

Chapitre 18 : Radioactivité

Extrait Programme Tspé

Stabilité et instabilité des noyaux : diagramme (N,Z), radioactivité α et β , équation d'une réaction nucléaire, lois de conservation. Radioactivité γ	- Déterminer, à partir d'un diagramme (N,Z) les isotopes radioactifs d'un élément. - Utiliser des données et les lois de conservation pour écrire l'équation d'une réaction nucléaire et identifier le type de radioactivité.
Évolution temporelle d'une population de noyaux radioactifs ; constante radioactive, loi de décroissance radioactive, temps de demi-vie. Activité. Radioactivité naturelle ; applications à la datation.	- Établir l'expression de l'évolution temporelle de la population de noyaux radioactifs. - Exploiter la loi et une courbe de décroissance radioactive.
Applications dans le domaine médical ; protection contre les rayonnements ionisants.	- Expliquer le principe de la datation à l'aide de noyaux radioactifs et dater un événement. - Citer quelques applications de la radioactivité dans le domaine médical. - Citer des méthodes de protection contre les rayonnements ionisants et des facteurs d'influence de ces protections.

I- Noyaux instables et radioactivité

1- Rappels sur le noyau

Un noyau possède des nucléons, de natures différentes mais de masses pratiquement égales :

- Z protons, chargés positivement ($q_p = +e$)
- N neutrons, électriquement neutres ($q_n = 0$)

Le noyau est représenté symboliquement par A_ZX avec A le nombre de nucléons (appelé nombre de masse) Z appelé aussi numéro atomique.

On peut calculer le nombre de neutrons d'un noyau à partir de son écriture symbolique :

$$N = A - Z.$$

La valeur de Z détermine la nature de l'élément chimique du noyau.

Deux isotopes sont des noyaux qui possèdent la même valeur de Z mais des valeurs de N et de A différentes. Ils correspondent au même élément chimique.

Application : Compléter le tableau suivant

Noyau	Élément	A	Z	N
${}^{210}_{84}\text{Po}$				
		204	84	
${}^{12}_6\text{C}$				
			6	8

2- La désintégration nucléaire et le diagramme (N ; Z)

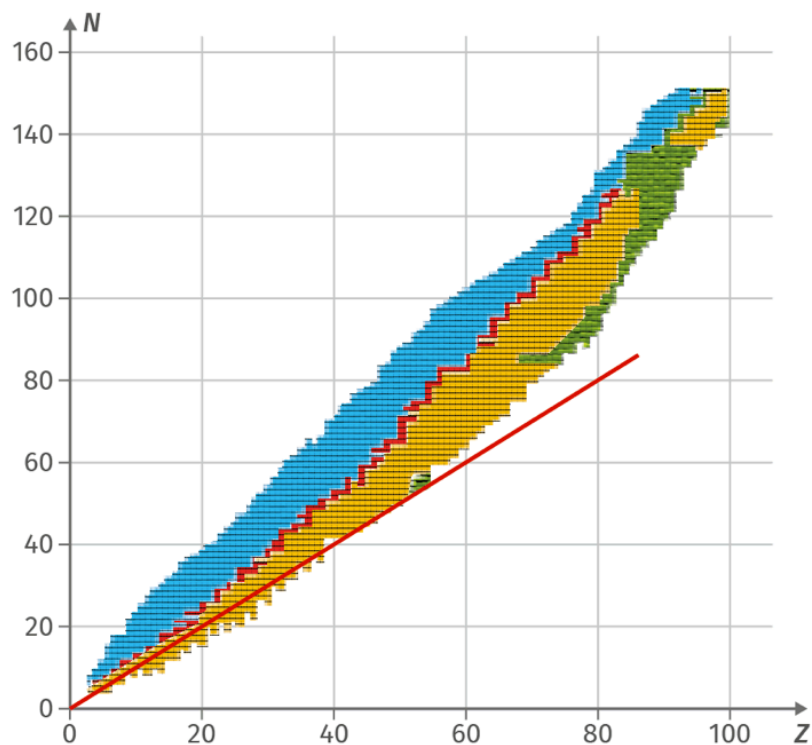
Les noyaux des isotopes de certains atomes sont instables : ils se transforment spontanément en émettant une particule.

Au cours de ce processus, la nature du noyau est modifiée : un noyau père se transforme spontanément en noyau fils et on parle de désintégration nucléaire ou de réaction nucléaire. Cette réaction s'accompagne généralement d'un rayonnement.

