

1 LA RADIOACTIVITE

➤ Le noyau de l'atome

Le noyau de l'atome est constitué de protons et neutrons. Les atomes d'un même élément chimique ont le même nombre de protons mais peuvent avoir un nombre de neutrons différent, ce sont des

Nombre de nucléons (= protons + neutrons)
ou nombre de masse

$\begin{matrix} A \\ Z \end{matrix} X$ Symbole de l'élément (par exemple : H, C, Fe, etc.)

Numéro atomique (= nombre de protons)
ou nombre de charge

EXEMPLE Le noyau de l'atome d'hydrogène possède 1 proton et le nombre de neutrons peut être égal à 0, 1 ou 2. On symbolise ces différents noyaux de la façon suivante :

${}^1_1\text{H}$



${}^2_1\text{H}$



${}^3_1\text{H}$



${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$ et ${}^3_1\text{H}$ sont des isotopes de l'hydrogène.

1 proton et 0 neutron 1 proton et 1 neutron 1 proton et 2 neutrons

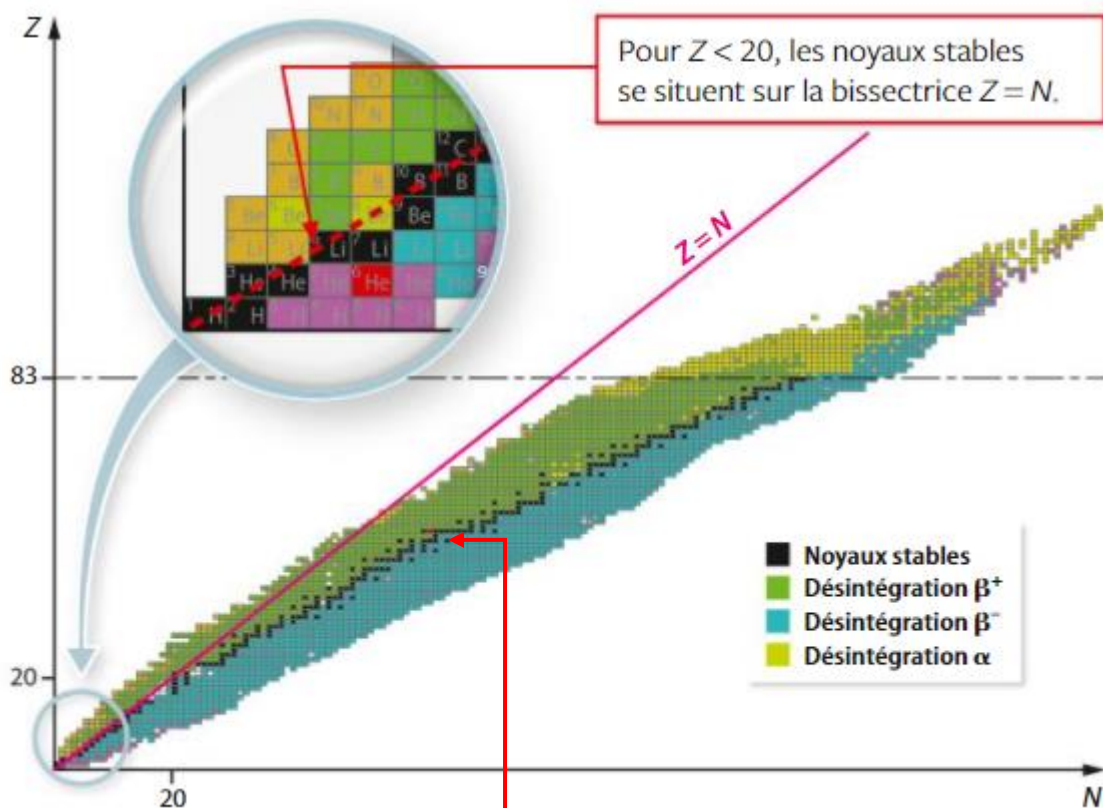
➤ Instabilité des noyaux radioactifs

La stabilité nucléaire correspond à l'état d'un noyau atomique dans lequel la force nucléaire est aux forces de répulsion entre les protons.

Un atome dont le noyau est instable est dit « ».

Il existe près de 2000 noyaux d'atomes dont seulement 279 sont stables.

Le diagramme (N, Z) référence l'ensemble des noyaux connus.



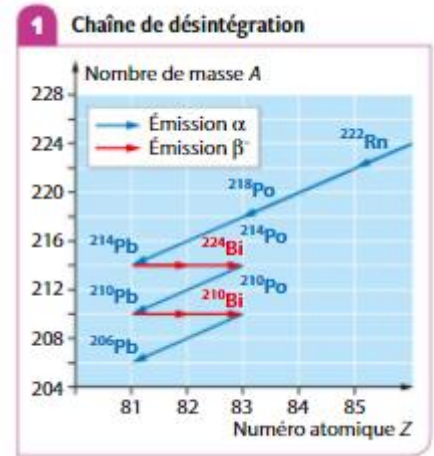
➤ Les désintégrations radioactives

La radioactivité est un phénomène physique :

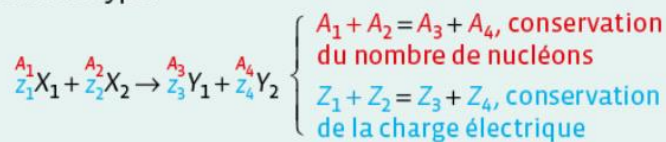
-
-
-

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.



Lors d'une transformation nucléaire, il y a **conservation de la charge électrique et du nombre de nucléons**. Cela est traduit par une équation de réaction du type :



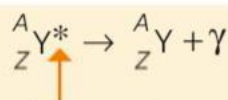
Lois de conservation (lois de Soddy)

[Equation d'une réaction](#)

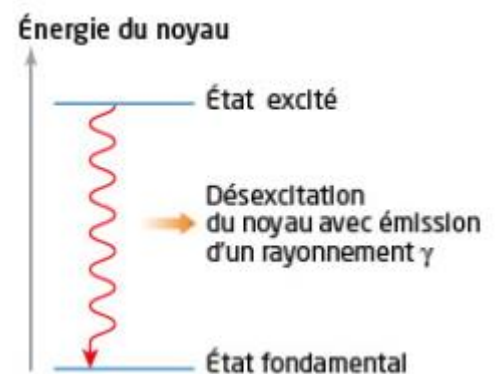


Radioactivité α	Radioactivité β⁻	Radioactivité β⁺
Émission d'un noyau, particule α : ${}_2^4\text{He}$	Émission d'un Émission d'un antineutrino ${}_0^0\bar{\nu}_e$	Émission d'un Émission d'un neutrino ${}_0^0\nu_e$
${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y_1 + {}_2^4\text{He}$	${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY_1 + {}_{-1}^0e + {}_0^0\bar{\nu}_e$	${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^AY_1 + {}_1^0e + {}_0^0\nu_e$
Exemple : polonium-210 ${}_{84}^{210}\text{Po} \rightarrow \quad + {}_2^4\text{He}$	Exemple : cobalt-60 ${}_{27}^{60}\text{Co} \rightarrow \quad + {}_{-1}^0e + {}_0^0\bar{\nu}_e$	Exemple : phosphore-30 ${}_{15}^{30}\text{P} \rightarrow \quad + {}_1^0e + {}_0^0\nu_e$

• Le **rayonnement γ (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.



L'astérisque signifiant que le noyau est à l'état excité.



2 LOI DE DECROISSANCE RADIOACTIVE

➤ Evolution temporelle d'une population de noyaux radioactifs

Comme dit précédemment, la désintégration d'un noyau radioactif est un phénomène aléatoire. Si un échantillon contient un grand nombre $N(t)$ de noyaux radioactifs identiques à une date t , il est possible de réaliser une étude statistique et d'en déduire l'évolution temporelle de la population de noyaux radioactifs.

La probabilité $p(t)$ pour qu'un noyau isolé se désintègre entre les dates t et $t + \Delta t$, donc pendant une durée Δt , est égale au quotient du nombre de noyaux se désintégrant pendant cette durée ($N(t) - N(t + \Delta t) = -\Delta N$, $\Delta N < 0$) par le nombre total de noyaux :

$$p(t) = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t)} = -\frac{\Delta N}{N(t)}$$

La probabilité de désintégration d'un noyau par unité de temps est une constante notée λ et nommée du noyau considéré :

$$\lambda = \frac{p(t)}{\Delta t} \quad \left| \begin{array}{l} \text{Unités S.I. :} \\ \lambda \text{ en s}^{-1} \\ p(t) \text{ sans unité} \\ \Delta t \text{ en s} \end{array} \right.$$

Remarque

Cette relation est vérifiée seulement pour des valeurs de Δt telles que : $\lambda \times \Delta t < 1$.

Raisonnement à retenir

En égalisant les deux expressions de cette probabilité :

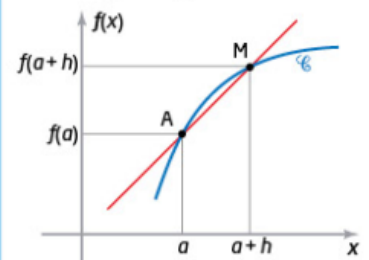
$$p(t) = -\frac{\Delta N}{N(t)} = \lambda \times \Delta t, \text{ soit } \frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda \times N(t).$$

$\frac{\Delta N}{\Delta t}$ ne dépend pas de la durée Δt , donc on peut prendre Δt très faible.

Pour une durée de comptage Δt tendant vers zéro : $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta N}{\Delta t} \right) = \frac{dN}{dt}$ et donc :

POINT MATHS

Pour deux points A et M de la courbe $\mathcal{C}$ d'abscisses respectives a et $a + h$ avec $h \neq 0$, la pente de la droite (AM) est $\frac{f(a+h) - f(a)}{h}$. Si f est dérivable en a , alors cette pente a pour limite $f'(a)$ lorsque h tend vers 0.



$N(t)$: nombre de noyaux radioactifs présents à l'instant t

dérivée de $N(t)$
par rapport au temps

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

(1)

λ : constante radioactive (s^{-1})

Le signe « - » signifie que le nombre de noyaux diminue au cours du temps.

➤ Loi de décroissance radioactive

L'équation différentielle (1) est de la forme : $y' = a \times y$, la solution de l'équation est $y = A \times e^{ax}$.

Par identification : $y' \Leftrightarrow \frac{dN(t)}{dt}$, $a \Leftrightarrow -\lambda$ et $y \Leftrightarrow N(t)$

La solution de cette équation différentielle est la loi de décroissance radioactive :

$$N(t) = \boxed{\phantom{N_0 e^{-\lambda t}}} \quad (2)$$

$N(t)$: nombre de noyaux radioactifs présents à l'instant t

N_0 : nombre de noyaux présents à l'instant initial choisi

➤ Activité d'un noyau radioactif

C'est le nombre de désintégrations qui se produisent par unité de temps dans un échantillon.

L'activité se note $A(t)$ et s'exprime en Becquerel (noté Bq) : 1 Bq = 1 désintégration par seconde.

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

En posant $A_0 = \lambda \times N_0$, on obtient $A(t) = \boxed{\phantom{A_0 e^{-\lambda t}}}$

➤ Temps de demi-vie radioactive

C'est la **durée** $t_{1/2}$ nécessaire pour que la moitié des noyaux radioactifs initialement présents se soient désintégrés.

Le temps de demi-vie est une caractéristique du noyau radioactif.

EXEMPLES

Noyau	Demi-vie $t_{1/2}$
Polonium 214	$0,3 \times 10^{-6}$ s
Radon 222	3,8 jours
Iode 131	8,2 jours
Carbone 14	5 730 ans
Uranium 235	70 millions d'années

Au bout d'un temps de demi-vie $t_{1/2}$, l'équation (2) s'écrit :

$N(t_{1/2})$: nombre de noyaux radioactifs présents à l'instant $t_{1/2}$

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

N_0 : nombre de noyaux radioactifs présents à l'instant initial choisi

λ : constante radioactive (s^{-1})

$t_{1/2}$: temps de demi-vie (s)

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

En simplifiant par N_0 : $\frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{1/2}}$

Par passage au logarithme népérien :

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

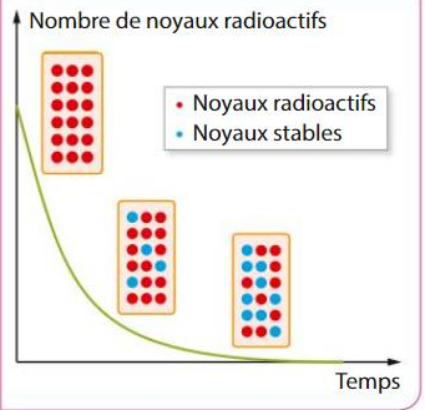
Soit $-\ln(2) = -\lambda t_{1/2}$ et $t_{1/2} = \boxed{\frac{\ln(2)}{\lambda}}$.

Focus MATHS

Au bout d'un temps $t = n \times t_{1/2}$,

$$\text{l'activité } A(n \times t_{1/2}) = \frac{A_0}{2^n}.$$

2 Radioactivité d'un échantillon en fonction du temps



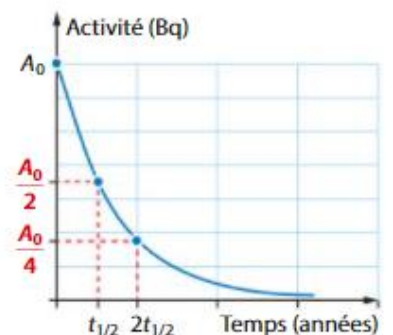
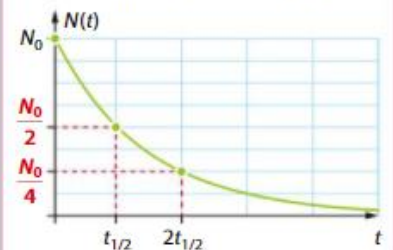
POINT MATHS

Pour une fonction u dérivable, $(e^u)' = u' e^u$, donc :

$$\frac{d(e^{-\lambda t})}{dt} = -\lambda e^{-\lambda t}.$$

3 Évolution du nombre de noyaux radioactifs

Évolution du nombre de noyaux radioactifs $N = f(t)$





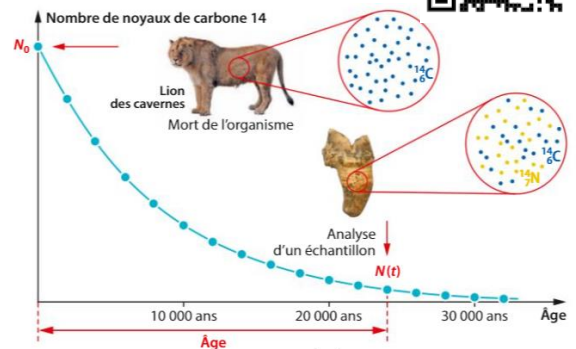
➤ Datation

La mesure de l'activité du carbone 14 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 :

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



➤ Médecine

Certaines techniques d'imagerie médicale utilisent des espèces radioactives, appelées traceurs radioactifs, qui permettent de suivre le fonctionnement des cellules et organes étudiés.

Les traceurs utilisés diffèrent suivant l'organe ciblé par l'imagerie (DOC. 8), mais possèdent tous des temps de demi-vie assez faibles. Ces techniques d'imagerie reposent sur la détection de rayonnement γ grâce à des détecteurs spécifiques nommés gamma-caméras.

Il existe différents types de **scintigraphie**, dont la scintigraphie thyroïdienne qui permet de suivre le fonctionnement de la glande thyroïde grâce à un isotope radioactif de l'iode, l'iode-123.

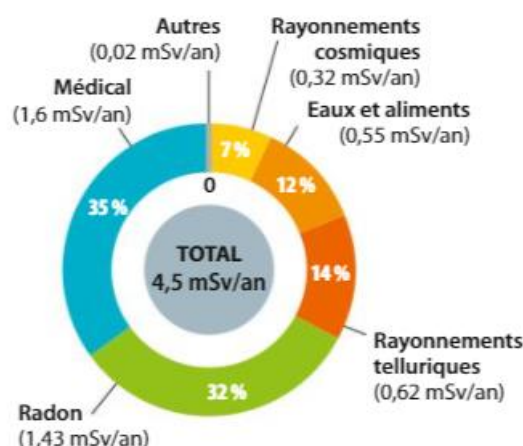


8. Appareil de TEP. La tomographie par émission de positons (TEP) est une technique d'imagerie cérébrale qui met en œuvre un isotope radioactif de l'oxygène, l'oxygène-15.

Les différentes techniques de **radiothérapie** utilisent des particules ou des rayonnements pour détruire des cellules cancéreuses.

➤ Radioprotection

L'ensemble des particules (α , β), ainsi que les photons (X et γ) constituent les rayonnements ionisants. La **dose efficace** de l'exposition aux rayonnements ionisants se mesure en **Sievert (Sv)**, une unité qui permet d'évaluer l'impact des rayonnements sur les êtres humains. L'unité mSv, plus souvent utilisée, tient compte de la quantité d'énergie reçue par seconde et du type de rayonnement.

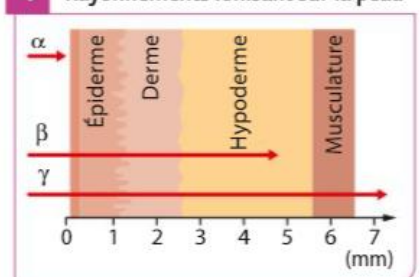


La radioprotection est basée sur le principe « **ALARA** » (« As Low As Reasonably Achievable »), qui signifie « Aussi bas que raisonnablement possible ».

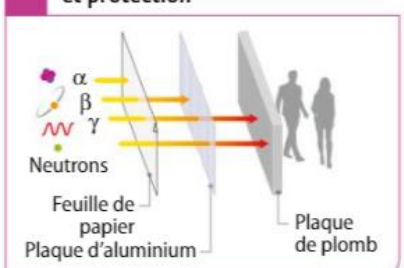
Cela se traduit par :

- Une utilisation d'écrans de protection (vitre et tablier plombés).
- Une limitation de la durée d'exposition.
- L'éloignement de la source radioactive.

4 Rayonnements ionisants sur la peau



5 Rayonnements ionisants et protection



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 ${}^4_2\text{He}$: radioactivité α
- Électron ${}^0_{-1}\text{e}$: radioactivité β^-
- Positron ${}^0_1\text{e}$: radioactivité β^+

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

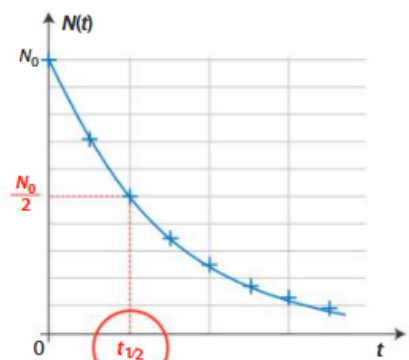
Constante radioactive (s^{-1}) si t en s

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

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.