

Avant d'aborder le chapitre

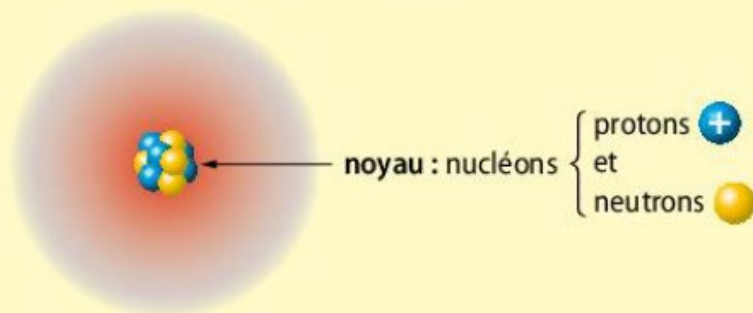
LES ACQUIS INDISPENSABLES

■ Seconde

■ 1^{re} Enseignement scientifique

- Le noyau d'un atome contient **A nucléons** : **Z protons** et **N neutrons**, avec $N = A - Z$.

Le noyau a pour symbole ${}^A_Z X$.



- Des noyaux **isotopes** appartiennent au même élément chimique mais leur masse est différente. Ils ont donc le même nombre de protons et des nombres de neutrons différents.

- Lors d'une **transformation nucléaire**, le cortège électronique n'est pas concerné, ce sont les noyaux des atomes qui sont modifiés.

- La **radioactivité** est la désintégration spontanée d'un noyau instable. Elle a un caractère aléatoire.

- Le **temps de demi-vie** d'un noyau radioactif, noté $t_{1/2}$, est la durée nécessaire à la désintégration de la moitié des noyaux d'un échantillon radioactif, il est exprimé en seconde, année...

- La **datation** au carbone 14 est utilisée pour estimer l'âge de différents objets ou de la matière autrefois vivante.

1 Stabilité et instabilité des noyaux

► Diagramme (N, Z)

■ Pour un élément chimique donné, il existe en général des noyaux isotopes **stables** et d'autres **instables**.

EXEMPLE

Le noyau de carbone 12 ($^{12}_6\text{C}$) est stable alors que le carbone 14 ($^{14}_6\text{C}$), qui contient 2 neutrons de plus, ne l'est pas.

Le **diagramme (N, Z)** permet de repérer les noyaux instables (FIG. 1), N étant le nombre de neutrons et Z le nombre de protons.

Cette instabilité résulte d'un excès de nucléons ou d'une proportion neutrons/protons déséquilibrée.

■ Les noyaux légers jusqu'à $Z \leq 20$ sont stables si $N = Z$. Les noyaux plus lourds sont stables s'ils présentent un excès de neutrons par rapport aux protons.

Les noyaux instables, dits **radioactifs**, se transforment spontanément en d'autres noyaux plus stables lors de **désintégrations** en émettant des rayonnements sous forme de particules chargées.

► Équation de désintégration

L'équation de réaction nucléaire doit respecter les **lois de conservation** de la **charge électrique** et du **nombre de nucléons**.

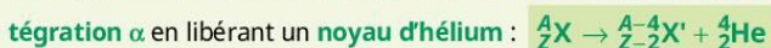
Si l'équation est $^A_Z\text{X} \rightarrow ^{A'}_{Z'}\text{X}' + ^{A''}_{Z''}\text{X}''$ alors $Z = Z' + Z''$ et $A = A' + A''$.

EXEMPLE

Une réaction de fusion dans le Soleil entre deux isotopes de l'hydrogène s'écrit : $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n}$ et on a : $2 + 3 = 4 + 1$ et $1 + 1 = 2 + 0$.

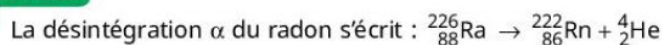
► Radioactivités α et β

Un noyau lourd contenant trop de nucléons (FIG. 1) peut subir une **désintégration α** en libérant un **noyau d'hélium** :

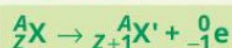


Cette transformation permet d'éliminer 4 nucléons.

EXEMPLE



Un noyau qui possède un excès de neutrons par rapport aux protons (FIG. 1) peut subir une **désintégration β^-** en libérant un **électron** :

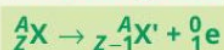


Cette désintégration transforme un neutron en proton.

EXEMPLE



Inversement, un noyau qui possède un excès de protons par rapport aux neutrons (FIG. 1) peut subir une **désintégration β^+** en libérant un **positon** :



Cette désintégration transforme un proton en neutron.

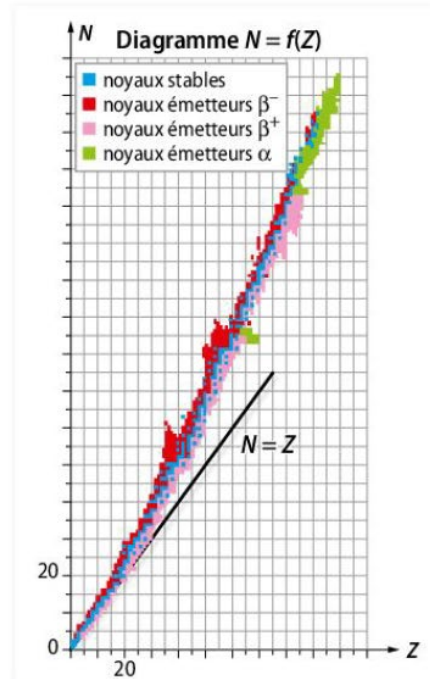


FIG. 1 Sur le diagramme (N, Z), on peut repérer les noyaux stables regroupés dans la **vallée de la stabilité**.

BONUS

Types de radioactivité

Radioactivité α Radioactivité β^+ Radioactivité β^- Désintégration γ

animation

Cette animation décrit les différents types de radioactivité.

VOCABULAIRE

► **Positon** : particule chargée qui possède la même masse que l'électron mais une charge opposée positive, on parle d'antiélectron.

EXEMPLE

La désintégration β^+ du sodium 22 s'écrit : ${}^{22}_{11}\text{Na} \rightarrow {}^{22}_{10}\text{Ne} + {}^0_1\text{e}$

► Radioactivité γ

La plupart du temps, les noyaux issus d'une désintégration β sont dans un **état excité**, possédant trop d'énergie, phénomène rare lors des désintégrations α . Ces noyaux sont repérés avec un astérisque accolé à leur symbole X^* . Le retour à l'état fondamental s'effectue avec émission d'un ou de plusieurs photons gamma (FIG. 2).

Les noyaux fils obtenus par désintégration se désexcitent en émettant une **onde électromagnétique** de très courte longueur d'onde : c'est la **radioactivité gamma**, notée γ .

EXEMPLE

Le noyau de nickel formé par radioactivité β^- selon : ${}^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow {}^{60}_{28}\text{Ni}^* + {}^0_{-1}\text{e}$ est instable, on le note avec un astérisque. Il se stabilise en émettant 2 photons γ selon : ${}^{60}_{28}\text{Ni}^* \rightarrow {}^{60}_{28}\text{Ni} + 2\gamma$

► Radioactivité naturelle

L'être humain est soumis à une **radioactivité naturelle** provenant à la fois de la Terre et de l'espace (FIG. 3).

L'écorce terrestre contient des noyaux radioactifs depuis sa formation. Les aliments, l'eau et l'air que nous ingérons contiennent des éléments radioactifs sans danger notable.

2 Décroissance radioactive

► Loi de décroissance radioactive

Un noyau radioactif se transforme pour être plus stable, il s'agit d'un **phénomène aléatoire**.

On note N_0 le nombre initial de noyaux radioactifs, tous identiques, présents dans un échantillon et $N(t)$ le nombre de noyaux radioactifs restants à la date t avec $N(t) < N_0$.

La variation du nombre de noyaux $\Delta N = N(t) - N_0$, c'est-à-dire le nombre moyen de désintégrations, est proportionnelle au nombre de noyaux $N(t)$ et à la durée de mesure Δt :

$$\Delta N = -\lambda \cdot N(t) \cdot \Delta t$$

Le coefficient de proportionnalité λ est appelé **constante radioactive**, il est caractéristique d'un noyau et s'exprime en s^{-1} .

$\Delta N = -\lambda \cdot N(t) \cdot \Delta t$ donc $\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda \cdot N(t)$. En faisant tendre Δt vers 0, on obtient $\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda \cdot N(t)$: c'est une **équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants** de type $y' = a \cdot y$.

Sa résolution donne $y(x) = K \cdot e^{a \cdot x}$, on en déduit que $N(t) = K \cdot e^{-\lambda \cdot t}$.

À $t = 0$ s, on a : $N(0) = N_0$, alors $K = N_0$ et $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$.

