

## Réactions nucléaires

### I) LA RADIOACTIVITÉ

#### 1. Introduction

- La radioactivité a été découverte par Henri BECQUEREL en 1896 (1852 – 1908). Il découvre la radioactivité de l'uranium au cours de travaux sur la phosphorescence. Les travaux sont poursuivis par Pierre et Marie CURIE.
- En 1898, ils découvrent la radioactivité du polonium Po (210) et du radium Ra (226).
- En 1903 : prix Nobel de physique (Henri BECQUEREL avec Pierre et Marie CURIE).
- La radioactivité artificielle fut mise en évidence en 1934 par Irène et Frédéric JOLIOT – CURIE. Ils ont créé par réaction nucléaire un isotope radioactif du phosphore.
- On connaît actuellement, une cinquantaine de nucléides naturels radioactifs et environ 1200 nucléides artificiels radioactifs.
- L'Uranium (U), le Polonium (Po) et le Radium (Ra), ... sont dits radioéléments ou éléments radioactifs.
- Ce phénomène d'émission spontanée par un élément radioactif est dit : Radioactivité.

#### 2. Définition

La **radioactivité** est une propriété qu'ont certains noyaux (ceux qui sont instables) dits père, de se désintégrer pour créer de **nouveaux noyaux dits fils**, en émettant des **particules**. La transformation ne concerne que le noyau de l'atome

*Elle peut être **naturelle** ou **artificielle**, lorsque les noyaux instables sont créés en **laboratoire**.*

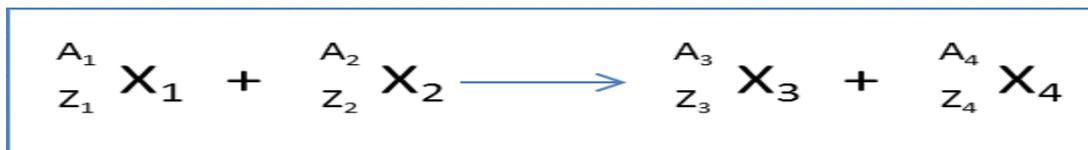
### II - RÉACTIONS NUCLÉAIRES SPONTANÉES

#### 1) LOIS DE CONSERVATION

##### Lois de Soddy

Toute transformation nucléaire respecte la conservation des charges électriques et celle du nombre de masse

On peut résumer une réaction nucléaire comme ceci :



a. Il y a conservation des charges électriques :  $Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$

b. Il y a conservation du nombre de masse :  $A_1 + A_2 = A_3 + A_4$

**Remarque** : Contrairement aux transformations physiques et chimiques, il n'y a pas conservation des éléments chimiques lors d'une transformation nucléaire :  $X_1 \neq X_2 \neq X_3 \neq X_4$

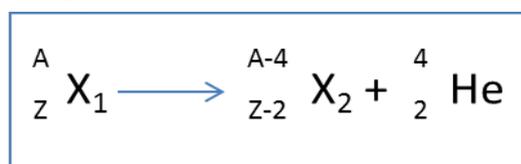
Il existe **trois** types de réactions nucléaires spontanées.

#### 2) LA RADIOACTIVITÉ $\alpha$

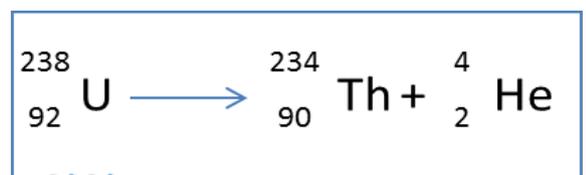
La **radioactivité**  $\alpha$  se produit quand un noyau instable est trop **lourd**, autrement dit quand il contient trop de nucléons.

Lors d'une réaction nucléaire de type  $\alpha$ , un noyau père instable se transforme en un noyau fils **plus stable** et une particule plus petite, un **noyau d'hélium** (qu'on appelle aussi **particule**  $\alpha$ .)

