

La radioactivité

8.1 Principe de la radioactivité

La *radioactivité* est un processus qui se situe dans le noyau des atomes. Dans le phénomène de radioactivité, la nature des éléments change, car la composition du noyau change (Z et A). Quand un noyau d'un atome se brise ou quand deux noyaux d'atomes fusionnent, on peut observer l'émission de rayonnement électromagnétique et l'éjection de particules ayant une masse.

Dans tous les cas, ce rayonnement et ces particules transportent une *très grande énergie*, et sont capables d'*ioniser* la matière environnante, c'est à dire d'arracher des électrons aux atomes et aux molécules.

Le rayonnement (*photon*) est dans la gamme d'énergie des rayons gamma (γ). Les particules éjectées sont des noyaux d'Hélium (α), des électrons (β^-), des positrons (β^+), des neutrons (n) et des neutrinos (ν).

Le pouvoir de pénétration de ces rayonnement et de ces particules dépend de leur nature et de leur énergie.

8.2 Radioactivité naturelle

Pour certains éléments, leurs isotopes ne sont pas forcément stables, et au bout d'un certain temps, le noyau éjecte des charges électriques, de la masse et de l'énergie pour améliorer sa stabilité car il y a une compétition entre des forces répulsives (charges électriques des protons) et attractives (force d'interaction faible et forte).

Il y a trois types de désintégrations possibles (voir table 8.1 et figure 8.1). Elles vont permettre à des éléments de retrouver la vallée de la stabilité dans le tableau de Ségré (figure 8.2).

Exemples : voir tableau p.140, colonne « exemple d'équation de réaction ».

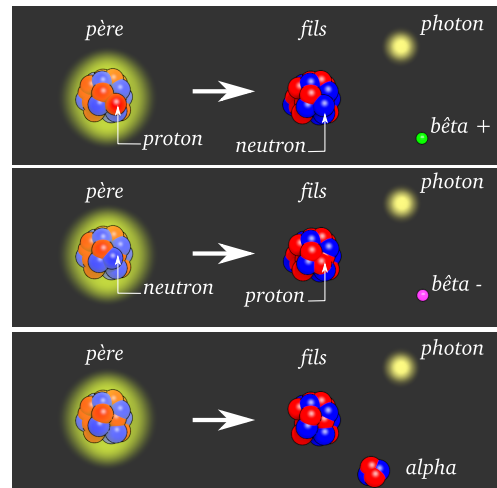
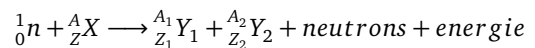


Figure 8.1 – Les trois types de radioactivité naturelle

8.3 Radioactivité artificielle : la fission

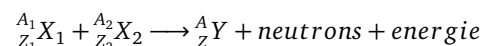
On bombarde un noyau lourd avec des neutrons, et ce noyau éclate, en éjectant à son tour des neutrons et de l'énergie sous forme de rayons gamma et des noyaux plus légers. Cette réaction en chaîne peut rapidement diverger si on ne la contrôle pas en absorbant une partie de ces neutrons éjectés (figure 8.3).



Exemples : voir tableau p.140, ligne « Fission », colonne « exemple d'équation de réaction ».

8.4 Radioactivité artificielle : la fusion

Lors d'une réaction de fusion, deux noyaux légers s'associent pour former un noyau plus lourd. Il y a un dégagement d'énergie lors du processus (figure 8.4).



Type de radioactivité	Cause	Modélisation
Alpha α	Il y a trop de protons et de neutrons, le noyau éjecte deux protons et deux neutrons sous forme d'un noyau d'hélium appelé « particule alpha ».	${}^A_ZX \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2He + \text{energie}$
"Bêta plus" β^+	Le noyau éjecte une charge électronique positive (positron) ce qui permet de transformer un proton en neutron. Un anti neutrino et de l'énergie s'échappent également.	${}^A_ZX \longrightarrow {}^A_{Z-1}Y + \beta^+ + {}^0_0\bar{\nu} + \text{energie}$
"Bêta moins" β^-	Le noyau éjecte une charge électronique négative (électron) ce qui permet de transformer un neutron en proton. Un neutrino est éjecté.	${}^A_ZX \longrightarrow {}^A_{Z+1}Y + \beta^- + {}^0_0\nu + \text{energie}$

Table 8.1 – Les trois types de radioactivité naturelle possibles

Exemples : voir tableau p.140, ligne «Fusion», colonne « exemple d'équation de réaction ».

8.5 Réaction nucléaire

8.5.1 Règles de conservation (lois de Soddy)

Lors d'une réaction nucléaire, on conserve le nombre de masse (« la somme des A est constante ») et la charge électrique (« la somme des Z est constante »)

8.5.2 Défaut de masse

La masse totale des particules au début de la réaction est plus grande que la somme des masses des particules à la fin de la réaction. La différence de masse Δm est transformée en énergie libérée $\Delta E_{liberee} = \Delta m \times c^2$. C'est la relation d'Einstein. L'énergie est en Joules, la masse en kg et c est la vitesse de la lumière en $m.s^{-1}$.

8.5.3 Écriture d'une réaction nucléaire et calcul de l'énergie libérée

On équilibre la réaction pour satisfaire les règles de conservation de Soddy, puis on calcule la masse initiale des réactifs puis la masse finale des produits pour calculer le défaut de masse et enfin l'énergie libérée.

Exemple Voir p.141 tableau en bas de page. Il faut faire attention à ne pas arrondir les résultats, car on soustrait des nombres qui ne diffèrent qu'à partir de la troisième décimale. Ce tableau est à savoir refaire.

8.6 Détection et mesure

8.6.1 Détecteur

Le processus radioactif produit des rayonnements et des particules chargées qui vont ioniser la matière, c'est à dire arracher des électrons sur leur passage. Les détecteurs vont mettre en évidence la présence de ces ions par mesures électriques (chambre d'ionisation, chambre à étincelle détecteur Geiger), par des réactions chimiques (film argentique, film dosimètre), par des changements d'états de la matière (chambre à bulle, chambre à brouillard) ou par des phénomènes de recombinaison des électrons avec la matière (matériaux scintillants). Voir TP

8.6.2 Activité et dose

L'activité A est le nombre N de désintégrations radioactives qui se produisent dans un objet en une durée Δt . Elle se mesure en Becquerel (Bq).

$$A = \frac{N}{\Delta t}$$

Exemples d'activités : doc.4 p.139

La dose d'énergie reçue par un objet se mesure en Gray (Gy), $1 Gy = 1 J$ reçu pour $1 kg$ de matière. Pour les organismes vivants, cette dose est pondérée selon l'organe irradié (certains organes sont plus fragiles et l'irradiation est plus sévère).

8.7 Applications

8.7.1 Militaire

Bombe atomique (fission avec de l'uranium ou du plutonium, fusion avec du tritium, isotope de l'hy-

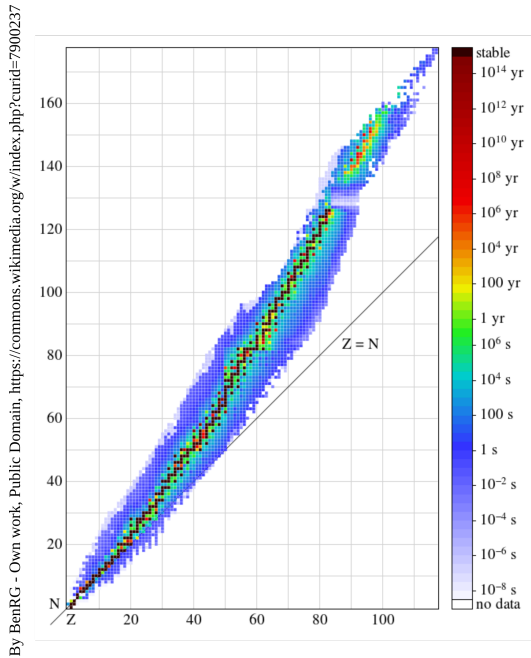


Figure 8.2 – Diagramme de Ségré. Z est le nombre de proton, N le nombre de neutron, les unités de temps sont la seconde (s) et l'année (yr). Le diagramme représente la durée de demie vie d'un isotope d'un élément (BenRG- wikimedia.org)

drogène). Tentative de réalisation de moteurs fusées pour chauffer à très haute température du carburant passant sur un réacteur nucléaire (« un peu dangereux » pour l'environnement et les pilotes cependant).

8.7.2 Énergie et aérospatiale

Centrale nucléaire (production de vapeur pour faire tourner une turbine d'alternateur), générateur radio isotopique pour les sondes spatiales et des robots d'explorations : la chaleur du bloc radioactif crée du courant électrique grâce à des cellules à effet Seebeck.

Voir <http://solarsystem.nasa.gov/rps/rtg.cfm>

8.7.3 Santé

Diagnostic (TEP Scan, scintigraphie) et thérapeutique (irradiation de cellules cancéreuse).

8.7.4 Industrie

Idem santé. Stérilisation d'objets fragiles dans des musées (bois, cuirs, tissus, l'irradiation va tuer les champignons, moisissures et parasites).

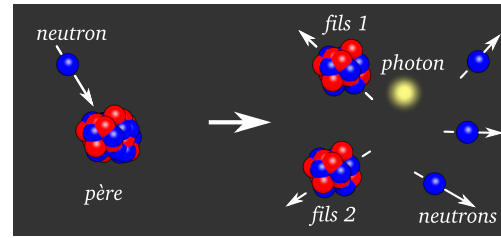


Figure 8.3 – Fission d'un noyau sous l'effet de l'impact d'un neutron

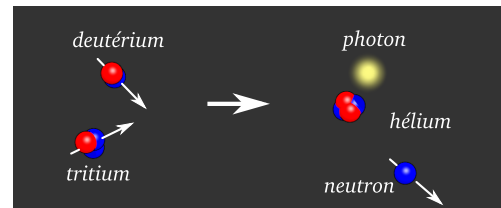


Figure 8.4 – Fusion du tritium et du deutérium, isotopes de l'hydrogène

8.8 Exercices

- | | | |
|-------------|-------------|-------------|
| Ex.6 p.146 | Ex.7 p.146 | Ex.10 p.146 |
| Ex.11 p.146 | Ex.12 p.146 | Ex.14 p.146 |
| Ex.15 p.146 | Ex.16 p.146 | Ex.20 p.147 |
| Ex.22 p.147 | Ex.24 p.148 | Ex.28 p.149 |

8.9 Corrections

Exercice 6 p.146 Dans une désintégration radioactive, la nature chimique des éléments change, car dans le noyau, le nombre de proton est modifié. Donc les désintégrations sont les réactions a) et d).

Exercice 7 p.146 Dans une réaction de fusion, la masse du noyau fils est plus grande. Dans une fission, la masse des noyaux fils sont plus faibles. Fusion : réactions b) d), fission : réactions a), c) et e) sont des transmutations.

Exercice 10 p.146 1. $Activite = \frac{\text{nombre de desintegration}}{\text{temps (en secondes)}} = \frac{5400}{60} = 90 \text{ Bq}$ 2. $\text{Nombre de desintegration} = Activite \times \text{temps}$ donc $N = 90 \text{ Bq} \times (2 \times 60) = 10800 \text{ desintegrations}$

Exercice 11 p.146 1. Il y a conservation de la charge électrique et de la masse lors d'une réaction nucléaire. 2.a ${}_{46}^{107}Pd \rightarrow {}_{-1}^0e + {}_{47}^{107}Ag$ 2.b ${}_{84}^{218}Po \rightarrow {}_{82}^{214}Pb + {}_2^4He$ 2.c ${}_{83}^{208}Bi \rightarrow {}_{82}^{208}Pb + {}_1^0e$ 2.d ${}_{1}^2H + {}_{1}^2H \rightarrow {}_{1}^3H + {}_{1}^1n$

Exercice 12 p.146 a. ${}_{83}^{212}\text{Bi} \longrightarrow {}_2^4\text{X} + {}_{81}^{208}\text{Tl}$ si $Z = 2$ Masse initiale
 alors $X = \text{He}$, l'hélium. b. ${}_{53}^{123}\text{I} \longrightarrow {}_1^0\text{e} + {}_{52}^{123}\text{X}$ si $Z =$
 52 alors $X = \text{Te}$, le tellure. c. ${}_0^1\text{n} + {}_{92}^{235}\text{Bi} \longrightarrow {}_{54}^{139}\text{X} +$
 $3{}_0^1\text{n}$ si $Z = 54$ alors $X = \text{Xe}$, le xénon. d. ${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{X} \longrightarrow$
 ${}_2^4\text{He} + {}_0^1\text{n}$ si $Z = 1$ alors $X = \text{H}$, l'hydrogène.

$$m_i = 3.9021711 \times 10^{-25} + 1.67493 \times 10^{-27} = 3.9189204 \times 10^{-25} \text{ kg.}$$

Masse finale
 $m_f = 2.5553783 \times 10^{-25} + 1.3106009 \times 10^{-25} + 3 \times 1.67493 \times 10^{-27} = 3.9162271 \times 10^{-25} \text{ kg.}$

Exercice 14 p.146 ${}_2^3\text{He} + {}_2^3\text{He} \longrightarrow 2{}_1^1\text{H} + {}_2^4\text{He}$.