La radioactivité est dite naturelle lorsque les noyaux instables existent dans la nature ; elle est dite artificielle lorsqu'ils sont créés en laboratoire par l'homme.

Le diagramme (N ; Z) regroupe tous les noyaux existants en indiquant pour chacun son nombre de protons en abscisse et son nombre de neutrons en ordonnée.

Tous les isotopes d'un même élément possèdent le même numéro atomique Z, ils sont donc sur la même colonne du diagramme.



Seuls les noyaux en rouge sont stables : ils forment la vallée de la stabilité. Les autres éléments en bleu, jaune et vert sont radioactifs.

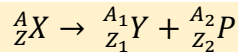
La couleur diffère selon la nature de la radioactivité (voir paragraphe suivant).

Pour les petits noyaux, la vallée de la stabilité est confondue avec la droite $Z = N$.

Plus le nombre de nucléons augmente, et plus il faut de neutrons par rapport au nombre de protons pour qu'un noyau soit stable.

3- Les lois de Soddy

Le noyau père est généralement noté X et le noyau fils Y. La particule émise lors de la désintégration nucléaire est notée P.



Lors d'une réaction nucléaire, il y a conservation de la charge électrique et du nombre de nucléons entre le noyau père et les noyaux fils :

$A = A_1 + A_2$: conservation du nombre de nucléons

$Z = Z_1 + Z_2$: conservation de la charge électrique

[Application](#) : 30 p 164

[Application en autonomie](#) : n°29 p 164

4- Trois types de radioactivité

Tous les noyaux instables ne se désintègrent pas selon le même processus. Selon leur nature, trois mécanismes principaux peuvent avoir lieu :

Type de radioactivité	Alpha (α)	Béta moins (β^-)	Béta plus (β^+)
Noyaux concernés	Noyaux lourds : excès de nucléons	Excès de neutrons	Excès de protons
Diagramme (N ; Z)	En vert	En bleu (Au-dessus de la vallée de la stabilité)	En jaune (Au-dessous de la vallée de la stabilité)
Particule émise	Noyau d'hélium 4_2He	Électron ${}^0_{-1}e$	Positon ${}^0_{+1}e$
Équation générale	${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2He$	${}^A_ZX \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^0_{-1}e$	${}^A_ZX \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^0_{+1}e$
Particule émise arrêtée par ...	Une feuille de papier	Quelques millimètres d'aluminium	

Remarques :

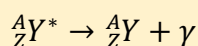
- La particule α est un noyau d'hélium : c'est donc une particule chargée positivement.
- Le positon est l'antiparticule de l'électron : il possède les mêmes caractéristiques que l'électron excepté sa charge qui vaut $q_{\text{positon}} = +e$.
- L'électron émis lors de la désintégration β^- ne provient pas du nuage électronique de l'atome père ou de l'atome fils : un neutron du noyau père se transforme en proton (grâce à l'interaction faible), et au cours de ce processus, un électron est créé à l'intérieur du noyau avant d'en être éjecté.

[Applications](#) : n°32 p 164, n°43 p 165, n°44 p 165

[Applications en autonomie](#) : n°31 p 164, n°42 p 165

5- La désexcitation gamma (γ)

Très souvent, le noyau fils Y créé est dans un état excité (noté Y^*). Il revient alors à l'état fondamental en émettant un rayonnement électromagnétique gamma (γ) de haute énergie et de très haute fréquence qui n'est arrêté que par un mètre de béton.



On parle souvent de radioactivité gamma, mais c'est un abus de langage. Lors d'une désexcitation gamma, la nature du noyau n'est pas modifiée : seule son énergie diminue.

II- L'activité d'un échantillon radioactif

1- Définition

L'activité d'un échantillon radioactif est le nombre de désintégrations par seconde dans cet échantillon. On la note A et son unité est le Becquerel (Bq)
Une activité de 1 Bq correspond à une désintégration par seconde.

L'activité d'un échantillon est caractéristique de cet échantillon : elle dépend de sa nature, de sa taille et de son âge.

2- La constante radioactive

L'activité d'un échantillon est proportionnelle au nombre de noyaux radioactifs : plus le temps passe, plus l'activité d'un échantillon diminue car le nombre de noyaux radioactifs diminue au cours du temps.

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

$N(t)$ est le nombre de noyaux radioactifs à l'instant t , $A(t)$ est l'activité de l'échantillon.

La constante λ est appelée constante radioactive et ne dépend que du type de noyau constituant l'échantillon. Elle s'exprime en s^{-1}

On peut interpréter la constante radioactive comme une probabilité de désintégration par unité de temps. Elle peut prendre des valeurs très différentes selon le type de noyau étudié.

III- Évolution temporelle d'une population de noyaux radioactifs

La radioactivité est un phénomène :

- Aléatoire : il est impossible de prévoir à quel instant elle se produit
- Spontané : aucune intervention extérieure ne peut l'influencer
- Inéluctable : la désintégration se produit forcément tôt ou tard.

Cependant, en étudiant un grand nombre de noyaux, on peut tout de même établir une loi de désintégration.

1- Établissement de l'équation différentielle

On considère un échantillon de noyaux X radioactifs. La constante radioactive est λ .

On considère que à $t = 0$ s, le nombre de noyaux est N_0 .

$N(t)$ est le nombre de noyaux radioactifs présents à l'instant t : c'est une fonction décroissante car le nombre de noyaux X diminue au cours du temps.

L'activité moyenne $A(t)$ pour un échantillon contenant un grand nombre de noyaux est liée au nombre de noyaux qui se sont désintégrés ΔN pendant la durée Δt .

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

On peut alors définir l'activité instantanée par :

$$A(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} A_{moy}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(-\frac{\Delta N}{\Delta t} \right) = -\frac{dN}{dt}$$

On retiendra donc la relation : $A(t) = -\frac{dN}{dt}$ relation (1)

De plus, on a vu que $A(t) = \lambda \times N(t)$ relation (2)

On peut donc écrire l'égalité entre les relations (1) et (2) :

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

L'évolution du nombre de noyaux radioactifs N au cours du temps est régie par une équation différentielle linéaire d'ordre 1 :

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

2- La loi de décroissance radioactive

La solution de l'équation précédente est de la forme : $N(t) = Ke^{-\lambda t}$

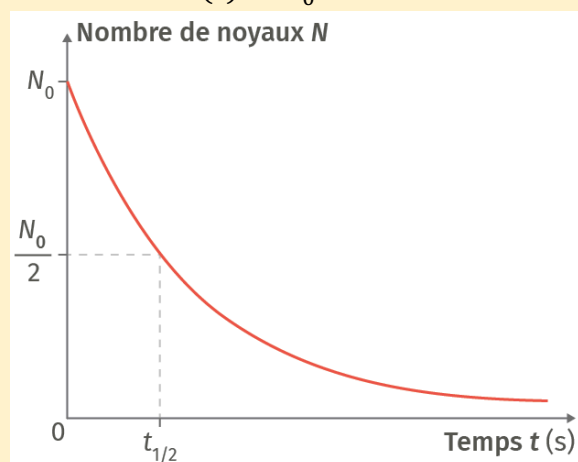
On trouve K par les conditions initiales :

On sait que à $t = 0$ s, il y a $N(0) = N_0$ noyaux.

Ainsi, $N(0) = Ke^{-\lambda \times 0} = K = N_0$

La population de noyaux radioactifs dans un échantillon $N(t)$ évolue selon la loi de décroissance radioactive :

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



Remarques :

- La pente de la courbe est plus importante quand N est important : plus il y a de noyaux radioactifs et plus il se produit de désintégrations.

- On peut définir la constante de temps $\tau = \frac{1}{\lambda}$ comme pour les autres situations où des équations différentielles ont été rencontrées (C15 Circuits RC, C17 Thermodynamique).

On peut également étudier l'évolution de l'activité A au cours du temps.

On sait que $A(t) = \lambda \times N(t)$. On peut donc définir $A(0) = A_0 = \lambda \times N_0$

Ainsi :

$$A(t) = \lambda \times N(t) = \lambda \times N_0 \times e^{-\lambda \times t} = A_0 \times e^{-\lambda \times t}$$

L'activité suit également la loi de décroissance radioactive.

[Application : n°37 p 164](#)

3- La demi-vie radioactive

La demi-vie radioactive d'un élément chimique, noté $t_{1/2}$, est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs initialement présents se sont désintégrés. Elle est caractéristique de chaque type de noyau radioactif.

Par définition, on a $N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$

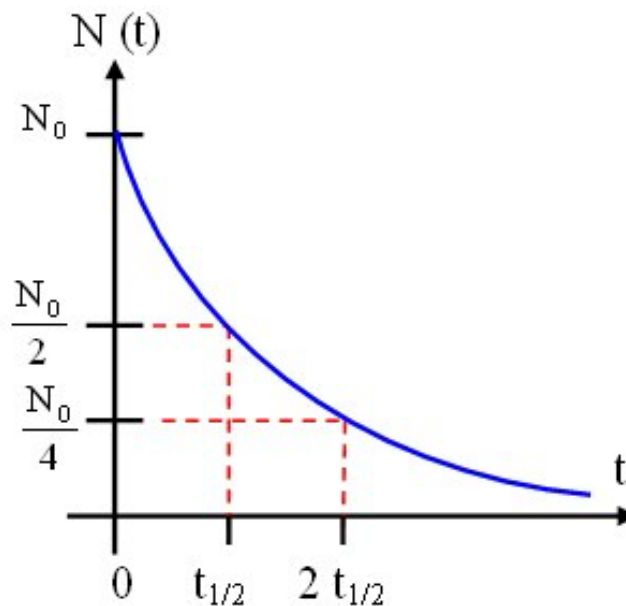
Soit $N_0 \times e^{-\lambda \times t_{1/2}} = \frac{N_0}{2} \rightarrow e^{-\lambda \times t_{1/2}} = \frac{1}{2}$

On utilise la fonction ln pour chaque côté de l'équation précédente :

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

La demi-vie $t_{1/2}$ d'un noyau radioactif est reliée à la constante radioactive de ce noyau par la relation :

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



Lorsqu'une demi-vie s'est écoulée, il ne reste que la moitié des noyaux radioactifs initialement présents soit $N_1 = \frac{N_0}{2}$.

Lorsqu'une deuxième demi-vie s'est écoulée, la moitié des noyaux radioactifs restants s'est désintégrée, il en reste $N_2 = \frac{N_1}{2} = \frac{N_0}{4}$.

On peut procéder de même pour une troisième demi-vie, etc.

Au bout de 5 demi-vies, 97 % des noyaux radioactifs de l'échantillon se sont désintégrés.

[Applications](#) : n°36 p 164, n°45 p 165, n°49 p 166, n°52 p 167

[Applications en autonomie](#) : n°25 et 26 p 160 (corrigés détaillés), n°34 p 164

IV- Applications de la radioactivité

1- La datation

Certains isotopes radioactifs sont naturellement présents dans l'environnement qui nous entoure. Les plus abondants sont le potassium 40, l'uranium 238 et le thorium 232.

Si on connaît la constante radioactive de l'élément radioactif et que l'on est capable de compter le nombre de noyaux présents à l'instant t , on est capable de dater l'âge d'un échantillon : c'est la radiodation.

Remarque : la datation est possible, même si on ne connaît pas la valeur N_0 de noyaux radioactifs présents initialement.

Les isotopes utilisés doivent avoir une demi-vie adaptée à l'âge présumé de l'échantillon. Plus l'âge supposé augmente, plus la méthode de datation devient imprécise.

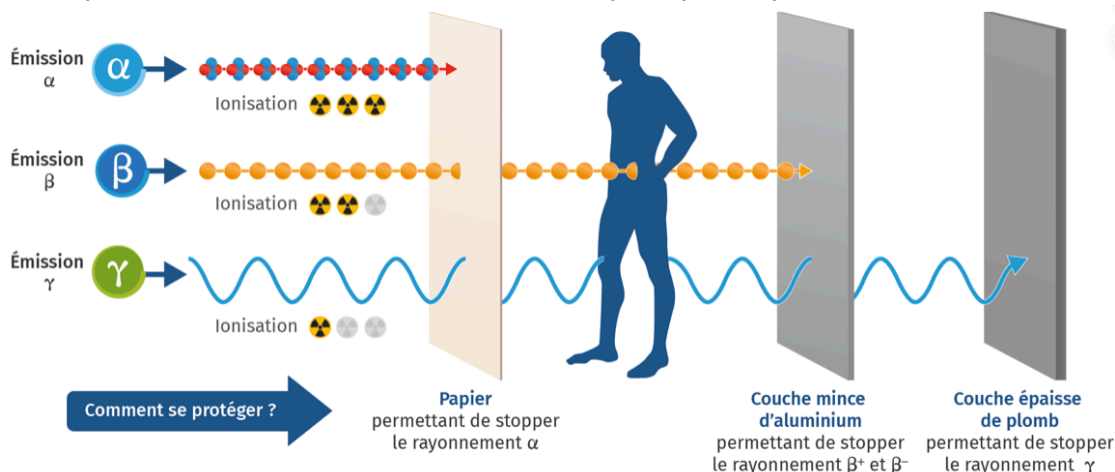
[Résolution de problème](#) : n°64 p 171

[Application en autonomie](#) : n°27 p 162 (corrigé détaillé)

2- Radioactivité et santé

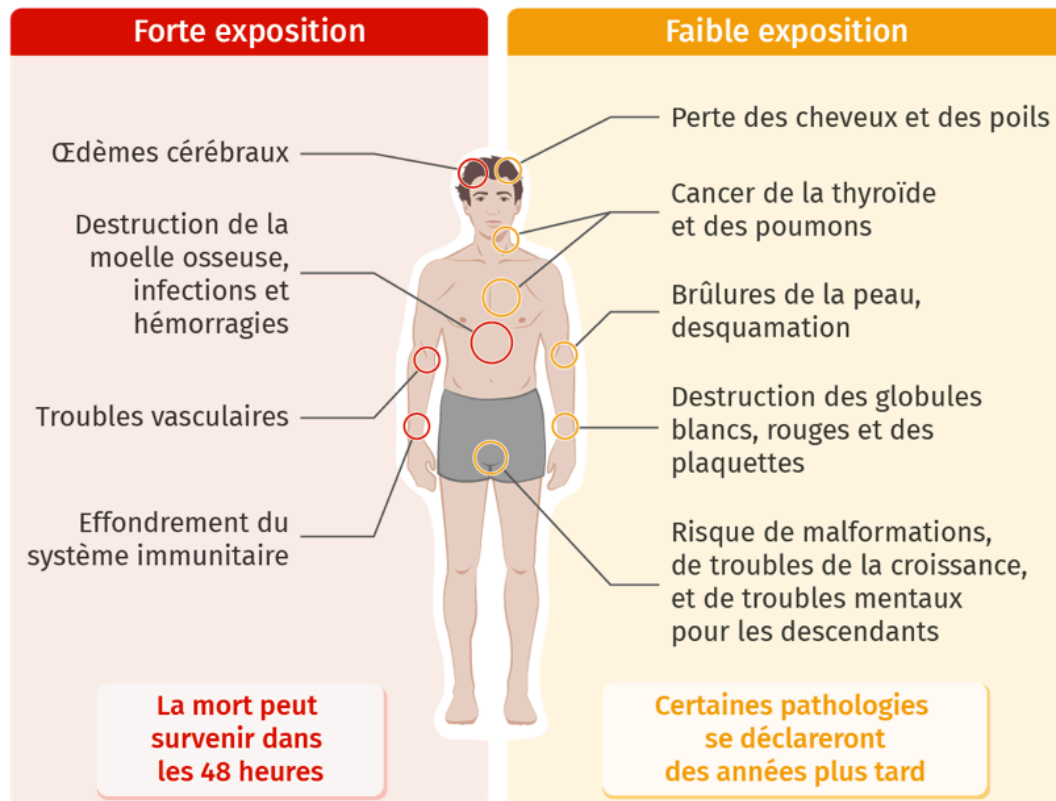
Toute radioactivité α ou β peut s'accompagner d'émission de photons γ très énergétiques, et très pénétrants dans la matière.

Les particules α ou β pénètrent également dans la matière et ont la propriété de l'ioniser, ce qui altère par exemple le fonctionnement des cellules et peut provoquer des cancers.



La radioprotection consiste en la protection des êtres vivants contre les rayonnements ionisants des sources radioactives. Elle est basée sur plusieurs principes :

- L'éloignement de la source radioactive : on évite d'ingérer, d'inhaler, ou toucher des sources radioactives ; des écrans de protection ainsi qu'un équipement particulier sont indispensables pour les personnes travaillant avec des sources radioactives.
- La durée d'exposition doit être limitée



Cependant, la radioactivité est utilisée dans le domaine médical.

Par exemple, en imagerie médicale, on peut injecter à un patient une substance radioactive appelé traceur radioactif qui va se fixer chimiquement sur certaines cellules. Une caméra sensible au rayonnement émis permet de détecter les cellules ciblées.

Enfin, en radiothérapie, les rayonnements produits par l'exposition à une source radioactive détruisent les cellules cancéreuses ciblées.