Université Mohammed V
Faculté des Sciences
Rabat

Corrigé de la série 1 d'Atomistique / SMPC

I) Structure et constitution de l'atome ${}^{A}_{Z}X^{q}$

1. L'atome possède une partie centrale appelée noyau (immobile de charge +Ze) autour de laquelle gravite un cortège d'électrons (de charge négative). Le noyau est constitué de nucléons (protons et neutrons).

L'atome est représenté par ${}^{A}_{Z}X^{q}$ avec :

X : atome ou élément considéré
Z : nombre de protons ou numéro atomique, c'est une caractéristique essentielle d'un élément. La seule qui le distingue d'un autre élément.
A : nombre de masse = nombre de protons Z + nombre de neutrons N.
q : nombre de charge = nombre de protons Z - nombre d'électrons.

2. On considère les éléments suivants : ${}^{12}_{6}C$; ${}^{14}_{6}C$; ${}^{16}_{8}O$; ${}^{16}_{8}O^{2-}$; ${}^{22}_{13}Al^{3+}$; ${}^{32}_{16}S^{2-}$; ${}^{35}_{17}Cl^{-}$; ${}^{56}_{26}Fe^{3+}$; ${}^{59}_{28}Ni$.

Les nombre de protons (Z), de neutrons (N) et d'électrons (e^-) qui participent à la composition des éléments précités sont rassemblés dans le tableau suivant :

Elément	A	Z	N	e^-	q	Nom
${}^{12}_{6}C$	12	6	12-6=6	6	0	carbone 12
${}^{14}_{6}C$	14	6	14-6=8	6	0	carbone 14
${}^{16}_{8}O$	16	8	16-8=8	8	0	oxygène
${}^{16}_{8}O^{2-}$	16	8	16-8=8	8+2=10	-2	ion oxygène
${}^{22}_{13}Al^{3+}$	22	13	22-13=9	13-3=10	+3	ion aluminium
${}^{32}_{16}S^{2-}$	32	16	32-16=16	16+2=18	-2	ion sulfure
${}^{35}_{17}Cl^{-}$	35	17	35-17=18	17+1=18	-1	ion chlore
${}^{40}_{20}Ca^{2+}$	40	20	40-20=20	20-2=18	+2	ion calcium
${}^{56}_{26}Fe^{3+}$	56	26	56-26=30	26-3=23	+3	ion ferrique
${}^{59}_{28}Ni$	59	28	59-28=31	28	0	Nickel

3. D'après le tableau, on remarque que deux éléments différents peuvent avoir le même nombre de neutrons ou bien même nombre d'électrons. Par contre, lorsqu'ils ont le même nombre de protons, on remarque qu'il s'agit du même élément. On définit alors le numéro atomique (Z) par le nombre de protons car les protons se trouvent dans le noyau et sont caractéristiques de chaque atome. Leur nombre est constant (ne varie jamais).

II) Notion d'isotopie

Rappel : Des atomes **X** peuvent avoir la même valeur de **Z** mais différer par la valeur de **A**. On dit que ce sont des isotopes de l'élément X. Dans la nature, la **prépondérance** des isotopes est fixe. Nous parlons également **d'abondance** ou **pourcentage isotopique**. La masse molaire d'un élément (**m**) est la moyenne des différentes masses (**m_i**) en tenant compte de leur prépondérance (**x_i**).

$$m = \frac{\Sigma x_i m_i}{100} \qquad et \qquad \sum x_i = 100$$

Avec : m_i : la masse atomique de l'isotope i et x_i : son abondance exprimée en %.

1. Cherchons parmi les quatre nucléides présentés dans le tableau suivant ceux qui sont des isotopes.

	I	**II**	**III**	**IV**
Nombres de protons	24	26	26	27
Nombres de neutrons	28	30	32	32
Nombres de masses	52	56	58	59

Les **nucléides II et III sont des isotopes** car ils ont tous les deux le même nombre de protons (Z=26). Le nucléide II possède 30 neutrons (A=56) et le nucléide III possède 32 neutrons (A=58).

D'après le tableau périodique, il s'agit des isotopes du fer : ${}^{56}_{26}Fe$ et ${}^{58}_{26}Fe$

2. Le silicium naturel 'Si' est un mélange de trois isotopes stables ^{28}Si, ^{29}Si et ^{30}Si. L'abondance naturelle de l'isotope le plus prépondérant est de 92,23 %. La masse molaire atomique du silicium naturel est de 28,085 g/mol.

a- L'isotope du silicium le plus abondant, avec une prépondérance de 92,23%, est l'isotope ^{28}Si car la masse molaire du silicium naturel (28,085 g/mol) est très proche de 28 g/mol.

b- La prépondérance naturelle des isotopes ^{29}Si et ^{30}Si se calcule en faisant l'approximation classique $m_i=A_i$ et en utilisant les relations suivantes :

$$m = \frac{\Sigma x_i m_i}{100} \qquad et \qquad \sum x_i = 100$$

Soient x_1, x_2 et x_3 les prépondérances respectives des isotopes ^{28}Si, ^{29}Si et ^{30}Si. Nous avons le système d'équations suivant :

$$\begin{cases} m = \dfrac{\Sigma x_i m_i}{100} = \dfrac{x_1.m(^{28}Si) + x_2.m(^{29}Si) + x_3.m(^{30}Si)}{100} \\ x_1 + x_2 + x_3 = 100 \quad avec \quad x_1 = 92{,}23\% \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} 28{,}085 = \dfrac{28x_1 + 29x_2 + 30x_3}{100} \\ x_2 + x_3 = 100 - x_1 = 100 - 92{,}23 = 7{,}77\% \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} 2808{,}5 = 28 \times 92{,}23 + 29 \times (7{,}77 - x_3) + 30 \times x_3 \\ avec \quad x_2 = 7{,}77 - x_3 \end{cases}$$

On trouve par résolution du système : $x_2 = 7{,}04\%$ et $x_3 = 0{,}73\%$

Le silicium naturel contient 92,23 % de ^{28}Si ; 7,04 % de ^{29}Si et 0,73 % de ^{30}Si.

⇒ ^{28}Si est le plus abondant.

III) Notion de masse molaire des atomes et des molécules

Rappel : La mole

Pourquoi a-t-on introduit la notion de mole ?

Pour une question de facilité, le nombre d'atomes, de molécules ou d'ions étant un nombre extrêmement grand, il fallait introduire une nouvelle échelle pour manipuler des nombres plus petits. Les chimistes ont donc introduit la mole qui correspond à *$6{,}022.10^{23}$ entités.*

La mole est donc la quantité de matière contenant $6{,}022.10^{23}$ entités. (entité = molécule, atome, ion, proton, neutron, électron, etc…). **$\mathcal{N}$est le nombre d'Avogadro ; $\mathcal{N}$= $6{,}023.10^{23}$**

Le symbole de la mole est « mol » et le nombre de moles est représenté par la lettre « n ».

La masse molaire M

- Masse molaire atomique

La masse molaire atomique d'un élément ou la masse d'une mole d'atomes est la masse atomique relative exprimée en gramme par mole. Son symbole est « **M** » et son unité est « **g/mol** ».

- Masse molaire moléculaire

La masse molaire moléculaire ou la masse d'une mole de molécules est la masse moléculaire relative (M_r) exprimée en gramme par mole. Son symbole est « **M** » et son unité est « **g/mol** ». On la calcule en effectuant la somme des masses molaires atomiques des atomes qui constituent la molécule.

Conversion :

Nombre de moles : $n = \frac{m}{M}$ en mol ; 1 atome-gramme = 1 mole

$$\begin{cases} 1\,mole & \rightarrow & N\,particules(atomes, molécules...) \\ n\,moles & \rightarrow & x\,particules(atomes, molécules...) \end{cases}$$

$$\Rightarrow \boxed{x = n \times N} \quad \text{ou bien} \quad \boxed{n = \frac{x}{N}}$$

1) a- nombre de moles d'atomes contenus dans un échantillon de nickel pesant 5g :

$$n = \frac{m(N_i)}{M(N_i)} = \frac{5}{58{,}71} = 0{,}085\,mol$$

b- nombre d'atomes contenus dans un échantillon de nickel pesant 5g :

$x = n \times \mathcal{N} = 0{,}085 \times 6{,}022 \times 10^{23} = 5{,}12 \times 10^{22}$ atomes

2) Pour connaître lequel des échantillons suivants contient le plus de Ni, on convertit toutes les valeurs dans la même unité; par exemple en mole.

a) 20 g de Ni
b) 0,05 atome-gramme de Ni
c) 2,5 10^{23} atomes de Ni.

a- Nombre de moles d'atomes Ni contenu dans **20 g** :

$$n_1 = \frac{m(N_i)}{M(N_i)} = \frac{20}{58{,}71} = 0{,}341\,mol\ d'atomes$$

b- Nombre de moles d'atomes Ni contenu dans **0,05 atome-gramme de Ni**. On sait qu'un atome-gramme est la masse d'une mole d'atome d'un corps donné.

$$n_2 = 0{,}05\,mol\ d'atomes$$

c- Nombre de moles d'atomes Ni contenus dans **$2{,}5.10^{23}$ atomes de Ni** :

$$\begin{cases} 1\,mole\,d'atomes & \rightarrow & N\ atomes\ Ni \\ n_3\ moles\,d'atomes & \rightarrow & 2{,}5.10^{23}\ atomes\ Ni \end{cases}$$

$$\Rightarrow \quad n_3 = \frac{2{,}5.10^{23}}{N} = 0{,}415\,mol\ d'atomes$$

C'est donc l'échantillon à $2{,}5 \times 10^{23}$ atomes de nickel qui contient le plus de nickel.

3) Un échantillon d'oxyde de nickel NiO a une masse m = 3,5g.

* **nombre de moles de molécules NiO** : $n(NiO) = \frac{m(NiO)}{M(NiO)} = \frac{3,5}{74,71} = 0,0468\ mol$

Avec : m(NiO) = 3,5 g et M(NiO) = M(Ni) + M(O) = 58,71 + 16 = 74,71 g/mol

* **nombre de molécules NiO** :

$$\begin{cases} 1\ mole\ de\ molécules\ NiO & \rightarrow & N\ molécules\ NiO \\ n\ moles & \rightarrow & x\ molécules \end{cases}$$

$\Rightarrow$ x molécules = n × N = 0,0468 × 6,022 . 10^{23} = 2,82 × 10^{22} molécules de NiO

* **nombre d'atomes de Ni et de O** : la formation d'une molécule de NiO nécessite un atome de Ni et un atome de O.

$$\begin{cases} 1\ molécule\ de\ NiO & \rightarrow & 1\ atome\ Ni \\ 2,82.10^{22}\ molécules\ de\ NiO & \rightarrow & x\ atomes\ Ni \end{cases}$$

$$\Rightarrow \quad x = 2,82.10^{22}\ atomes\ Ni$$

$$\begin{cases} 1\ molécule\ de\ NiO & \rightarrow & 1\ atome\ O \\ 2,82.10^{22}\ molécules\ de\ NiO & \rightarrow & y\ atomes\ O \end{cases}$$

$$\Rightarrow \quad y = 2,82.10^{22}\ atomes\ O$$

Dans l'échantillon de NiO de masse 3,5g, il y a donc 2,82 × 10^{22} atomes de Ni et 2,82 × 10^{22} atomes de O.