Perte de masse
 $\Delta m = 3.9189204 \times 10^{-25} - 3.9162271 \times 10^{-25} = 2.6933 \times 10^{-28} \text{ kg.}$

Exercice 15 p.146 ${}_0^1\text{n} + {}_{92}^{235}\text{U} \longrightarrow {}_{40}^{95}\text{Zr} + {}_{52}^{138}\text{Te} + 3{}_0^1\text{n}$.

Énergie libérée
 $\Delta E = 2.6933 \times 10^{-28} \times (2.99 \times 10^8)^2 = 2.42 \times 10^{-11} \text{ J.}$

Exercice 16 p.146 1. $E_{liberee} = \Delta m \times c^2$ avec $E_{liberee}$ en Joule, $c = 2.99 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ et Δm perte de masse en kg. 2. Voir p. 141.

Exercice 20 p.147 1. C'est une désintégration al-pha. 2. et 3. voir p.141. Voir table 8.2.

Réactifs	Produits	
${}_{80}^{222}\text{Rn} \longrightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{84}^{218}\text{Po}$		
$3.6859160 \times 10^{-25} \text{ kg}$	$6.64466 \times 10^{-27} \text{ kg}$	$3.6193691 \times 10^{-25} \text{ kg}$
$\Delta m = 3.6859160 \times 10^{-25} - 6.64466 \times 10^{-27} - 3.6193691 \times 10^{-25}$		
$\Delta m = 1.003 \times 10^{-29} \text{ kg}$		
$E_{liberee} = 1.003 \times 10^{-29} \times (2.99 \times 10^8)^2 = 8.97 \times 10^{-13} \text{ J}$		

Table 8.2 – Exercice 20 p.147

Exercice 22 p.147

- ${}_{19}^{40}\text{K} \longrightarrow {}_{-1}^0\text{e} + {}_{20}^{40}\text{Ca}$ type β^- .
- ${}_{88}^{226}\text{Ra} \longrightarrow {}_{86}^{222}\text{Rn} + {}_2^4\text{He}$ type α .
- ${}_{85}^{218}\text{At} \longrightarrow {}_{83}^{214}\text{Bi} + {}_2^4\text{He}$ type α .
- ${}_{11}^{22}\text{Na} \longrightarrow {}_1^0\text{e} + {}_{10}^{22}\text{Ne}$ type β^+ .
- ${}_{7}^{13}\text{N} \longrightarrow {}_1^0\text{e} + {}_6^{13}\text{C}$ type β^+ .
- ${}_{83}^{210}\text{Bi} \longrightarrow {}_{-1}^0\text{e} + {}_{84}^{210}\text{Po}$ type β^- .
- ${}_{84}^{210}\text{Po} \longrightarrow {}_{82}^{206}\text{Pb} + {}_2^4\text{He}$ type α .
- ${}_{92}^{234}\text{U} \longrightarrow {}_{90}^{230}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$ type α .
- ${}_{33}^{74}\text{As} \longrightarrow {}_1^0\text{e} + {}_{32}^{74}\text{Ge}$ type β^+ .

Exercice 24 p.148 1.a et 1.b voir p. 141. 2. Énergie libérée par une réaction $E_{liberee} = 2.818 \times 10^{-12} \text{ J}$, énergie libérée par N_A réactions $E_{totale} = N_A \times E_{liberee} = 1.7 \times 10^{12} \text{ J}$. 3.0 Une mole de carbone, soit 12 g de carbone, fournit $2.4 \times 10^5 \text{ J}$ d'énergie. Donc proportionnellement, pour libérer $1.7 \times 10^{12} \text{ J}$, il faut $\frac{1.7 \times 10^{12}}{2.4 \times 10^5} \times 12 = 7.1 \times 10^6 \text{ g} = 84.5 \text{ tonnes}$.

Exercice 28 p.149 1.a ${}_{92}^{235}\text{U}$ et ${}_{92}^{238}\text{U}$. 1.b 92 protons et le complément en neutrons ($235 - 92$ et $238 - 92$). 3.