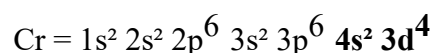
$4s^2 3d^8$ = couche externe (C.E)

$4s^2$ = orb. Atomique externe (O.A.E)

Remarque II : il y'a des éléments du T.P dont la configuration ne suit pas la règle de KLECHKOWSKI.

Exemple : Cr (Z=24) ; Cu (Z=29)

- Structures selon la règle :



- Structures adoptées, car elles sont plus stables, on les obtient par transfert d'un électron **ns** vers l'orbitale **(n-1) d** .

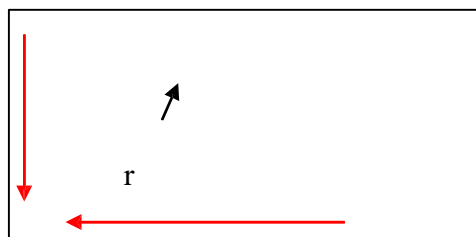


V.2 Comparaison des rayons atomiques :

La notion de rayon atomique est très arbitraire. En effet, le rayon ne peut être défini que si l'atome est engagé dans une molécule, il dépend de la nature des liaisons.

Dans les composés, on appelle rayon covalent, la moitié de la distance séparant deux noyaux de même nature liés par une seule liaison simple. Ce rayon ainsi obtenu est considéré comme étant sensiblement constant .Ce rayon diminue régulièrement le long d'une période par suite de l'augmentation de la charge nucléaire Z, mais surtout l'augmentation de la force d'attraction noyau – électron

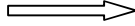
.Par contre dans une colonne, le rayon augmente avec Z à cause du passage d'une couche d'ordre n a une autre couche d'ordre n+1



V.3 Comparaison des énergies d'ionisation :

o Cas d'un hydrogénéoïde :

Pour un hydrogénéoïde, l'énergie d'ionisation est l'énergie qu'il faut fournir à l'élément pour amener l'électron du niveau $n=1$ à $l'∞$



$$E_i = E_{∞} - E_1$$

$E_i = 13,6 Z^2 \text{ (ev)}$

o Atome polyelectronique :

C'est la transformation d'un atome à l'état gazeux à un ion positif à l'état gazeux.

Remarque I :

Le potentiel d'ionisation (volt) et l'énergie d'ionisation (ev) ont la même valeur numérique.

Remarque II :

- Lorsqu'il y'a ionisation d'un élément, ce sont les électrons placés dans l'O.A .E qui partent les premiers.
- Pour un élément de transition, l'O.A .E est celle dont le nombre quantique principal est le plus grand.

Exemple: V(Z=23) : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^3$

V^+ (Z=23) : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1 3d^3$

V^{2+} (Z=23) : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^0 3d^3$

V^{3+} (Z=23) : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^0 3d^2$

l'O.A .E : c'est **4s**

Remarque III : L'orsqu'on ionise un élément, son numéro atomique **Z** reste constant.

V.4 Charge effective : Pour un atome polyelectronique, l'électron périphérique (par exemple) est attiré par le noyau (**Z**), mais repoussé par tous les électrons internes (pas de la même façon). C'est ce qu'on appelle **un effet écran**

Cette électron (**e_j**) est attiré non pas par la charge **Z** du noyau, mais par une charge effective **Z*** dont le calcul tient compte des répulsions des électrons internes

selon la règle de **Slater** suivante.

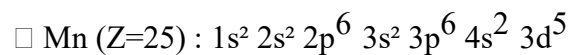
$$Z_j^* = Z - \sum_i \sigma_i$$

σ_i = constante d'écran de l'électron i sur j.