L'équation d'une désintégration  $\alpha$  est la suivante :



Exemple :



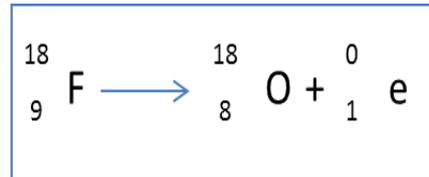
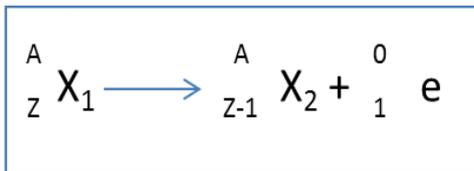
3) LA RADIOACTIVITÉ  $\beta^+$ 

La **radioactivité  $\beta^+$**  se produit quand un noyau instable contient trop de protons.

Lors d'une réaction de ce type, un noyau père instable se désintègre pour former un noyau fils **plus stable** et une particule élémentaire, un **positron** (ou **positon**, ou encore **particule  $\beta^+$** )

L'équation d'une désintégration  $\beta^+$  est :

Exemple :

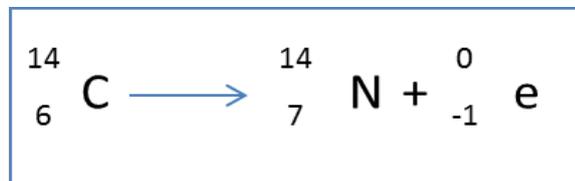
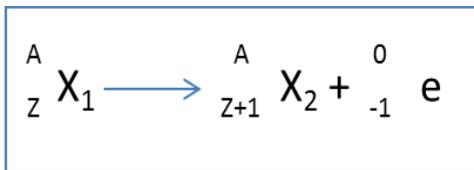
4) LA RADIOACTIVITÉ  $\beta^-$ 

La **radioactivité  $\beta^-$**  se produit quand un noyau instable contient trop de neutrons.

Lors d'une réaction nucléaire  $\beta^-$ , un noyau père instable se désintègre pour former un noyau fils **plus stable** et une particule élémentaire, un **électron** (aussi appelée **particule  $\beta^-$** )

L'équation d'une désintégration  $\beta^-$  est :

Exemple :

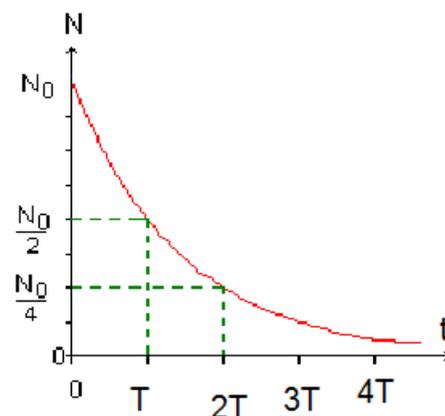
5) EMISSION  $\gamma$ 

La plupart du temps, le noyau fils issu d'une de ces précédentes désintégrations est dans son état **excité**, c'est-à-dire qu'il possède une **énergie excédentaire**.

Pour revenir à son niveau d'énergie dit **fondamental**, le noyau va émettre une **onde électromagnétique de très haute fréquence** (supérieure à  $10^{18}$  Hz), que l'on appelle **rayon  $\gamma$** .

**6. Activité d'une source radioactive**a. Période ou Demi-vie radioactive.

La Période radioactive, notée  $T$  ou  $t_{1/2}$ , d'un échantillon de noyaux radioactifs est égale à la durée nécessaire pour que, statistiquement, la moitié des noyaux radioactifs initialement présents dans l'échantillon se désintègrent.

b. Variation de nombre de noyaux au cours du temps

## IV - RÉACTIONS NUCLÉAIRES PROVOQUÉES

Contrairement aux réactions nucléaires spontanées qui sont complètement aléatoires, ces réactions sont **voulues et provoquées** par l'Homme.

Lors d'une telle réaction, un **noyau cible** est frappé par un **noyau projectile** ou une **particule**.

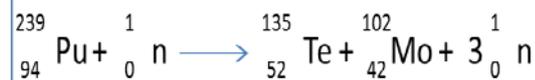
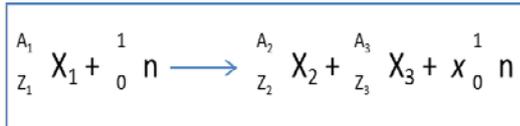
Ces réactions ont besoin d'un **apport d'énergie** en provenance de l'extérieur.

