

# Radioactivité et réactions nucléaires

Qu'est-ce que la radioactivité ?

Quelles énergies les réactions nucléaires dégagent-elles ?

## 1) La réaction nucléaire :

→ activité 1 p 134 : Histoire de la radioactivité

### 1) Un peu d'histoire ...

Les premières traces de radioactivités ont été découvertes par le physicien français Henri BECQUEREL en février 1896, sur un échantillon de sels d'uranium. En 1898, Pierre et Marie CURIE découvrent d'autres composés radioactifs : le polonium et le radium. Ils seront les premières à parler de « radioactivité ». En 1902, Ernest RUTHERFORD découvre que la radioactivité est due à l'émission de particules chargées : les particules  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . Il découvre également que lors de la radioactivité, il y a transformation du noyau d'un élément en noyau d'un autre élément. En 1934, Irène et Frédéric JOLIOT-CURIE découvrent la radioactivité artificielle qui ouvrira les portes de la fission nucléaire.

## 2) Réactions nucléaires spontanées :

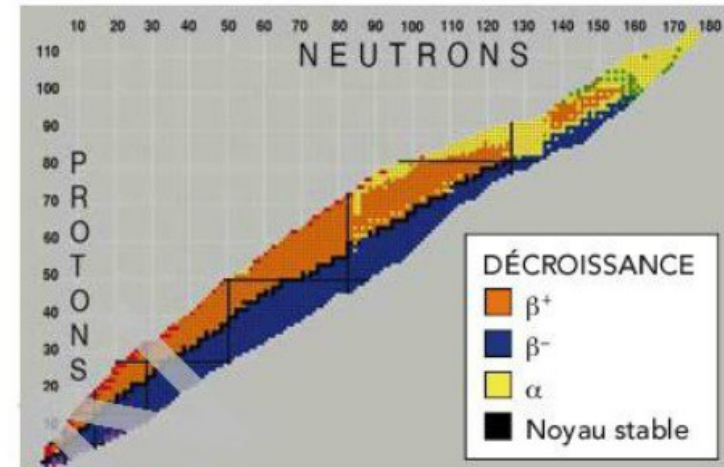
Les principales interactions qui interviennent au niveau des noyaux d'atomes sont les interactions électromagnétiques et fortes. La cohésion d'un noyau résulte de l'équilibre entre ces interactions, auxquelles sont soumis ses nucléons. Lorsqu'un atome contient beaucoup de nucléons, la force forte est insuffisante pour tenir le noyau qui va expulser des particules : c'est le phénomène de radioactivité.

- Les noyaux isotopes d'un élément ne sont pas tous stables (doc. 1).
  - Les noyaux **stables** sont représentés en noir dans le diagramme de Ségré (doc. 2). Lorsque  $Z$  est faible ( $Z < 20$ ), ils ont des nombres de neutrons et de protons sensiblement égaux ( $Z \approx N$ ).
  - Lorsqu'un noyau est **instable**, il peut expulser spontanément une particule et émettre un rayonnement gamma ( $\gamma$ ) de grande énergie. Cette réaction est appelée « désintégration radioactive », au cours de laquelle se forme le noyau d'un autre élément (doc. 3).

La particule émise peut être :

- un électron  ${}_{-1}^0\text{e}$  pour une réaction de type  $\beta^-$  (bêta moins);
- un positon  ${}_{+1}^0\text{e}$  pour une réaction de type  $\beta^+$  (bêta plus);
- un noyau d'hélium  ${}_{2}^4\text{He}$  pour une réaction de type  $\alpha$  (alpha).

Le type de la désintégration radioactive spontanée dépend du type d'instabilité du noyau (doc. 2).



**Doc. 2** Le diagramme de Ségré (ou diagramme  $N,Z$ ) donne la nature de l'instabilité des noyaux en fonction du nombre de neutrons  $N$ , en abscisse, et du nombre de protons  $Z$ , en ordonnée.

<https://www.youtube.com/watch?v=36TMv1gdoBA>  
<https://www.youtube.com/watch?v=rUqvTvdQstA>  
<https://www.youtube.com/watch?v=edotZOqjUDM>

Lors d'une désintégration radioactive, un noyau père se désintègre spontanément en émettant un noyau fils, une particule et un rayonnement électromagnétique  $\gamma$ .  
 L'activité d'un échantillon radioactif est le nombre de désintégrations par seconde. Elle s'exprime en becquerel (Bq).



**Doc. 3** Exemple de désintégration radioactive de type alpha : le noyau « père » se casse en émettant un noyau d'hélium.