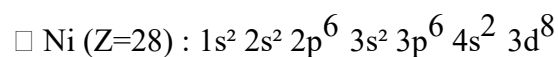
Groupe de Slater	1s	2s 2p	3s 3p	3d	4s 4p	4d	4f
1s	0,31						
2s 2p	0,85	0,35					
3s 3p	1	0,85	0,35				
3d	1	1	1	0,35			
4s 4p	1	1	0,85	0,85	0,35		
4d	1	1	1	1	1	0,35	
4f	1	1	1	1	1	1	0,35

Valeurs de la constante d'écran σ_i d'après les règles de Slater

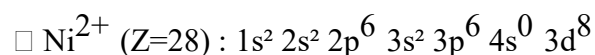
V.4.1 Exemple de calcul de charge effective :



$$Z^* = 25 - 1(0,35) - 13(0,85) - 8(1) - 2(1) = \mathbf{3,60}$$



$$Z^* = 28 - 1(0,35) - 16(0,85) - 8(1) - 2(1) = \mathbf{4,05}$$

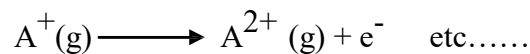
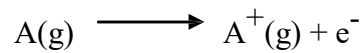


$$Z^* = 28 - 7(0,35) - 18(1) = \mathbf{7,55}$$

V.5 Energie d'ionisation : pour un atome polyelectronique, l'énergie d'un électron i qui se trouve sur un niveau n s'écrit sous la forme

$$E_n = - \frac{13,6 Z_i^{+2}}{n^2} \text{ ev}$$

On peut avoir plusieurs ionisations successives.



$$E_i = E_A^+ - E_A$$

E_A : énergie totale de A ; E_A^+ : énergie totale de A^+

V.5.1 Application : Calcul de l'énergie d'ionisation pour l'atome de carbone ($Z=6$).

Calcul de E_A :

$$C : 1s^2 2s^2 2p^2 \qquad E_A = 4 E_{i2} + 2 E_{i1}$$

E_{i2} : énergie de l'électron i appartenant a la couche $n=2$

E_{i1} : énergie de l'électron i appartenant a la couche $n=1$

$$E_{i2} = - \frac{13,6 Z_{i2}^{+2}}{2^2} \qquad ; \quad E_{i1} = - \frac{13,6 Z_{i1}^{+2}}{1^2}$$

$$\Rightarrow E_A = - \frac{4 \times 13,6 Z_{i2}^{+2}}{4} - \frac{2 \times 13,6 Z_{i1}^{+2}}{1}$$

□ **Calcul de E_A^+**

$$C^+ : 1s^2 2s^2 2p^1 = 3E_{i2} + 2E_{i1}$$

$$E_A$$

$$E_{i2} = - \frac{13,6 Z_{i2}^{*2}}{2^2} \Rightarrow E_A^+ = - \frac{3 \times 13,6 Z_{i2}^{*2}}{4} - \frac{2 \times 13,6 Z_{i1}^{*2}}{1}$$

$$\frac{3 \times 13,6 Z_{i2}^{*2}}{4} \quad \frac{2 \times 13,6 Z_{i2}^{*2}}{4}$$

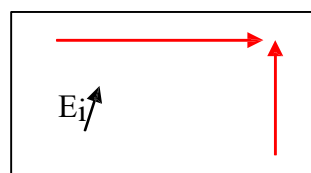
$$E_i : E_A^+ - E_A$$

$$Z_{i2}^* = 6 - 3(0,35) - 2(0,85) = 3,25$$

$$Z_{i2}^* = 6 - 2(0,35) - 2(0,85) = 3,60$$

D'où E_i = 11,5 ev

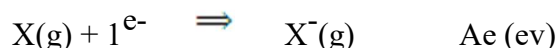
D'une manière générale E_i
 Augmente de gauche à droite
 Et de bas en haut dans le T.P



Remarque : Il y'a des exceptions a cette tendance générale.

Par exemple : E_i(B) < E_i(Be) ainsi que E_i(O) < E_i(N)

V.6 Affinité électronique : C'est l'énergie mise en jeu lorsqu'un atome à l'état gazeux capte un électron : C'est donc l'énergie de formation d'un anion gazeux.



