

Vu en 1<sup>re</sup>

# La transformation nucléaire

## Écriture conventionnelle d'un noyau

Nombre de masse = nombre de nucléons



Numéro atomique = nombre de protons

## Noyaux isotopes

Nombres de nucléons différents donc nombres de neutrons différents



Nombres de protons identiques donc même élément chimique

## TRANSFORMATION NUCLÉAIRE

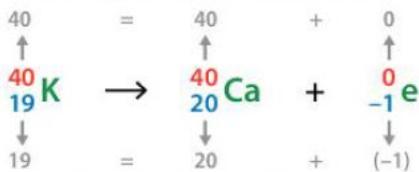
Formation de nouveaux éléments chimiques

Désintégration

## Équation d'une réaction nucléaire

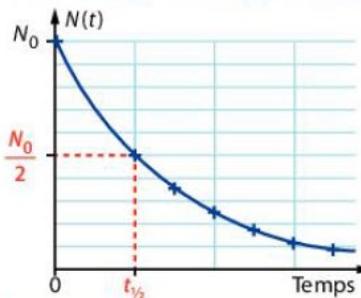
Exemple :

Conservation du nombre de masse A



Conservation du nombre de charge Z

## Demi-vie $t_{1/2}$ d'un noyau radioactif



Si  $t = n \times t_{1/2}$  :

$$N = \frac{N_0}{2^n}$$

Datation au carbone 14

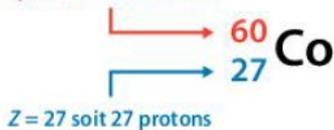
## A La découverte de la radioactivité



➤ Henri BECQUEREL (1852-1908) est le découvreur de la radioactivité en 1896. Il a reçu le prix Nobel en 1903.

## B Le noyau de cobalt 60

$A = 60$  soit 60 nucléons (protons et neutrons)



lycee.hachette-education.com/pc/tle



Équation de réaction nucléaire

VIDÉO DE COURS

## C Symbole des particules

Proton	${}^1_1\text{p}$
Neutron	${}^1_0\text{n}$
Électron	${}^0_{-1}\text{e}$
Positon	${}^0_1\text{e}$

➤ Le proton et le positon portent une charge élémentaire positive (1). Le neutron ne porte pas de charge (0). L'électron porte une charge élémentaire négative (-1).

# 1 La désintégration radioactive

## a. Radioactivités $\alpha$ , $\beta^+$ , $\beta^-$

• La radioactivité est un phénomène physique naturel, aléatoire et spontané, qui concerne certains noyaux (doc. A).

Au cours d'une **désintégration radioactive**, un noyau instable se transforme spontanément en un noyau d'un autre élément chimique. Cette désintégration s'accompagne de l'émission d'une particule et d'un rayonnement gamma.

Le noyau qui se désintègre est appelé **noyau père** et le noyau formé est appelé **noyau fils**. Le noyau fils peut lui-même être radioactif.

**Exemple :** Un noyau de cobalt  ${}^{60}_{27}\text{Co}$  (doc. B), se désintègre spontanément en un noyau de nickel  ${}^{60}_{28}\text{Ni}$ , avec l'émission d'un électron et d'un rayonnement gamma.

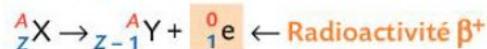
• Il existe **trois types de radioactivité**, caractérisés par la particule émise lors de la désintégration du noyau radioactif :

Particule émise	Symbole	Radioactivité
Électron	${}^0_{-1}\text{e}$	$\beta^-$ (bêta moins)
Positon	${}^0_1\text{e}$	$\beta^+$ (bêta plus)
Noyau d'hélium 4	${}^4_2\text{He}$	$\alpha$ (alpha)

Le nombre en bas à gauche du symbole de la particule émise est appelé **nombre de charge** car il correspond au nombre de charges électriques élémentaires portées par la particule (tableau C).

## b. Équation de réaction de désintégration nucléaire

• Une réaction de désintégration radioactive est modélisée par une équation qui respecte la **conservation du nombre de charge Z** et du **nombre de masse A**.



X est le symbole de l'élément chimique du noyau père et Y celui du noyau fils.

**Exemple :** Désintégration  $\beta^-$  du cobalt 60 :



• Le **rayonnement  $\gamma$  (gamma)** généralement émis lors des désintégrations radioactives n'est pas écrit dans les équations. Il s'agit d'un rayonnement électromagnétique de très courte longueur d'onde, donc de très grande énergie.

