

Transformations

Avant d'aborder le chapitre

EN AUTONOMIE

LES ACQUIS INDISPENSABLES

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

Le noyau a pour symbole ${}_{Z}^{A}X$.



- 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.

Seconde

1^{re} Enseignement scientifique

- 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.

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement.



SITUATION 1

Il existe deux isotopes stables de l'azote : l'azote 14 et l'azote 15, le premier représentant la quasi-totalité de l'azote présent dans la nature.

Donnée :

L'azote N a pour numéro atomique $Z = 7$.

Quelle différence ces deux noyaux présentent-ils ? Donner leur symbole.

SITUATION 2

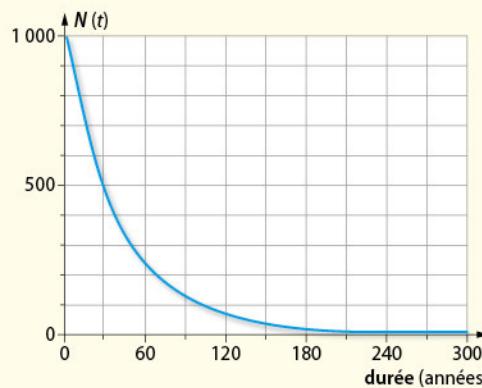
Un noyau est radioactif s'il est susceptible de se désintégrer.

Peut-on dire qu'un noyau radioactif vieillit ?

SITUATION 3

On donne ci-contre la courbe de décroissance radioactive d'un noyau.

Quelle est la valeur du temps de demi-vie de ce noyau ?



nucléaires



Comment les scientifiques peuvent-ils dater les ossements découverts par l'archéologue sur un chantier de fouilles ?

EXERCICE 38

NOTIONS ET CONTENUS

- ▶ Stabilité et instabilité des noyaux : diagramme (N , Z).
- ▶ Radioactivité α et β , équation d'une réaction nucléaire, lois de conservation.
- ▶ Radioactivité γ .
- ▶ Loi de décroissance radioactive ; temps de demi-vie ; activité.
- ▶ Radioactivité naturelle ; applications à la datation.
- ▶ Applications dans le domaine médical ; protection contre les rayonnements ionisants.

CAPACITÉ MATHÉMATIQUE

- ▶ Résoudre une équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants.
► Pour préparer l'ECE