C'est une notion très complexe puisqu'elle dépend de plusieurs paramètres : Il est donc très difficile de tirer une règle générale sur le sens de variation de Ae dans le T.P

V.7 Electronégativité :

C'est la mesure de l'aptitude d'un atome engagé dans une molécule à attirer le doublet de la liaison .C'est une grandeur qui ne peut être déterminée sur un atome isolé.

- Pour **Mulliken** : l'indice d'électronégativité x d'un atome est égal à la moyenne arithmétique de l'energie d'ionisation E_i et de l'affinité électronique A_e .

$$X = \frac{1}{2}(E_i + Ae)$$

- Pour **Pauling** :

$$X_A - X_B = 0,208\sqrt{\Delta}$$

si D est en Kcal.mol⁻¹

$$\Delta = D_{A-B} - \sqrt{D_{A-A} \cdot D_{B-B}}$$

D : énergie de dissociation

ou $X_A - X_B = 0,102 \sqrt{\Delta}$

si D est en KJ.mol⁻¹

Chapitre VI- LA LIAISON CHIMIQUE

En 1916, deux classes de liaisons chimiques ont été décrites : la liaison ionique par Walther Kossel (Allemagne) et la liaison covalente par G. N. Lewis (Université de Californie). Ils se sont basés sur l'idée qu'un noyau chargé positivement est entouré d'électrons ordonnés en couches ou niveaux d'énergie concentriques. Sur chaque couche, il y a un nombre maximum d'électrons, deux dans la première, 8 dans la deuxième, 18 dans la troisième ou 8 si c'est la dernière couche, et ainsi de suite. La stabilité maximale est obtenue quand la couche externe est remplie, comme dans les gaz rares ou nobles (8 e- sur la dernière couche). Avec les liaisons ioniques comme avec les liaisons covalentes, les atomes ont tendance à acquérir une configuration électronique stable.

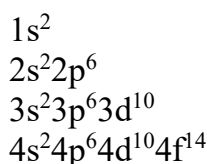
VI.1 Configuration électronique

Il faut considérer le tableau périodique des éléments et examiner le remplissage électronique en fonction du nombre atomique croissant de chaque atome. Dans chaque niveau, il y a un nombre défini d'électrons.



7 e- de valence

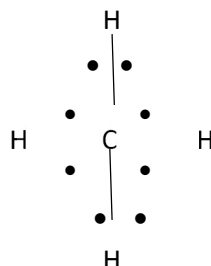
s, p, d et **f** correspondent aux orbitales atomiques qui, par définition, nous indiquent la région de l'espace où il est probable de trouver un électron. Ces orbitales ont un niveau d'énergie différent. Pour les remplir, il faut commencer par les niveaux les plus bas (1s, 2s) et ainsi de suite (2p, 3s,...).



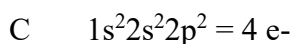
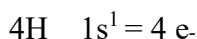
VI.2 Formule de Lewis

C'est un système de représentation par paire de points électroniques.

1) Dessiner le squelette de la molécule.



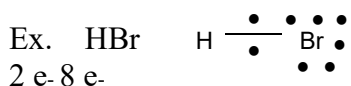
2) Compter le nombre d'électrons de valence disponibles.



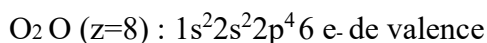
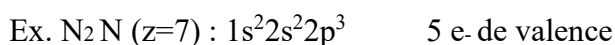
8 e- disponibles

3) Règle de l'octet.

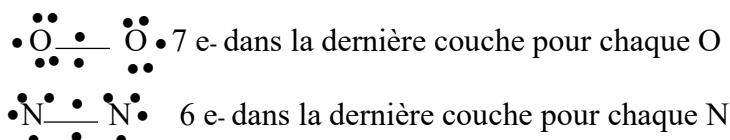
Les gaz rares possèdent 8 e- sur la dernière couche (sauf He qui en possède 2) ce qui leur confère une stabilité particulière. Ils ont une réactivité chimique très faible. Tous les autres éléments ne possèdent pas 8 e- sur leur dernière couche, ceux ci auront donc tendance à former des molécules de manière à atteindre la configuration électronique de type gaz rares.



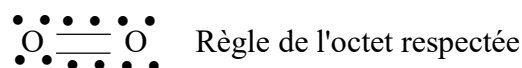
Parfois, les électrons de valence sont tels que des structures avec des liaisons simples ne satisfont pas la règle de l'octet. Dans ce cas, nous avons besoin des liaisons doubles ou triples.



Liaison simple



Liaison double



Liaison triple



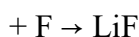
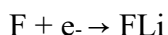
Il existe des exceptions à cette règle notamment l'oxygène de l'air O_2 que nous respirons est en fait un biradical :

VI.3 La liaison ionique

Cette liaison résulte d'un transfert d'électron(s). Par exemple, dans la formation de LiF, l'atome de Li a 2 e- dans sa couche interne et 1 e- sur sa couche externe ou couche de valence;

la perte d'un électron laisserait le lithium avec une couche externe complète de 2 e-. L'atome de F a 2 e- dans la couche interne et 7 e- dans sa couche de valence. Le gain d'un électron donnerait au fluor une couche externe complète avec 8 e-. Le fluorure de lithium se forme donc par le transfert d'un électron du Li au F. Le lithium a maintenant une charge (+) et le fluor une charge (-). L'attraction électrostatique entre ions de charge opposée s'appelle

liaison ionique. Elle est typique dans les sels formés par combinaison des éléments métalliques (électropositifs) de la gauche du tableau périodique avec les éléments nonmétalliques (électronégatifs) de droite.



VI.4 La liaison covalente

Une liaison covalente peut être décrite comme la mise en commun d'électrons par deux atomes. Les atomes forment des liaisons pour acquérir la configuration électronique des gaz rares (règle de l'octet). Pour acquérir la configuration d'un gaz rare, le chlore par exemple, a deux solutions: soit il arrache un électron à un autre atome (par exemple le Na), soit il met en commun son électron avec celui d'un autre atome de chlore.

Cl Cl
Cl Na

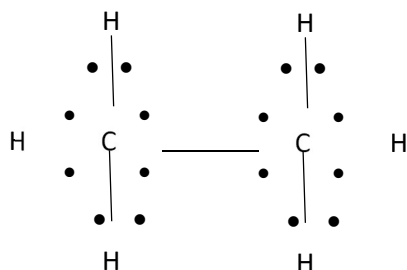
Liaison covalente

Liaison ionique

Selon l'atome auquel il est lié, l'atome de chlore peut former soit une liaison ionique soit une liaison covalente. Il doit cette propriété à sa position sur le tableau périodique.

Le carbone, par contre, n'a pas le choix : perdre 4 électrons pour ressembler à l'hélium ou gagner 4 pour ressembler au néon lui coûte trop d'énergie, seules les liaisons covalentes lui ont autorisées.

Ex. CH₃-CH₃ (éthane)



VI.5 Moment Dipolaire

Le moment dipolaire est la grandeur reflétant la polarité d'une molécule.

Une molécule présente un moment dipolaire lorsqu'il existe un barycentre des charges positives (point P) distinct du barycentre des charges négatives (point N). Ces barycentres P et N existent lorsque l'on a une différence d'électronégativité marquée entre les deux atomes de chaque liaison, et que la symétrie de la molécule fait que les moments dipolaires s'annulent (exemple de CH₂Cl₂).

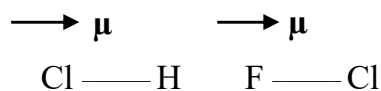
Prenons l'exemple des molécules de chlorure d'hydrogène et d'eau. Selon l'échelle de Allred et Rochow, $c(\text{H}) = 2,2$ $c(\text{Cl}) = 2,8$ $c(\text{O}) = 3,5$.