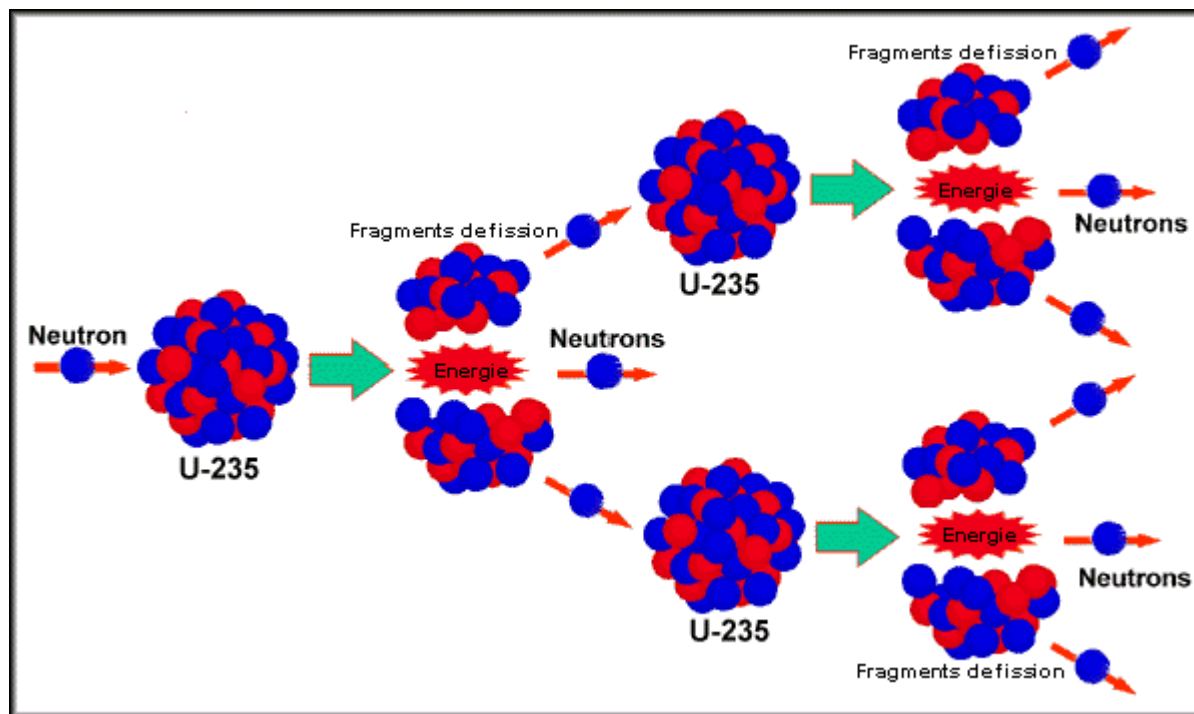
L'activité d'un échantillon radioactif peut-être évaluée avec un compteur Geiger → TP : Mesurons la radioactivité !

**Doc. 4** Activité moyenne de quelques objets quotidiens, donnée pour 1 kg.

Eau du robinet	Lait	Corps humain	Poisson	Granite
				
1 à 2 Bq	80 Bq	110 à 140 Bq	100 à 400 Bq	8 000 Bq

### 3) Réactions nucléaires provoquées :

#### a) La fission :



La fission est utilisée dans les réacteurs des centrales nucléaires pour produire de l'électricité.

Lors d'une réaction de fission, un noyau lourd éclate sous l'impact d'un neutron. Cette réaction délivre deux nouveaux noyaux, des neutrons qui provoquent une réaction en chaîne et beaucoup d'énergie.

## b) La fusion :

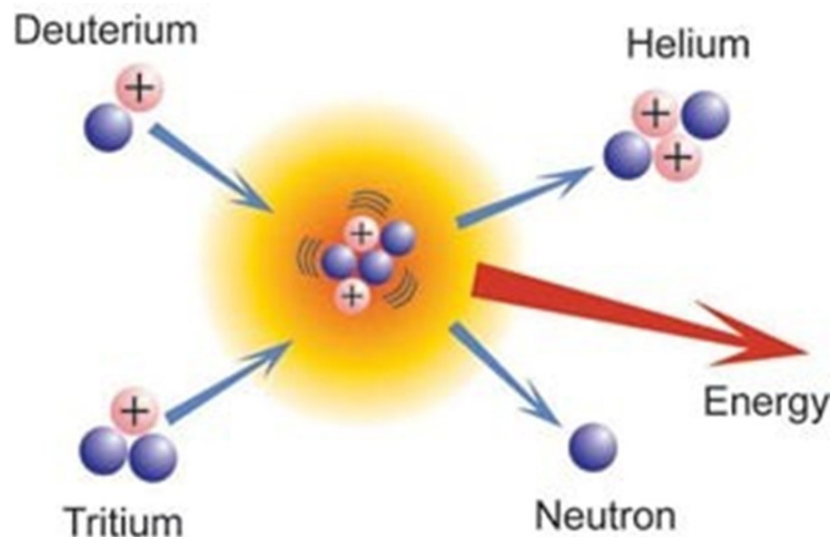
→ activité 3 p 137

Lors d'une réaction de fusion, deux noyaux légers s'associent pour former un noyau plus lourd.

Lors d'une fusion, des particules et un rayonnement électromagnétique  $\gamma$  sont émis ; de l'énergie est libérée.

Dans les étoiles, la  $T^\circ$  et la pression sont très élevées, ce qui procure une énergie importante aux particules. Les réactions de fusion peuvent s'y produire spontanément.