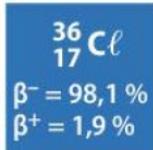
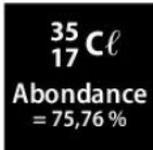
**Exemple :**

La longueur d'onde d'un photon gamma est de l'ordre de  $\lambda = 1 \times 10^{-13}$  m. L'énergie E associée est de l'ordre de  $2 \times 10^{12}$  J :

$$E = h \times \frac{c}{\lambda} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \times 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{1 \times 10^{-13} \text{ m}} = 2 \times 10^{-12} \text{ J.}$$

Cette énergie est environ 3 millions de fois supérieure à celle d'un photon de lumière visible.

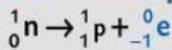
### D Isotopes du chlore dans le diagramme (N, Z)



> Le chlore 35 est un isotope stable. Le chlore 36 est instable : 98,1 % des noyaux sont radioactif  $\beta^-$  et 1,9 % sont radioactif  $\beta^+$ .

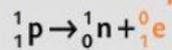
### E Modes de désintégration $\beta^-$ et $\beta^+$

#### Radioactivité $\beta^-$ :



> Dans un noyau radioactif  $\beta^-$ , un neutron se transforme en un proton et un électron est expulsé du noyau.

#### Radioactivité $\beta^+$ :



> Dans un noyau radioactif  $\beta^+$ , un proton se transforme en un neutron et un positon est expulsé du noyau.

### Point maths

#### Notation différentielle et dérivée

• En mathématiques, la dérivée se note avec un prime tandis qu'en physique-chimie, on utilise la notation différentielle :

$$f'(t) = \frac{df(t)}{dt}$$

Donc  $\frac{dN(t)}{dt}$  correspond à la dérivée de  $N(t)$  par rapport au temps.

• La solution de l'équation différentielle du premier ordre :

$$\frac{dN(t)}{dt} + \lambda \times N(t) = 0$$

est de la forme :

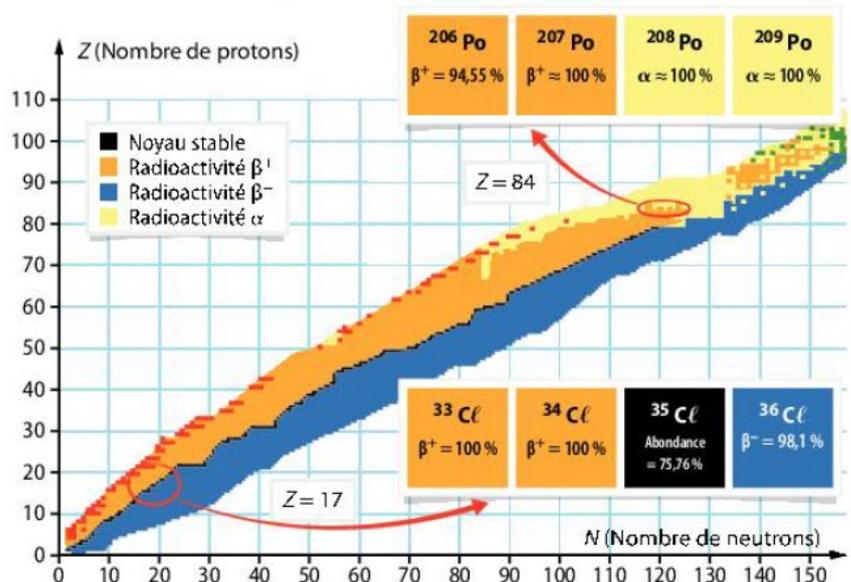
$$N(t) = A \times \exp(-\lambda \times t)$$

La constante A est déterminé à l'aide de la condition initiale.

➔ Côté maths 3, p. 121

## c. Le diagramme (N, Z)

• Le diagramme (N, Z) indique pour chaque élément chimique les isotopes stables et ceux qui sont radioactifs. Le nombre de neutrons  $N$  (égal à  $A - Z$ ) est porté en abscisse et le nombre de protons (égal à  $Z$ ) est porté en ordonnée. Pour les isotopes radioactifs, le type de radioactivité associée ( $\beta^-$ ,  $\beta^+$  ou  $\alpha$ ) est indiqué dans chaque case (doc. D). Tous les isotopes d'un élément se trouvent sur une même ligne.



• Les noyaux avec un excès de neutrons sont radioactifs  $\beta^-$  et ceux avec un excès de protons sont radioactifs  $\beta^+$  (doc. E). Les noyaux lourds avec un excès de nucléons sont radioactifs  $\alpha$ .

## 2 La loi de décroissance radioactive

• Le nombre  $N(t)$  de noyaux radioactifs d'un échantillon diminue au cours du temps. Pendant une durée  $\Delta t$ , la variation  $\Delta N(t)$  est à la fois proportionnelle à la durée et au nombre de noyaux encore présents  $N(t)$  :

$$|\Delta N(t)| = \lambda \times N(t) \times |\Delta t|$$

Le coefficient de proportionnalité  $\lambda$  est appelé **constante radioactive**. Elle est caractéristique du noyau radioactif, et s'exprime en  $s^{-1}$ .

•  $\Delta t > 0$ , mais  $\Delta N(t) < 0$  car le nombre  $N$  de noyaux diminue, donc  $|\Delta N(t)| = -\Delta N(t)$  et  $\Delta N(t) = -\lambda \times N(t) \times \Delta t$ .

Ainsi  $\frac{\Delta N(t)}{\Delta t} = -\lambda \times N(t)$ . Pour  $\Delta t$  petit, on a  $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta N(t)}{\Delta t} = -\lambda \times N(t)$ .

Or  $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta N(t)}{\Delta t} = \frac{dN(t)}{dt}$ , donc  $\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda \times N(t)$ .

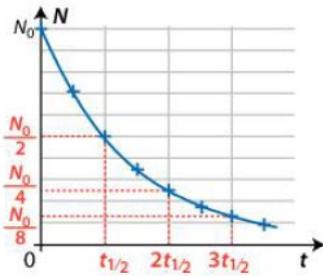
L'équation établie est une équation différentielle du premier ordre. Sa résolution nous fournit l'évolution temporelle de la population de noyaux radioactifs (Point maths).

L'évolution au cours du temps du nombre  $N(t)$  de noyaux radioactifs d'un échantillon peut être modélisée par la **loi de décroissance radioactive** :

$$N(t) = N_0 \times \exp(-\lambda \times t)$$

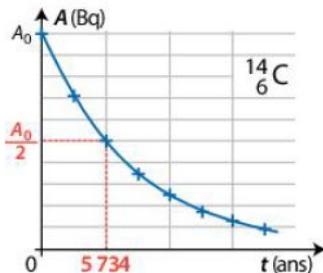
Nombre initial de noyaux radioactifs, sans unité    Constante radioactive en  $s^{-1}$     t en s

## F Courbe de décroissance radioactive et demi-vie



➤ À chaque demi-vie écoulée, le nombre de noyaux radioactifs encore présents est divisé par deux.

## G Activité du carbone 14



➤ Le carbone 14 est radioactif de type  $\beta^-$ . Sa demi-vie est égale à 5 734 ans et permet de dater des objets jusqu'à 50 000 ans.

[lycee.hachette-education.com/pc/tle](http://lycee.hachette-education.com/pc/tle)



VIDÉO DE COURS

### COMPLÉMENT

Les fonctions **logarithme népérien**  $\ln(x)$  et **exponentielle**  $\exp(x)$  sont des fonctions réciproques l'une de l'autre pour  $x > 0$  :

$$\ln(\exp(x)) = \exp(\ln(x))$$

## H La scintigraphie



➤ L'appareil à scintigraphie dispose d'une gamma-caméra qui détecte le rayonnement  $\gamma$  issus de la désintégration de noyaux radioactifs.

• On peut déterminer la demi-vie d'un noyau radioactif à partir de la **courbe de décroissance radioactive** (graphique. **F**).

La **demi-vie**, notée  $t_{1/2}$ , est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs initialement présents se sont désintégrés.

• On peut relier la demi-vie à la constante radioactive :

$$N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2} \Leftrightarrow N_0 \times \exp(-\lambda \times t_{1/2}) = \frac{N_0}{2} \Leftrightarrow \exp(-\lambda \times t_{1/2}) = \frac{1}{2}$$

$$\Leftrightarrow -\lambda \times t_{1/2} = \ln\left(\frac{1}{2}\right), \text{ d'où } t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}.$$

## 3 Applications et radioprotection

### a. Activité d'un échantillon

L'**activité d'un échantillon radioactif** correspond au nombre de désintégrations radioactives par seconde ayant lieu dans l'échantillon. Elle se note  $A$ . Son unité est le becquerel (Bq) ; un becquerel est égal à une désintégration radioactive par seconde.

$$A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} \Leftrightarrow A(t) = \lambda \times N(t) \Leftrightarrow A(t) = \lambda \times N_0 \times \exp(-\lambda \times t)$$

$$\Leftrightarrow A(t) = A_0 \times \exp(-\lambda \times t) \text{ avec } A_0 = \lambda \times N_0.$$

L'évolution au cours du temps de l'activité  $A(t)$  peut être modélisée par la **loi de décroissance radioactive** :

$$A_0, \text{ activité à l'instant initial, en Bq} \quad \lambda \text{ en s}^{-1}$$

$$A(t) = A_0 \times \exp(-\lambda \times t)$$

$t \text{ en s}$

### b. Datation d'un objet

La mesure de l'activité du carbone 14 (doc. **G**) d'un échantillon est utilisée en archéologie pour évaluer l'âge d'objets fabriqués à partir de matière organique. Connaissant l'activité d'un gramme de carbone issu de matière organique vivante  $A_0$  et celle d'un gramme de carbone issu de l'objet à dater  $A(t)$ , on calcule le temps écoulé  $t$  depuis la fabrication de l'objet :

$$A(t) = A_0 \times \exp(-\lambda \times t) \Leftrightarrow -\lambda \times t = \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right) \Leftrightarrow t = -\frac{1}{\lambda} \times \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right)$$

Soit, en utilisant la demi-vie du noyau :

$$t = -\frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \times \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right) = \frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \times \ln\left(\frac{A_0}{A(t)}\right)$$

### c. Médecine et radioprotection

• Des noyaux radioactifs de courte durée de vie sont utilisés en médecine pour l'investigation ou le traitement. Par exemple, l'iode 131 est utilisé pour réaliser des images de la thyroïde (doc. **H**).

• Les personnes susceptibles d'être exposées aux radiations, appelées aussi **rayonnement ionisant**, portent des tenues adaptées au risque encouru : combinaisons, gants, surchaussures, masque, tablier plombé.

• Risques encourus dépendant des particules émises et du rayonnement :

Particule $\alpha$	Pénétration faible ( $< 10 \mu\text{m}$ )	Aucun danger
Particule $\beta$	Peu pénétrante	Lésions cutanées
Rayonnement $\gamma$	Très pénétrante	Tissus ou organes atteints

# 1 La désintégration radioactive

## Radioactivité

Un **noyau instable (noyau père)** se désintègre spontanément en se transformant en un **noyau d'un autre élément chimique (noyau fils)**, en émettant une **particule** et un rayonnement gamma.

### Équation de désintégration radioactive

Exemple :

Conservation de A :  $60 = 60 + 0$



Conservation de Z :  $27 = 28 - 1$

### Particules

- Noyau d'hélium  ${}_{2}^4\text{He}$  : radioactivité  $\alpha$
- Électron  ${}_{-1}^0\text{e}$  : radioactivité  $\beta^{-}$
- Positron  ${}_{1}^0\text{e}$  : radioactivité  $\beta^{+}$

### Diagramme (N, Z)

pour identifier le type de radioactivité et le noyau fils.

# 2 La loi de décroissance radioactive

## Loi de décroissance radioactive

Nombre de noyaux radioactifs encore présents

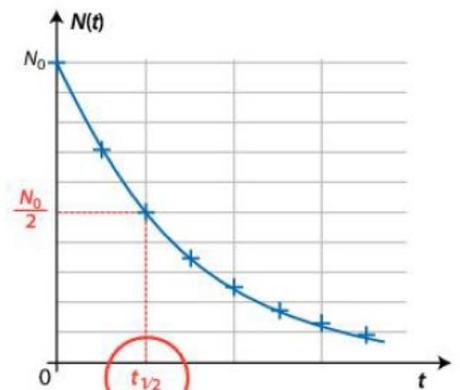
Nombre initial de noyaux radioactifs

Constante radioactive ( $\text{s}^{-1}$ ) si t en s

$$N(t) = N_0 \times \exp(-\lambda \times t)$$

ou 
$$t = \frac{-1}{\lambda} \times \ln\left(\frac{N}{N_0}\right)$$

## Courbe de décroissance radioactive



### Demi-vie

La demi-vie d'un noyau radioactif est égale à la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux initialement présents se sont désintégrés :

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

# 3 Applications et radioprotection

## Activité d'un échantillon

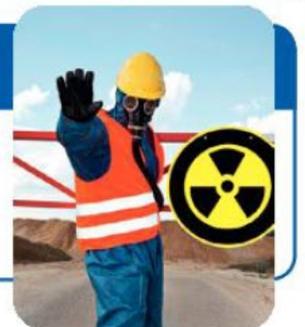
L'activité d'un échantillon de noyaux radioactifs est égale au nombre de désintégrations radioactives par unité de temps dans l'échantillon :

$$A(t) = A_0 \times \exp(-\lambda \times t) \text{ avec } A_0 = \lambda \times N_0$$

(1 Bq = 1 désintégration par seconde)

## Se protéger de la radioactivité

Du matériel dit de radioprotection permet de se protéger des rayonnements ionisants.



## Applications de la radioactivité

- Pour la **datation** d'objets très anciens (par exemple à l'aide du carbone 14).
- En **médecine** : imagerie médicale et traitement des cancers.