## 1) LA FISSION NUCLÉAIRE

Il s'agit d'une réaction au cours de laquelle un noyau dit **fissile** (lourd) est scindé en des noyaux **plus légers**, la plupart du temps en le bombardant avec un **neutron**.

On peut résumer une fission nucléaire par une équation de la forme :

Exemple :



D'après les lois de Soddy, nous avons :

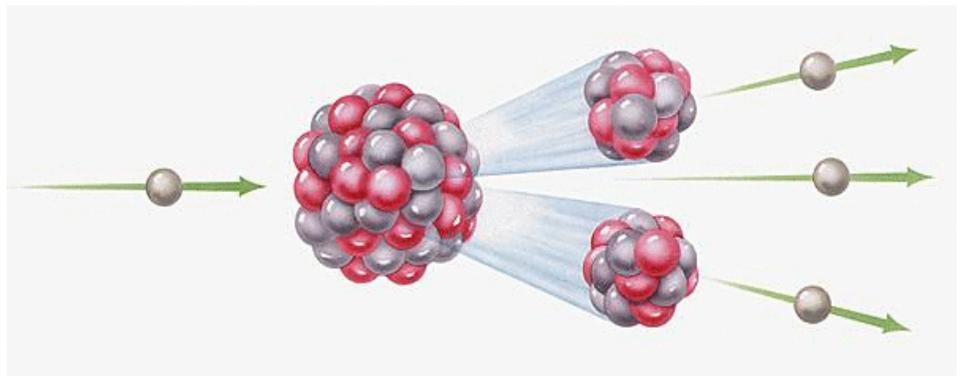
$$A_1 + 1 = A_2 + A_3 + x$$

$$- Z_1 = Z_2 + Z_3$$

### Info

La fission nucléaire est utilisée pour produire de l'énergie dans les réacteurs des centrales nucléaires

Lorsqu'un noyau d'**uranium 235** est bombardé par un neutron **lent** (ou **thermique**), il en libère trois autres : on parle de "**réaction en chaîne**"

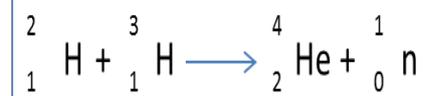
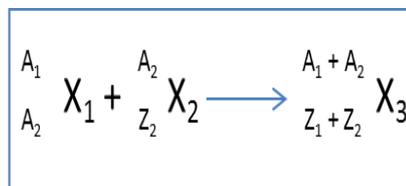


## 2) LA FUSION NUCLÉAIRE

Durant cette réaction, deux noyaux **légers** s'unissent pour former un noyau **plus lourd**.

Exemple

On peut généraliser une telle réaction par une équation comme celle-ci :

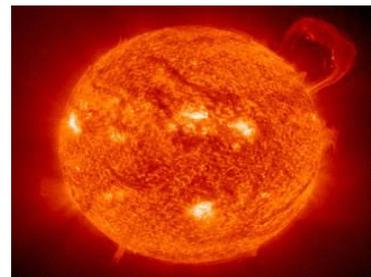


### Info

C'est l'énergie libérée par la fusion nucléaire qui est à l'origine du **rayonnement** de toutes les étoiles qui constituent notre **Univers**

La quantité d'énergie fournie par la fusion nucléaire est spectaculaire, et n'aurait presque aucun impact sur l'environnement.

C'est pourquoi de nombreuses recherches sont financées à ce sujet, notamment dans le cadre du "**projet ITER**"



## V - ORIGINE DE L'ÉNERGIE

## 1. Équivalence masse énergie

a. Relation d'Einstein En 1905, en élaborant la théorie de la relativité restreinte, Einstein postule que la masse est une des formes que peut prendre l'énergie. Postulat d'Einstein: Un système de masse  $m$  possède lorsqu'il est au repos, une énergie:

$$E = m \cdot c^2 \quad \text{avec} \quad \begin{cases} E: \text{énergie du système en joules (J)} \\ m: \text{masse du système en kilogrammes (kg)} \\ c: \text{vitesse de la lumière dans le vide } (c=3,0 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}) \end{cases}$$

Conséquence: Si le système (au repos) échange de l'énergie avec le milieu extérieur, (par rayonnement ou par transfert thermique par exemple), sa variation d'énergie  $\Delta E$  et sa variation de masse  $\Delta m$  sont liées par la relation:  $\Delta E = \Delta m c^2$

Remarque:

- Si  $\Delta m < 0$  alors  $\Delta E < 0$ : le système fournit de l'énergie au milieu extérieur.
- Si  $\Delta m > 0$  alors  $\Delta E > 0$ : le système reçoit de l'énergie du milieu extérieur.

b. Unités de masse et d'énergie Le joule est une unité d'énergie inadaptée à l'échelle microscopique. On utilise plutôt à cette échelle l'électron volt (noté eV):  $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Remarque: On utilise aussi le MeV:  $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ . A cette échelle, il est possible d'utiliser comme unité de masse l'unité de masse atomique (notée u). L'unité de masse atomique est définie comme

étant égale au douzième de la masse d'un atome de carbone  $^{12}_6\text{C}$ .

$$1 \text{ u} = \frac{M(^{12}_6\text{C})}{12 \cdot N_A} \Rightarrow 1 \text{ u} = \frac{12,0 \cdot 10^{-3}}{12 \times 6,02 \cdot 10^{23}}$$

$$\text{Donc } 1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

### EXERCICES D'APPLICATIONS

#### Exercice N°1

Le bismuth  $^{210}_{83}\text{Bi}$  est radioactif  $\beta^-$  et se transforme en polonium Po.

- 1) Ecrire l'équation de cette désintégration et expliquer la formation de la particule émise.
- 2) a-Par application de la relation masse- énergie, déterminer l'énergie libérée par la transformation d'un seul noyau de bismuth (210)

**On donne :  $m(\text{Bi}) = 210,05088 \mu$  ;  $m(\text{Po}) = 210,04962 \mu$  ;  $m(\beta^-) = 0,00055 \mu$  .**

**$1 \mu = 931,5 \text{ MeV}/c^2$  ,  $N_A = 6,023 \cdot 10^{23}$  et  $1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$**

b- trouver l'énergie libérée par une masse  $m = 0,15 \text{ g}$  de bismuth (210)

3) La période du bismuth est  $T = 5$  jours.

Un échantillon de bismuth  $^{210}\text{Bi}$  a une masse  $m_0 = 1 \text{ g}$  à  $t = 0 \text{ s}$

- a) Définir la période d'un radioélément
- b) Calculer la masse  $m_1$  de cet échantillon au bout d'une durée  $t_1 = 20$  jours.
- c) Calculer le nombre de noyaux  $^{210}\text{Bi}$  désintégrés à  $t_1$ .

$$M_{\text{Bi}} = 210 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} ;$$

#### Correction :



D'après les lois de Soddy

Lois de conservation de nombre de masses

$$210 = A + 0 \quad \text{donc } A = 210$$

Lois de conservation de nombre des charges

$$83 = Z - 1 \text{ donc } Z = 84$$



L'électron (*la particule émise*) formé est obtenu suite à une transformation à l'intérieur du noyau d'un neutron en un proton :



2) a- La relation masse-énergie  $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$

$$\Delta m = m_f - m_i = (m(\text{Po}) + m(\beta^-)) - m(\text{Bi})$$

$$\text{AN : } \Delta m = (210,04962 + 0,00055) - 210,05088 = 0,00071 \mu$$

$$\Delta E = 0,00071 * 931,5 = 0,661365 \text{ Mev.}$$

b- le nombre de noyaux qu'il y a dans 0,15 g de Bi est  $N = (0,15 / 210) * 6,02310^{23}$

$N = 4,3 \cdot 10^{20}$ . Ce qui donne que l'énergie totale libérée est  $E = N * \Delta E$ .