Depuis une trentaine d'années, de nombreux laboratoires étudient la fusion de 2 isotopes de l'hydrogène, le deutérium  ${}^2_1\text{H}$  et le tritium  ${}^3_1\text{H}$ .



## 2) Les équations de réaction nucléaire :

Au cours d'une réaction nucléaire, il y a conservation :

- du **nombre de masse** ;
- du **nombre de charge**.

Ce sont les lois de conservation, dites lois de Soddy.

Exemples :

Type de réaction spontanée	Particule associée	Exemple d'équation de réaction	Conservation du nombre de masse	Conservation du nombre de charge
<b>Alpha (<math>\alpha</math>)</b>	<b>Noyau d'hélium</b> ${}^4_2\text{He}$	${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{234}_{90}\text{Th}$	$238 = 4 + 234$	$92 = 2 + 90$
<b>Bêta moins (<math>\beta^-</math>)</b>	<b>Électron</b> ${}^0_{-1}\text{e}$	${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^0_{-1}\text{e} + {}^{14}_7\text{N}$	$14 = 0 + 14$	$6 = -1 + 7$
<b>Bêta plus (<math>\beta^+</math>)</b>	<b>Positon</b> ${}^0_1\text{e}$	${}^{123}_{53}\text{I} \rightarrow {}^0_1\text{e} + {}^{123}_{52}\text{Te}$	$123 + 0 = 123$	$53 = 1 + 52$

Type de réaction provoquée	Exemple d'équation de réaction	Conservation du nombre de masse	Conservation du nombre de charge
<b>Fission</b>	${}^1_0\text{n} + {}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{94}_{38}\text{Sr} + {}^{139}_{54}\text{Xe} + 3{}^1_0\text{n}$	$1 + 235 = 94 + 139 + 3 \times 1$	$0 + 92 = 38 + 54 + 3 \times 0$
<b>Fusion</b>	${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$	$2 + 3 = 4 + 1$	$1 + 1 = 2 + 0$

### 3) L'énergie libérée par une réaction nucléaire

→ activité p138 : « Quelques applications de la radioactivité »

Lors d'une réaction nucléaire, la masse des produits obtenus est inférieure à la masse des réactifs. La masse manquante, appelée « perte de masse » a pour expression :  $|\Delta m| = |m_{\text{produits}} - m_{\text{réactifs}}|$ .

D'après la célèbre équation d'Einstein, la perte de masse correspond à l'énergie libérée suivant la relation :

$$E_{\text{libérée}} = |\Delta m| * c^2 = |m_{\text{produits}} - m_{\text{réactifs}}| * c^2$$

L'énergie libérée  $E_{\text{libérée}}$  s'exprime en joule (J), la perte de masse  $|\Delta m|$  en kg et la vitesse de la lumière dans le vide  $c$  en m/s avec  $c = 299\,792\,458$  m/s.

Remarque : c'est aussi ce type d'énergie, appelée dans ce cas « énergie de liaison » qui assure la cohésion du noyau.

## Exemple de calcul d'énergie libérée lors d'une réaction de fusion :

Réactifs		Produits				
${}^2_1\text{H}$	+	${}^3_1\text{H}$	$\rightarrow$	${}^4_2\text{He}$	+	${}^1_0\text{n}$
$m({}^2_1\text{H}) = 3,34358 \times 10^{-27} \text{ kg}$		$m({}^3_1\text{H}) = 5,00736 \times 10^{-27} \text{ kg}$		$m({}^4_2\text{He}) = 6,64466 \times 10^{-27} \text{ kg}$		$m({}^1_0\text{n}) = 1,67493 \times 10^{-27} \text{ kg}$
$m_{\text{réactifs}} = 8,35094 \times 10^{-27} \text{ kg}$				$m_{\text{produits}} = 8,31959 \times 10^{-27} \text{ kg}$		
$ \Delta m  =  8,31959 \times 10^{-27} \text{ kg} - 8,35094 \times 10^{-27} \text{ kg}  = 3,135 \times 10^{-29} \text{ kg}$						
$\mathcal{E}_{\text{libérée}} =  \Delta m  \cdot c^2 = 3,135 \times 10^{-29} \times (299\,792\,458)^2 = 2,818 \times 10^{-12} \text{ J}$						

Ordre de grandeur d'énergies libérées :

Type de réaction	Fusion	Fission	Désintégration alpha	Combustion du pétrole
Énergie libérée	$2 \times 10^{11} \text{ J}$ par gramme d'hydrogène fusionné	$8 \times 10^{10} \text{ J}$ par gramme d'uranium 235 fissionné	$2 \times 10^9 \text{ J}$ par gramme de radon 222 désintégré	$4 \times 10^4 \text{ J}$ par gramme de pétrole brûlé

### Conclusion :

Lors d'une réaction nucléaire, de l'énergie est libérée.

$$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = |\Delta m| \cdot c^2$$

Énergie libérée en joule (J)      Perte de masse en kilogramme (kg)      Vitesse de la lumière dans le vide en mètre par seconde ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )