

Séquence 5

Radioactivité

A. Les désintégrations nucléaires

A.1. Le noyau atomique	.....	P1
A.2. Les désintégrations spontanées	.....	P1
A.3. Les lois de conservation	.....	P2

B. La décroissance radioactive

B.1. Loi de décroissance radioactive	.....	P2
B.2. La période radioactive	.....	P3
B.3. Activité d'un échantillon radioactif	.....	P4

A. Les désintégrations nucléaires

A.1. Le noyau atomique

- L'atome est composé d'un **noyau chargé positivement** autour duquel se déplacent des **électrons chargés négativement**

Le noyau est lui-même composé de deux sortes de particules, **les nucléons** constitués

- **des protons** chargés positivement
- **des neutrons** neutres

- Le symbole d'un noyau est A_ZX

Avec A : nombre de masse = nombre de nucléons dans le noyau

Z : numéro atomique (ou nombre de masse) = nombre de protons dans le noyau

Exemple:

noyaux	protons	nucléons	neutrons
${}^{52}_{24}C$	24	52	$52-24 = 28$

A.2. Les désintégrations spontanées

▪ Les interactions répulsives entre les protons, chargés positivement devraient conduire à l'éclatement du noyau ; Pour expliquer la cohésion du noyau, on admet l'existence d'une interaction forte, attractive, qui unit l'ensemble des nucléons et qui prédomine devant l'interaction électrique.

Néanmoins dans certains cas, la cohésion est insuffisante, les noyaux sont alors instables et se désintègrent spontanément

- **Un noyau est dit radioactif**, s'il est instable et se désintègre spontanément (sans l'intervention de l'homme).

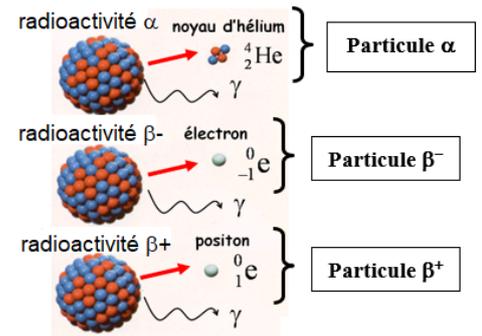
noyau instable → *noyau plus stable*

Un noyau est instable si :

- **il est trop lourd** : composé de trop de protons et de neutrons, il va avoir tendance à perdre des protons et des neutrons pour se stabiliser
- **le nombre de protons est trop important par rapport au nombre de neutrons (ou inversement !)** : il va alors avoir tendance à transformer un proton en un neutron (ou inversement !)

- Lors de sa désintégration, le noyau radioactif émet des particules et un rayonnement γ dangereux pour l'homme qui doit s'en protéger.
- On parle de **radioactivité α** (alpha), **β^-** (béta moins) ou **β^+** (béta plus) suivant le type de particules émises

Type de radioactivité	α	β^-	β^+
Particule émise	Noyau d'hélium	Electron	Positron
	${}^4_2\text{He}$	${}^0_{-1}\text{e}$	${}^0_1\text{e}$



A.3. Les lois de conservation

- Lors d'une transformation nucléaire, il y a conservation du nombre de nucléons (ou nombre de masse) A et du nombre de charges électriques Z .

Soit la désintégration d'un noyau X donnant lieu à la formation d'un autre noyau Y et d'une particule P :



Les lois de conservation impliquent que $A = A_1 + A_2$ et que $Z = Z_1 + Z_2$.

Radioactivité α	Radioactivité β^-	Radioactivité β^+
${}^A_Z\text{X} \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y} + {}^4_2\text{He} + \gamma$	${}^A_Z\text{X} \longrightarrow {}^{A_1}_{Z+1}\text{Y} + {}^0_{-1}\text{e} + \gamma$	${}^A_Z\text{X} \longrightarrow {}^{A_1}_{Z-1}\text{Y} + {}^0_{+1}\text{e} + \gamma$
${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^4_2\text{He}$	${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}\text{e}$	${}^{30}_{15}\text{P} \rightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^0_1\text{e}$

B. La décroissance radioactive

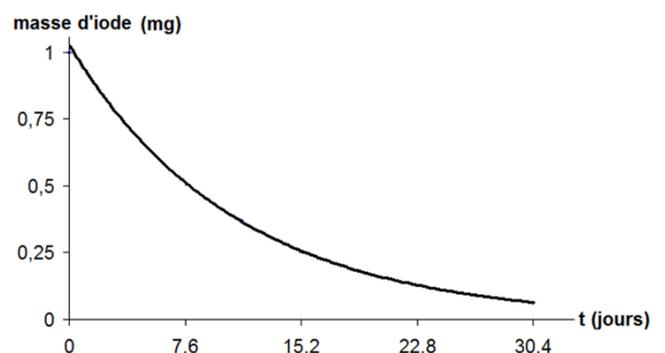
- La désintégration radioactive d'un noyau étudiée dans la partie A. a la propriété d'être :
 - **spontanée** : le noyau instable est le seul réactif ;
 - **aléatoire** : la date à laquelle intervient la désintégration d'un noyau est imprévisible ;
 - **inéluçtable** : un noyau radioactif finit forcément par se désintégrer.

➤ Mais bien que la désintégration d'un seul noyau est aléatoire, on peut tout de même prévoir l'évolution au cours du temps d'une population de noyaux...

B.1. Loi de décroissance radioactive

Exemple : Lors d'une scintigraphie, un patient absorbe 1mg d'iode ${}^{131}\text{I}$ radioactif β^- ; la courbe ci-contre représente l'évolution de la masse d'iode dans le corps du patient au cours du temps

➤ Quelque-soit le noyau radioactif considéré, toutes les courbes de décroissance radioactive ont la même allure.



- On admettra que l'on peut modéliser la courbe représentant l'évolution d'une population de noyaux radioactifs par une exponentielle décroissante :

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

Avec

N_0 : le nombre de noyaux radioactifs présents dans l'échantillon à $t = 0$

λ : la constante radioactive, exprimée en s^{-1} . Sa valeur est propre à chaque noyau.

- Plus la constante radioactive λ est élevée, plus la décroissance de la population est rapide.

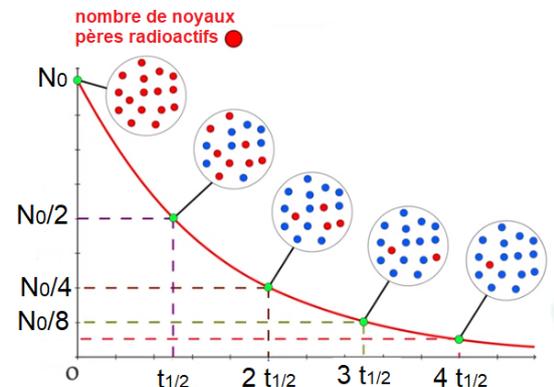
B.2. La période radioactive ou demi-vie : $t_{1/2}$

La décroissance du nombre de noyaux radioactifs peut être plus ou moins rapide selon la nature des noyaux, on peut les comparer en utilisant la notion de **période** ou **demi-vie** (noté $t_{1/2}$).

- La période radioactive (ou demi-vie) d'un élément radioactif est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs initialement présents se sont désintégrés

Exemple : Période radioactive de quelques noyaux

^{238}U	^{235}U	^{14}C	^{131}I	^{30}S
$4,5 \cdot 10^9$ ans	$7 \cdot 10^8$ ans	5700 ans	8 jours	3 min



- Au bout d'une durée de 20 périodes, le radioélément est considéré comme inactif

Exemple : Dans l'exemple de la décroissance radioactive de l'iode 131 :

↪ Au bout de 7,6 jours, il reste dans le corps du patient 0,5 mg d'iode soit la moitié de la quantité initiale. La période de l'iode 131 est donc de 7,6 jours

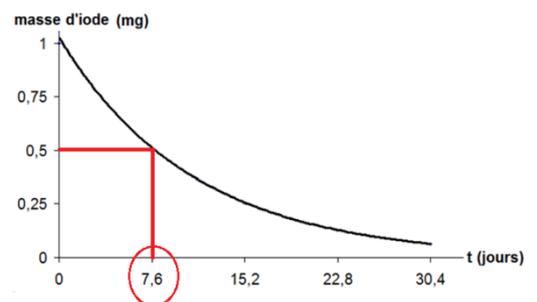
• En médecine, on utilise des éléments radioactifs dont la période est :

- ni trop courte (pour pouvoir faire des examens)
- ni trop longue (pour ne pas irradier le patient trop longtemps)

• Dans les centrales nucléaires, on utilise des éléments radioactifs qui ont une période très longue (uranium) ce qui pose la problème de stockage des matériaux.

La constante radioactive et la période radioactive sont reliées par la relation : $t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$

Remarque : $t_{1/2}$ est inversement proportionnelle à λ , ce qui est cohérent : plus λ est élevée, plus la décroissance est rapide donc plus la durée nécessaire à la désintégration de la moitié de l'échantillon est faible.



Démonstration

$$N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$$

$$N_0 e^{-\lambda \times t_{1/2}} = \frac{N_0}{2}$$

$$e^{-\lambda \times t_{1/2}} = \frac{1}{2}$$

$$-\lambda \times t_{1/2} = \ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\ln(2)$$

$$\lambda \times t_{1/2} = \ln(2)$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$

B.3. Activité d'un échantillon radioactif

- L'activité A d'un échantillon radioactif est égale au nombre de désintégrations par seconde dans l'échantillon. Elle s'exprime en becquerel (Bq) en hommage au physicien du même nom.

1 Bq correspond à une désintégration par seconde.

Exemples :

(1) Un échantillon a une activité de 5 000 Bq : cela signifie que pendant 1 seconde il y a 5000 noyaux qui se désintègrent.

(2) Activités de quelques sources naturelles et artificielles

Toute la matière autour de nous est radioactive. En effet, les isotopes instables se désintègrent spontanément. On peut comparer les activités de différents échantillons :

Sources	Activité (Bq)
1 L d'eau minérale ou d'eau de mer	10
1 L de lait	50 à 80
1 homme de 70 kg	10 000
1 kg de sol granitique	8 000
1 kg de minerai d'uranium	25×10^6
1 kg de radioisotopes pour les diagnostics médicaux	70×10^6

- Si on dispose de l'équation de la courbe $N(t)$, on peut déterminer $A(t)$ l'équation de la courbe représentant la variation de l'activité d'un échantillon au cours du temps par

$$A(t) = -\frac{dN}{dt}(t)$$

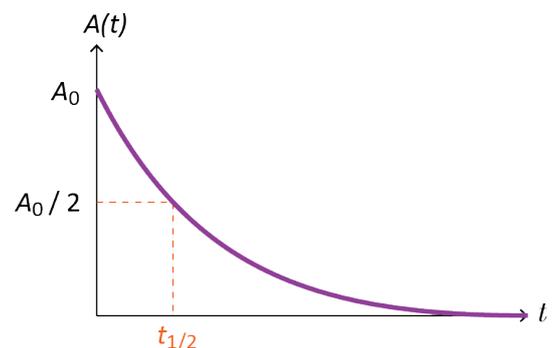
$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$A(t) = -\frac{dN}{dt}(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

- L'activité suit donc une loi de décroissance radioactive analogue à $N(t)$

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

Avec $A_0 = \lambda N_0$ activité de l'échantillon à $t = 0$



Remarque : on a donc $A(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \lambda N(t)$