La solution de l'équation différentielle $\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda \cdot N(t)$ est :

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \text{ avec } \lambda \text{ exprimé en } \text{s}^{-1} \text{ et } t \text{ en s (FIG. 4).}$$

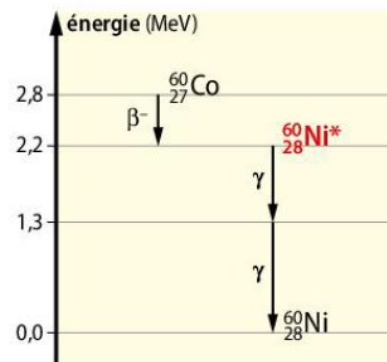


FIG. 2 Le noyau de nickel 60 se stabilise en émettant 2 photons γ .

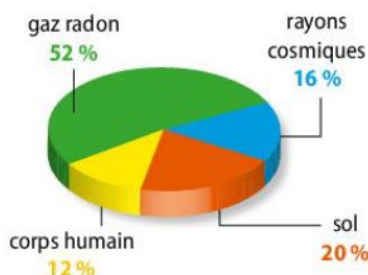
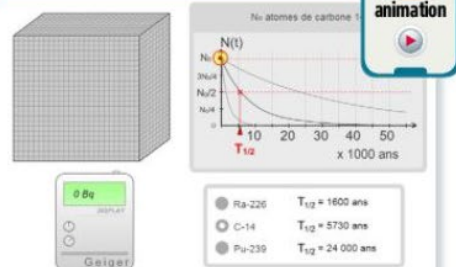


FIG. 3 Sources de radioactivité naturelle sur Terre.

► BONUS

Décroissance radioactive



Une animation pour comprendre la courbe de décroissance radioactive de noyaux différents.

UN PONT VERS LES MATHS

Équation différentielle linéaire

Une équation différentielle de la forme

$$u' + ku = 0$$

$$\text{(ou } \frac{du}{dt} + ku = 0)$$

admet pour solution la fonction :

$$u(t) = u_0 e^{-kt}$$

La constante u_0 est déterminée grâce à la condition initiale : $u(0) = u_0$.

► Fiche **MATHS** p. 533

► Temps de demi-vie

Le **temps de demi-vie**, noté $t_{1/2}$, est la durée nécessaire à la désintégration de la moitié des noyaux d'un échantillon radioactif (FIG. 4). Caractéristique du noyau radioactif, il est exprimé en seconde, année...

Au bout de la durée $t_{1/2}$, il reste $\frac{N_0}{2}$ noyaux radioactifs, donc :

$$N(t_{1/2}) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} = \frac{N_0}{2} \text{ soit } -\lambda \cdot t_{1/2} = -\ln 2, \text{ d'où } t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}.$$

Le temps de demi-vie est $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ avec $t_{1/2}$ exprimé en s et λ en s^{-1} .

► Activité

L'**activité A** d'un échantillon radioactif est le nombre moyen de désintégrations s'y produisant par seconde. Elle s'exprime en **becquerel**, noté Bq. 1 Bq correspond à 1 désintégration par seconde.

$$A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} \text{ et } \frac{dN(t)}{dt} = -\lambda \cdot N(t), \text{ donc } A(t) = \lambda \cdot N(t).$$

Comme $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ alors $A(t) = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$.

En posant $A_0 = \lambda \cdot N_0$, on peut écrire : $A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$.

L'activité suit la même loi de décroissance que la population de noyaux radioactifs : $A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ avec λ exprimé en s^{-1} et t en s.

■ L'activité est mesurée à l'aide d'un compteur de radioactivité ou compteur Geiger-Müller (FIG. 5).

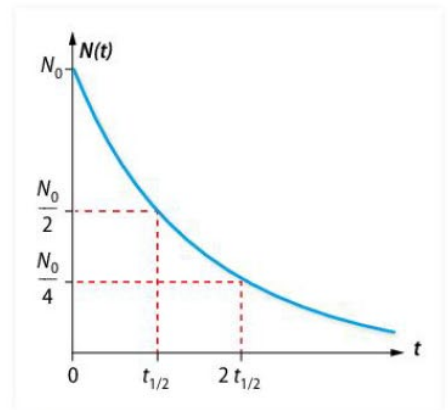


FIG. 4 La loi d'évolution temporelle d'une population de noyaux radioactifs est une courbe décroissante. Elle permet de déterminer graphiquement le temps de demi-vie $t_{1/2}$.



FIG. 5 Un compteur Geiger-Müller.

3 Applications de la radioactivité

► Datation isotopique

La loi de décroissance radioactive permet de **dater** un échantillon si on connaît le nombre initial N_0 de noyaux radioactifs en mesurant l'activité $A(t)$ de l'échantillon ou le nombre $N(t)$ de noyaux restants à la date t .

Le plus connu des isotopes radioactifs utilisés est le carbone 14.

► Domaine médical

La radioactivité est un phénomène naturel, mais on crée des éléments **radioactifs artificiels** utilisés en **radiothérapie** et en **imagerie médicale**.

► Protection contre les rayonnements

■ Les rayonnements issus de la radioactivité sont **ionisants**. Selon leur énergie et leur nature, ils peuvent avoir des effets néfastes sur les molécules du vivant.

■ Les rayonnements α ou β sont complètement absorbés par la matière, ce n'est pas le cas des rayons γ .

Pour se protéger des rayonnements ionisants, il faut **blinder** la source, s'en éloigner ou mettre en place des **écrans** dont l'efficacité dépend de la nature et de l'épaisseur du matériau absorbant (FIG. 6).

Source radioactive	Pénétration des tissus	Effet sur l'organisme
particules α	arrêtées par la peau	aucun
particules β	traversent l'épiderme	lésions cutanées
rayons γ	très pénétrants	tissus ou organes atteints

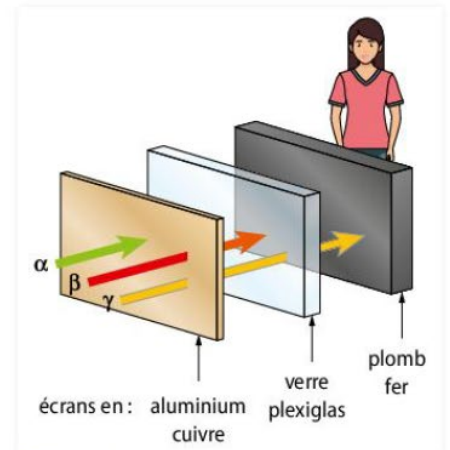
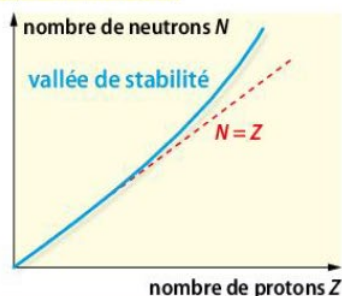


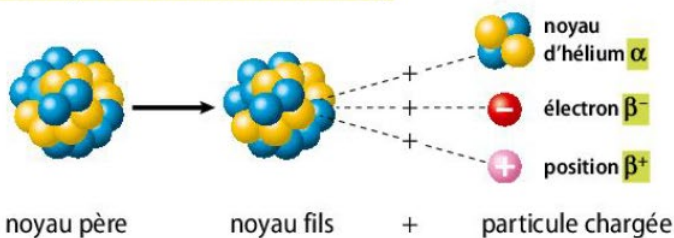
FIG. 6 Protection contre les rayonnements.

1 Stabilité et instabilité des noyaux

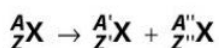
Diagramme (N, Z)



Désintégrations radioactives α et β



Lois de conservation pour l'équation d'une réaction nucléaire



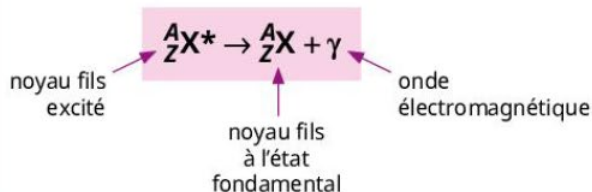
conservation de la charge électrique

$$Z = Z' + Z''$$

conservation du nombre de nucléons

$$A = A' + A''$$

Radioactivité gamma



2 Décroissance radioactive

Évolution temporelle d'une population de noyaux radioactifs

nombre de noyaux radioactifs → $\Delta N = -\lambda \cdot N(t) \cdot \Delta t$ ← durée (en s) de mesure

nombre moyen de désintégrations → constante radioactive (en s^{-1})

Temps de demi-vie $t_{1/2}$

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

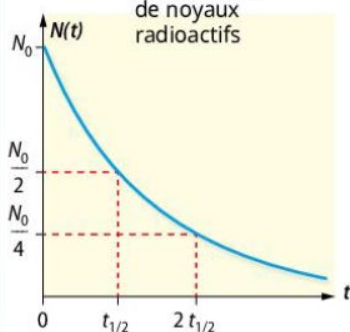
constante radioactive (en s^{-1})

Loi et courbe de décroissance radioactive

nombre de noyaux radioactifs → $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ ← constante radioactive (en s^{-1})

temps (en s)

nombre initial de noyaux radioactifs



Activité A

(en Bq) → $A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

temps (en s)

activité initiale (en Bq) → constante radioactive (en s^{-1})

(Bq : becquerel)

3 Applications de la radioactivité

- datation
- domaine médical
 - imagerie
 - radiothérapie
- protection contre les rayonnements