IV) Radioactivité et Réactions nucléaires

Définition : La radioactivité est le phénomène nucléaire spontané au cours duquel **un noyau père instable** ${}^{A}_{Z}X$ **se désintègre en un noyau fils** ${}^{A'}_{Z'}Y$ **stable** accompagnée d'une émission de particules ${}^{a}_{z}P$ et d'un rayonnement électromagnétique selon l'équation :

$${}^{A}_{Z}X \quad \rightarrow \quad {}^{A'}_{Z'}Y \quad + \quad {}^{a}_{z}P$$

L'unité de mesure de la radioactivité d'un corps est en becquerels (Bq)

1 Bq = une désintégration par seconde.

On utilise aussi le curie (Ci) comme unité de radioactivité.

1 Bq = 27 . 10^{-12} Ci

1 Ci = 3,7 . 10^{10} Bq

1) On considère les espèces chimiques suivantes :

$$^{27}_{13}Al\ ;\qquad ^{30}_{15}P\ ;\qquad ^{80}_{35}Br\ ;\qquad ^{207}_{82}Pb\ \text{ et }\ ^{238}_{92}U$$

Lorsque la valeur du rapport $\frac{A-Z}{Z} \geq 1{,}5$, on peut prévoir que l'élément manifestera une radioactivité naturelle. Cette relation n'est applicable que pour les éléments non artificiels.

$^{A}_{Z}X$	**A**	**Z**	$\frac{A-Z}{Z}$	**X radioactif**
$^{27}_{13}Al$	27	13	$\frac{A-Z}{Z}=\frac{27-13}{13}\langle 1{,}5$	Non
$^{30}_{15}P$	30	15	$\frac{A-Z}{Z}=\frac{30-15}{15}\langle 1{,}5$	Non
$^{80}_{35}Br$	80	35	$\frac{A-Z}{Z}=\frac{80-35}{35}\langle 1{,}5$	Non
$^{207}_{82}Pb$	207	82	$\frac{A-Z}{Z}=\frac{207-82}{82}\rangle 1{,}5$	Oui
$^{238}_{92}U$	238	92	$\frac{A-Z}{Z}=\frac{238-92}{92}\rangle 1{,}5$	Oui

Seuls $^{207}_{82}Pb$ et $^{238}_{92}U$ possèdent des activités radioactives.

2. Déterminons le type de particules $^{a}_{z}P$ dans chacune des réactions suivantes :

$$^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{a}_{z}p$$

$$^{3}_{1}H \rightarrow {}^{3}_{2}He + {}^{a}_{z}p$$

$$^{14}_{8}O \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{a}_{z}p$$

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{a}_{z}p$$

Rappel sur le type de radiation

La radioactivité se manifeste par trois sortes de rayonnement **α (alpha), β (bêta) et γ (gamma)** et au cours d'une réaction nucléaire, il y conservation du **nombre de masse A** et du **nombre de charge Z**. Ces lois de conservation sont dites **Lois de SODDY**. Les caractéristiques des différents types de radiation sont rassemblées dans le tableau suivant :

Type de radioactivité	Eléments concernés	Particules	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A'}_{Z'}Y + {}^{a}_{z}p$
α (alpha)	éléments lourds de numéro atomique Z > 83	**α** Noyau d'hélium 4	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$
β^- (bêta$^-$)	noyaux instables à cause d'un excès de neutrons	**électron** ${}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p + {}^{0}_{-1}e$	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e$
β^+ (bêta$^+$)	noyaux instables possédant un excès de protons	**positron** ${}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{0}_{1}e$	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e$
γ (gamma)		${}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{+1}e \rightarrow \gamma$	${}^{A}_{Z}Y^{*} \rightarrow {}^{A'}_{Z'}Y + {}^{0}_{0}\gamma$

Type de particules ${}^{a}_{z}P$ dans chacune des réactions suivantes :

$${}^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + \boxed{{}^{1}_{0}n}$$

$${}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{3}_{2}He + \boxed{{}^{0}_{-1}e(\beta^-)}$$

$${}^{14}_{8}O \rightarrow {}^{14}_{7}N + \boxed{{}^{0}_{+1}e(\beta^+)}$$

$${}^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + \boxed{{}^{4}_{2}He(\alpha)}$$

3- La désintégration de chacun des radioéléments ${}^{210}_{83}Bi$ et ${}^{12}_{5}B$ fournit un rayonnement β négatif.

a) Réactions de décomposition de ${}^{210}_{83}Bi$ et de ${}^{12}_{5}B$:

$${}^{210}_{83}Bi \rightarrow {}^{210}_{84}Y + {}^{0}_{-1}e(\beta^-)$$ avec Y : Po, polonium

$${}^{12}_{5}B \rightarrow {}^{12}_{6}Y + {}^{0}_{-1}e(\beta^-)$$ avec Y : C, carbone

Le rayonnement β consiste en l'émission de négatons par certains radioéléments.

b) Au cours de la réaction nucléaire ${}^{11}_{5}B + {}^{2}_{m}Y \rightarrow {}^{12}_{5}B + {}^{n}_{1}X$, il y a :

*conservation de la charge atomique $\Rightarrow 5+m=5+1 \Rightarrow m=1$

*conservation des nombres de masse $\Rightarrow 11+2=12+n \Rightarrow n=1$

$\Rightarrow$ **X ≡ Y ≡ H** et la réaction devient $\Rightarrow \boxed{{}^{11}_{5}B + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{12}_{5}B + {}^{1}_{1}H}$

c) Soit l'équation de désintégration de ${}^{12}_{5}B$

$$ {}^{12}_{5}B \quad \rightarrow \quad {}^{12}_{6}C \quad + \quad {}^{0}_{-1}e(\beta^-) $$

On observe une différence de masse entre m_i (masse de la particule dans l'état initial) et m_f (somme des masses des particules dans l'état final) : $\Delta m = m_i - m_f$

$$\Delta m = m({}^{12}_{5}B) - [m({}^{12}_{6}C) + m({}^{0}_{-1}e)]$$

$$\Delta m = 12{,}01306 - [12{,}00059 + 55.10^{-5}] = 0{,}01192 uma$$

Or $\begin{cases} 1 \quad uma \quad \rightarrow \quad 1{,}6605654.10^{-24}\, g \\ \Delta m\,(uma) \quad \rightarrow \quad \Delta m\,(g) \end{cases}$

$$\Rightarrow \Delta m\,(g) = \Delta m\,(uma) \times 1{,}6605654.10^{-24}$$
$$\Rightarrow \Delta m\,(g) = 0{,}01192 \times 1{,}6605654.10^{-24}$$
$$\Rightarrow \Delta m\,(g) = 0{,}019793939568.10^{-24}\, g$$
$$\Rightarrow \Delta m\,(Kg) = 0{,}019793939568.10^{-27}\, Kg$$

Le dégagement de l'énergie du radiobore ${}^{12}_{5}B$ est donné par la relation $\Delta E = \Delta m.c^2$

$$\Delta E = \Delta m.c^2 = 0{,}019793939568.10^{-27}.(3.10^8)^2$$
$$\Delta E = \Delta m.c^2 = 0{,}178145456112.10^{-11}\, Joul$$

Or $\begin{cases} 1eV \quad \rightarrow \quad 1{,}6.10^{-19}\, Joul \\ \Delta E\,(eV) \quad \rightarrow \quad \Delta E\,(Joul) \end{cases}$

$$\Rightarrow \Delta E(eV) = \frac{\Delta E(Joul)}{1{,}6.10^{-19}} = \frac{0{,}178145456112.10^{-11}}{1{,}6.10^{-19}} = 0{,}11134091007.10^{8}\, eV$$

$$\Delta E\,(MeV) = 0{,}1113409100\ 7.10^{8}.10^{-6}\, MeV = 0{,}1113409100\ 7.10^{2}\, MeV = 11{,}13\, MeV$$

$$\Delta E\,(MeV) = 11{,}13\, MeV$$