Le moment dipolaire est noté μ et est représenté par un vecteur $\vec{\mu}$ orienté du moins (N, -) vers le plus (P, +), selon l'équation :

$$\vec{\mu} = q \cdot \vec{NP}$$

Ou

$$\vec{\mu} = q \cdot \vec{d}$$

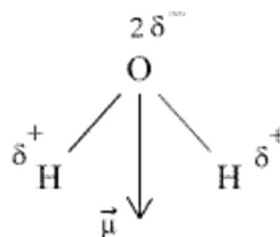


où le vecteur \vec{d} est le vecteur orienté de barycentre des charges **négatives** vers le barycentre des charges **positives**. Normalement exprimée en coulomb-mètre, l'unité courante utilisée est le debye, en honneur au grand physico-chimiste hollandais Peter Debye, et définie par :

$$1\text{D} = 3,3356 \cdot 10^{-30} \text{ C.m}$$

Exemple : Moment dipolaire de l'eau

$$\mu = 1,84 \text{ D}, d(\text{O-H}) = 96 \text{ pm}$$



Exercices

1) Soient les éléments suivants : ${}^6\text{A}$; ${}^{12}\text{B}$; ${}^{13}\text{D}$; ${}^{14}\text{E}$; ${}^7\text{F}$; ${}^{18}\text{G}$; ${}^{19}\text{H}$

Y'a-t-il des isotopes parmi ces éléments ?

2) Même question pour les éléments suivants.

	I	J	K	L	M
Nombre d'électrons	26	26		17	
Nombre de neutrons	30	28		18	
Nombre de protons			17		26
Nombre de masse			37		56

3) Calculer en g et en Kg la masse correspondante à 1 u.m.a.

4) a) Quelle est la masse en g d'un atome de Fer

b) dans 1 g de Fe, combien y'a-t-il d'atomes et de mole d'atomes ?

on donne $M_{\text{Fe}} = 55,847\text{g}$.

5) a) Etablir le système qui permet de calculer pour l'électron de l'atome H se trouvant sur une orbite n : le rayon, l'énergie et la vitesse. b) En déduire les expressions de ces trois paramètres pour un hydrogène de charge Ze .

c) Application : déterminer pour l'ion Li^{2+} ($Z=3$) r_1 et E_1 .

d) La décomposition du rayonnement émis par l'atome H révèle la présence d'un rayonnement dont la longueur d'onde est de $18750,8 \text{ \AA}$. A quelle transition correspond-elle ?

e) Pour effectuer la même transition dans le cas de Li^{2+} . Quelle serait la longueur d'onde ? on donne $R_H = 1,1 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$

Exercice

- 6) Quelle orbitale atomique est associée chacune des combinaisons **n, l, m** suivantes ?
Est – elle possible ?

	1	2	3	4	5	6
n	3	3	2	2	2	1
l	2	2	2	1	1	0
m	0	3	1	0	1	1

- 7) Trouver l'ensemble des états correspondants à la couche $n=5$ (combien y'a t'il d'O.A ?).

- 8) Soit un électron qui représente les nombres quantiques $n=5$ et $m=3$.Pouvons –nous dire que

- a) l est supérieur à 3
- b) La valeur de l est inférieur à 5 mais supérieure à 2
- c) Il s'agit automatiquement d'un électron f.
- d) Il peut être un électron f.
- e) C'est un électron célibataire.

- 9) Les configurations électroniques suivantes correspondent-elles à des états fondamentaux, excités ou sont-elles impossibles ?

- a) $1s^2 2s^3$
- b) $1s^2 2s^0 2p^1$
- c) $1s^2 2s^1 2p^1$

Exercice

- d) $1s^2 2s^2 2p^6 2d^2$
- e) $1s^2 2s^2 2p^6 3p^1$
- f) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1$
- g) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 3p^6 3d^0 4s^1$.

10) Donner la couche externe des éléments suivants :

- a) Deuxième chalcogène.
- b) Second métal de transition
- c) 3ième halogène
- d) 3ième gaz rare.

11) La structure de la couche électronique de valence d'un élément s'exprime par :

- a) (6 ième période, groupe VII B)
- b) (5 ième période, groupe II B)

12) Donner les formes générales possibles de la couche externe pour les éléments appartenant au groupe VII.

13) Donner le numéro atomique des éléments pour lesquels, on voit :

- a) Se terminer le remplissage de **4d**
- b) Commencer le remplissage de **4p**

14) Quels sont les éléments dont $Z < 30$ et présentant un seul électron célibataire à l'état fondamental ?

15) Parmi les éléments ayant moins de 36 électrons. Quels sont ceux qui possèdent à l'état fondamental, deux électrons célibataires ?

16) Quelles sont les configurations qui peuvent être stabilisées par le transfert d'un électron.

- a) $ns^2 np^2$
- b) $nd^{5(n+1)} s^2$
- c) $nd^4 (n+1) s^2$
- d) $nd^9 (n+1) s^2$
- e) $nd^6 (n+1) s^2$.

- 17) donner les valeurs des quatre nombres quantiques caractérisant chacun des 4 électrons $5p^4$.
- 18) Tous les éléments de transition 3d commencent par un degré d'oxydation + II sauf le Cr et le Cu Expliquer.
- 19) Le groupe IB est-il un groupe d'éléments de transition ? Expliquer.
- 20) Soit X, un élément qui contient un électron dans l'orbitale 4s et x électrons dans l'orbitale 3d.

$Z^* = 2,95$ si l'électron j appartient à 4s

$Z^* = 4,60$ si l'électron j appartient à 3d

Déterminer le numéro atomique Z de X.

- 21) L'énergie de la 1ère ionisation du Na est inférieure à celle du Mg. Tandis que l'inverse est observé pour l'énergie de la 2ème ionisation. Expliquer.
- 22) a) Donner la configuration électronique du bore ($Z=5$)
- b) Les valeurs des énergies d'ionisation successives exprimées en KJ.mol^{-1} sont 811 - 2420 - 3675 - 32792. Ecrire la réaction correspondante à chaque ionisation et la configuration des ions correspondants.
- c) Pourquoi les énergies d'ionisation successives croissent-elles ?
- d) Pourquoi ces variations sont-elles plus importantes de E_1 à E_2 et de E_3 à E_4 ?
- 23) Donner les structures de Lewis pour les espèces suivantes ainsi que l'hybridation de l'atome central.

NO_3^- ; N_2O_4 ; POCl_3 ; H_3PO_4 ; SOCl_2 ; HClO et HClO_4 .

En déduire la géométrie de ces molécules.

- 24) Préciser pour chaque espèce la structure la plus probable. NCO^- ; N_2O ; SCN^- et PO_4^{3-} .
- 25) Dessiner les molécules suivantes en schématisant et en notant les orbitales atomiques et moléculaires : C_2H_2 ; C_2H_4 ; CO_2 .
- 26) Quelle est la nature de la dissociation des molécules suivantes en solution aqueuse ? Expliquer.
- Mg(OH)_2 ; Ca(OH)_2 ; Sr(OH)_2 . On donne les électronégativités suivantes : H(2,1) ; Ca (1,04); Mg(1,20) ; O(3,50) ; Sr(0,99).

- a) Donner la configuration électronique de la molécule O_2 et en déduire celles des autres espèces.
- b) Classer-les par ordre croissant de stabilité.
- c) Attribuer à chaque espèce sa distance.
- d) Classer-les par ordre croissant d'énergie d'ionisation.

28) A température ordinaire H_2S est un gaz alors que H_2O est un liquide :

O et S appartiennent au même groupe Expliquer.

29) Expliquer pourquoi la température d'ébullition de HF est anormalement élevée dans la série suivante.

HF	HCl	H Br	HI
+19°C	-84°C	-67°C	-35°C