$$E = 4,310^{20} * 0,661365 \text{ Mev} = \mathbf{2,845 \cdot 10^{20} \text{ Mev} = 45,52 \cdot 10^6 \text{ j.}}$$

3) a- La Période radioactive, notée T ou  $t_{1/2}$ , d'un échantillon de noyaux radioactifs est égale à la durée nécessaire pour que, statistiquement, la moitié des noyaux radioactifs initialement présents dans l'échantillon se désintègrent.

b-  $t_1 = 20j = 4T$ . D'après la loi de décroissance  $m_1 = m_0 / 2^4 = m_0 / 16$

$$m_1 = 1/16 = 62,5 \text{ mg} \text{ donc } m_1 = \mathbf{62,5 \text{ mg}}$$

c-  $N_d = N_0 / 16$  et  $N_0 = (1 / 210) * 6,02310^{23}$ ,  $N_d = (1 / 210) * 6,02310^{23} / 16$

$$N_d = \mathbf{1,792 \cdot 10^{20} \text{ noyaux.}}$$

## EXERCICE 2

1) Définir la radioactivité.

2) Reproduire sur la copie à remettre et compléter le tableau suivant :

Type de radioactivité	$\beta^-$	
Particule émise		
Charge		+2e
Symbole de la particule		${}^4_2\text{He}$

3) Le noyau de sodium  ${}^{24}_{11}\text{Na}$  est radioactif  $\beta^-$ . Il se désintègre en magnésium  ${}^A_Z\text{Mg}$ .

Ecrire l'équation de cette réaction nucléaire en énonçant les lois utilisées pour identifier A et Z.

- 4) Sachant que la période radioactive du sodium 24 est  $T = 15$  h :
- Donner la définition de la période d'un radioélément.
  - Déterminer la masse qui reste d'un échantillon de masse  $m_0 = 2$  g au bout d'une durée  $\Delta t = 45$  h.
- 5) Calculer, en joule, l'énergie  $E$  libérée au cours de la transformation d'une masse  $m$  égale à un gramme de sodium 24.

On donne :

Masse d'un noyau de sodium :  $m({}_{11}^{24}\text{Na}) = 23,99096$  u

Masse d'un noyau de magnésium  ${}_{12}^{24}\text{Mg}$  :  $m({}_{12}^{24}\text{Mg}) = 23,98504$  u

Masse d'un électron :  $m_e = 0,00055$  u

Unité de masse atomique :  $u = 1,66 \cdot 10^{-27}$  kg

Masse molaire du sodium :  $M(\text{Na}) = 24$  g.mol<sup>-1</sup>

Célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3 \cdot 10^8$  m.s<sup>-1</sup>

Le nombre d'Avogadro :  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  mol<sup>-1</sup>

Extrait (Bac session juin 2011)

Correction (exercice 2) :

1) la radioactivité est une propriété qu'ont certains noyaux (ceux qui sont instables) dits père, de se désintégrer pour créer de nouveaux noyaux dits fils, en émettant des particules.

3)



Loi de CNM et la Loi de CNC

4) a- La Période radioactive, notée  $T$  ou  $t_{1/2}$ , d'un échantillon de noyaux radioactifs est égale à la durée nécessaire pour que, statistiquement, la moitié des noyaux radioactifs initialement présents dans l'échantillon se désintègrent.

b-  $m = m_0 / 2^3 = m_0 / 8 = 2 / 8 = 0,25$  g

5)  $\Delta m = m_f - m_i = m({}^{23}\text{Na}) + m(e) - m({}^{23}\text{Mg}) = 0,00537$  u

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 0,00537 * 931,5 \text{ Mev} = 5,002 \text{ Mev} = 5,002 * 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ j}$$

$$E = N * \Delta E = (1/24) * 6,023 \cdot 10^{23} * 8,0032 \cdot 10^{-13} = 2,008 \cdot 10^{10} \text{ j}$$

$$E = ,008 \cdot 10^{10} \text{ j}$$

2)

Type de radioactivité	$\beta^-$	$\alpha$
particule émise	électron	Noyau d'hélium
Charge	-1	+2
Symbole de la particule	${}_{-1}^0\text{e}$	${}_{2}^4\text{He}$