1. ACTIVITÉ DE DÉCOUVERTE

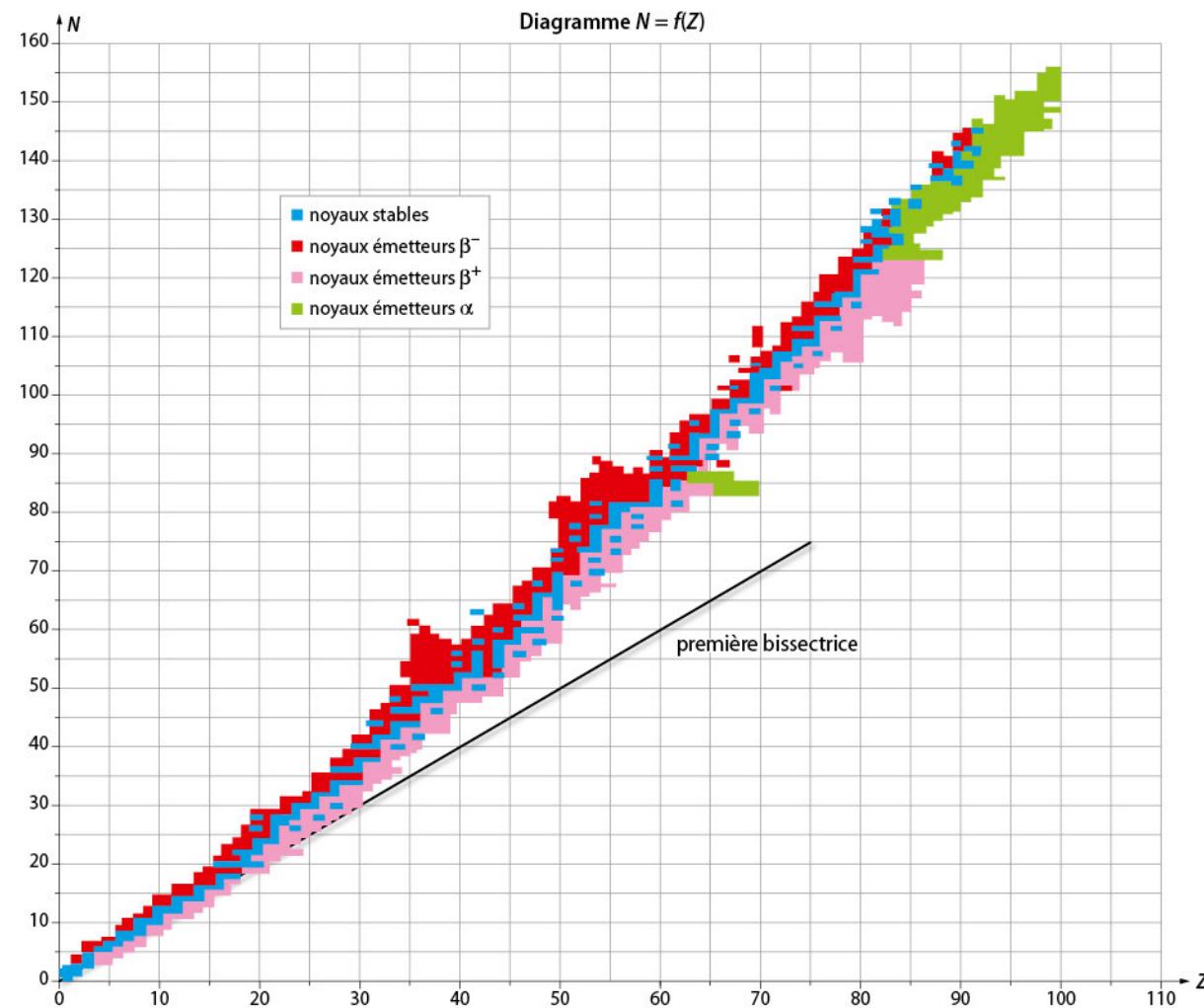
COMPÉTENCES :
(APP) Rechercher et organiser l'information
(COM) Utiliser un vocabulaire adapté

Diagramme de stabilité des noyaux

Comment interpréter ce diagramme qui permet de distinguer les noyaux stables de ceux qui ne le sont pas ?

DOC 1 Diagramme (N , Z)

Ce diagramme porte en abscisse le nombre de protons Z d'un noyau et en ordonnée son nombre de neutrons N . On y retrouve tous les noyaux connus.



EXPLOITATION ET ANALYSE

- 1 Comparer le nombre de protons et le nombre de neutrons des noyaux stables :
 - a. jusqu'à $Z = 20$;
 - b. au-delà de $Z = 20$.
- 2 Que peut-on dire, jusqu'à $Z = 20$:
 - a. des noyaux qui donnent lieu à des désintégrations β^+ et β^- ?
 - b. du quotient $\frac{N}{Z}$ pour chacun de ces types de désintégration ?
- 3 Caractériser les noyaux pour lesquels on peut observer des émissions α .

SYNTHÈSE

- 4 Repérer, sur le diagramme (N , Z), une zone dite la « vallée de la stabilité » et une autre dite la « mer d'instabilité ».

Je réussis si...

- Je sais distinguer dans un noyau les nombres de protons Z , de neutrons N et de nucléons A .
- Je sais déterminer les isotopes radioactifs à partir du diagramme (N , Z).

2. ACTIVITÉ DE DÉCOUVERTE

COMPÉTENCES :

(APP) Rechercher et organiser l'information

(COM) Choisir un mode de représentation approprié

Différents types de radioactivité

Comment modéliser la transformation spontanée de noyaux instables lors des désintégrations radioactives ?

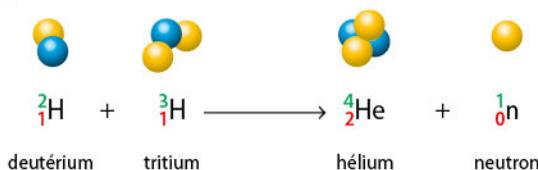
DOC 1 Équation d'une transformation nucléaire

Dans une transformation nucléaire, les noyaux des atomes sont modifiés.

On modélise la transformation par une équation de réaction nucléaire qui obéit à des **lois de conservation** :

- conservation de la charge électrique ;
- conservation du nombre de nucléons.

Par exemple, lors d'une réaction de fusion dans les étoiles, l'équation s'écrit :



Il y a conservation de la charge électrique car $1 + 1 = 2 + 0$.

Il y a conservation du nombre de nucléons car $2 + 3 = 4 + 1$.

DOC 3 Applications de la radioactivité

Environ 90 % des noyaux connus sont instables.

En France, Henri Becquerel découvre en 1896 la radioactivité par l'intermédiaire d'un minerai contenant de l'uranium 238, radioactif α , qui se transforme en thorium Th.

De nombreuses applications dans les domaines de la santé, la datation, l'industrie... font intervenir des noyaux radioactifs.

Exemples :

- Le fluor 18 est utilisé en imagerie médicale comme traceur radioactif, il donne de l'oxygène O par désintégration β^+ .
- Le carbone 14 est utilisé en archéologie pour des datations. Il est radioactif β^- et se transforme en azote N.

Données : ${}_6^{14}\text{C}$; ${}_9^{18}\text{F}$; ${}_{92}^{238}\text{U}$.

EXPLOITATION ET ANALYSE

1 Écrire les équations des réactions de désintégration (doc. 3).

2 Dans le cas de la radioactivité β , donner l'équation de la désexcitation.

3 Que se passe-t-il au niveau des constituants du noyau pour chaque transformation de la question 1 ?

SYNTHÈSE

4 Reproduire le schéma (doc. 4) et le compléter avec les symboles des noyaux fils obtenus à partir du noyau père par désintégrations α , β^- ou β^+ . Relier les noyaux père et fils à l'aide de flèches.

DOC 2 Différents types de radioactivité

Les noyaux pères instables peuvent se transformer spontanément en noyaux fils. Cette transformation s'accompagne d'une émission de particules chargées.

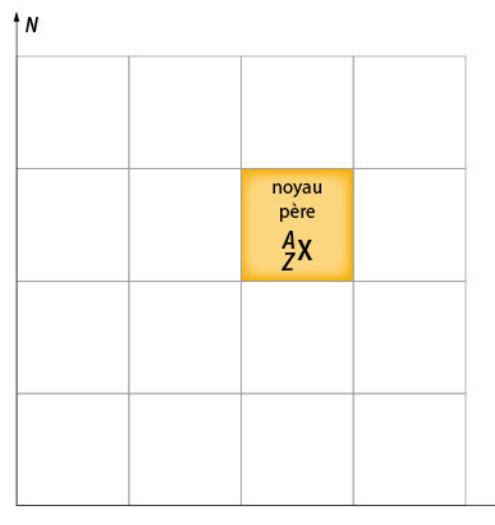
■ Lors de la radioactivité α , il y a émission d'un noyau d'hélium ${}_{2}^4\text{He}$ (ou particule α), tandis que lors d'une désintégration β , le noyau père libère un électron ${}_{-1}^0\text{e}$ (radioactivité β^-) ou un **positon** ${}_{1}^0\text{e}$ (radioactivité β^+).

■ La plupart du temps, les noyaux issus d'une désintégration β sont dans un **état excité**, possédant trop d'énergie. C'est plus rare lors des désintégrations α . On distingue le noyau fils excité à l'aide d'un astérisque ajouté à côté de son symbole :

Les noyaux fils obtenus se désexcitent en émettant un **photon**, noté γ , c'est-à-dire une onde électromagnétique de très courte longueur d'onde.

A_Z^X*

DOC 4 Schématisation dans le diagramme (N , Z)



Je réussis si...

► Je sais distinguer les différents types de radioactivité.

► Je connais les lois de conservation de la charge électrique et du nombre de nucléons.

► Je sais écrire l'équation d'une réaction nucléaire.

3. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

COMPÉTENCES :

(APP) Rechercher et organiser l'information

(APP) Schématiser une situation

Datation au carbone 14

Cette méthode permet en général d'estimer l'âge d'un objet. Elle peut être aussi utilisée pour authentifier une œuvre d'art.

DOC 1 La datation au carbone 14

La datation au carbone 14, connue depuis 1950, permet d'estimer l'âge d'un matériau organique tel que le bois, l'os, le cheveu, du tissu, c'est-à-dire de la matière autrefois vivante.



A Ici, ce tronc du Kauri, un des conifères les plus anciens au monde et situé dans l'île Nord de la Nouvelle-Zélande, a été daté par la méthode du carbone 14 : de 7 000 à 50 000 ans.



B Momie d'un homme avec un manteau rouge, Musée des Beaux-arts, Lille.

Principe de la méthode :

La proportion carbone 14 / carbone 12 est quasi constante dans les plantes, les animaux ou le corps humain, en contact avec l'atmosphère. À leur mort, le carbone n'est plus renouvelé et le carbone 14 radioactif qu'ils contiennent se désintègre. Il suffit de mesurer sa proportion dans un échantillon prélevé sur leur cadavre, leur squelette, ce qui en reste, pour connaître la date approximative de leur mort (végétal coupé, animal abattu...).

EXPLOITATION ET ANALYSE

- 1 a. Quelle est la nature des objets pouvant être datés au carbone 14 ?
b. Pourquoi le blanc de plomb est-il éligible à cette méthode ?

- 2 a. Pour authentifier un tableau, on peut dater le cadre en bois ou la toile. Pourquoi cette méthode n'est-elle pas fiable ?
b. Quel problème l'analyse directe du pigment de peinture présente-t-elle ?
c. Comment les scientifiques espèrent-ils régler ce problème ?

DOC 2 Datation d'un matériau inorganique

Des datations au carbone 14 de peinture au blanc de plomb, un matériau *a priori* minéral, ont été effectuées par les équipes du laboratoire de Paris-Saclay. Le blanc de plomb est un pigment utilisé en peinture et dans les cosmétiques depuis l'antiquité. Lors de la fabrication de ce pigment, le plomb au contact d'acide acétique (vinaigre) produit un dégagement de CO₂. Le pigment se forme donc en piégeant du CO₂. Le carbone d'origine organique est ainsi transféré dans un matériau inorganique.

DOC 3 Le prélèvement : étape nécessaire

Le prélèvement d'un échantillon de peinture sur un tableau est une pratique invasive. Auparavant un milligramme de carbone était nécessaire pour la datation, mais cette quantité a été fortement réduite et les scientifiques pensent la diminuer encore. Un fragment d'environ 1 cm² au minimum est nécessaire, ce qui est énorme pour une petite toile de maître ! Aussi, les conservateurs d'œuvres d'art recignent à recourir à la méthode au carbone 14 pour authentifier les œuvres de petit format.



Échantillon de peinture, prélevé sur le portail de la cathédrale de Reims, vu au microscope optique numérique.

SYNTHÈSE

- 3 Proposer un schéma synthétique du principe de la datation au carbone 14.

Je réussis si...

- Je connais une application de la radioactivité à la datation.
- Je peux expliquer le principe de datation à l'aide de noyaux radioactifs.

4. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

CLASSE INVERSÉE

COMPÉTENCES :

(APP) Rechercher et organiser l'information

(VAL) Faire preuve d'esprit critique

Applications en médecine

Comment les éléments radioactifs sont-ils utilisés pour aider les médecins praticiens à établir un diagnostic ?

DOC 1 Techniques d'imagerie en médecine nucléaire

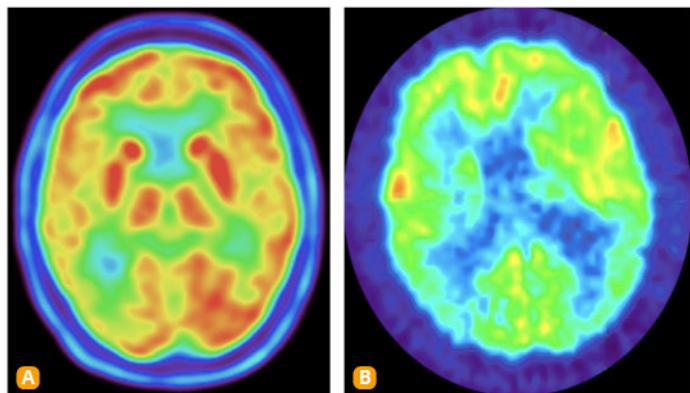
Le principe des techniques d'imagerie est d'administrer par voie intraveineuse un traceur radioactif au patient, puis de détecter le rayonnement émis.

L'élément radioactif utilisé dépend de l'organe à explorer. Il peut être employé soit seul, soit fixé sur une molécule (souvent du glucose). Sa localisation dans l'organisme se fait à l'aide d'un détecteur appelé *gamma caméra*.

Couplée à un système d'acquisition et d'analyse informatique, la gamma caméra donne des images numériques en 3D qui renseignent sur le fonctionnement des organes visés.

Le **temps de demi-vie** du radioélément doit être suffisamment long pour permettre le suivi du processus biologique étudié lors de l'examen, mais assez court pour éviter une irradiation inutile. En effet, ces rayonnements radioactifs sont ionisants, donc potentiellement dangereux.

DOC 3 La tomographie par émission de positons (TEP)



DOC 2 Les éléments radioactifs de la scintigraphie

Lors d'une scintigraphie, différents éléments radioactifs sont utilisés, par exemple le technétium 99 pour la scintigraphie osseuse, le thallium 201 pour la scintigraphie du myocarde, ou l'iode 123 pour la scintigraphie de la thyroïde.

VIDÉO

La scintigraphie



VOCABULAIRE

► **Temps de demi-vie** : durée au bout de laquelle la moitié des noyaux d'une source radioactive s'est désintégrée.

Le fluor 18 est actuellement l'émetteur de positons (particules β^+) le plus utilisé. Lorsque les positons entrent en collision avec des électrons, ils donnent naissance à des photons gamma.

Afin d'améliorer la détection d'anomalies, la gamma caméra peut être couplée à un scanner, on obtient alors un « TEP-Scan ». Cette technique permet la localisation de tumeurs à un stade très précoce, inaccessible aux autres techniques d'imagerie.

TEP-Scan de cerveau humain :

A sujet sain ;

B sujet atteint de la maladie d'Alzheimer.

EXPLOITATION ET ANALYSE

- 1 a. Qu'est-ce qui distingue une imagerie fonctionnelle d'une imagerie anatomique ?
b. Citer des exemples de ces deux types d'imagerie.
- 2 Quelle différence les techniques des documents 2 et 3 présentent-elles au niveau des émetteurs radioactifs ?
- 3 a. Quelles précautions le personnel soignant doit-il prendre en pratiquant ces examens ?
b. Y a-t-il des risques pour les patients ?

SYNTHÈSE

- 4 Quels sont les avantages de la scintigraphie et de la tomographie TEP par rapport aux autres techniques d'imagerie médicale ?

Je réussis si...

- Je comprends le principe de la technique d'imagerie en médecine nucléaire.
- Je connais des applications de la radioactivité dans le domaine médical.
- Je peux citer une méthode de protection contre les rayonnements ionisants.

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 $\frac{A}{Z}X \rightarrow \frac{A'}{Z'}X' + \frac{A''}{Z''}X''$ 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

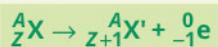
Un noyau lourd contenant trop de nucléons (FIG. 1) peut subir une **désintégration α** en libérant un **noyau d'hélium** : $\frac{A}{Z}X \rightarrow \frac{A-4}{Z-2}X' + ^4_2\text{He}$

Cette transformation permet d'éliminer 4 nucléons.

EXEMPLE

La désintégration α du radium s'écrit : $^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow ^{222}_{86}\text{Rn} + ^4_2\text{He}$

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

La désintégration β^- du carbone 14 s'écrit : $^{14}_6\text{C} \rightarrow ^{14}_7\text{N} + ^0_{-1}\text{e}$

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.

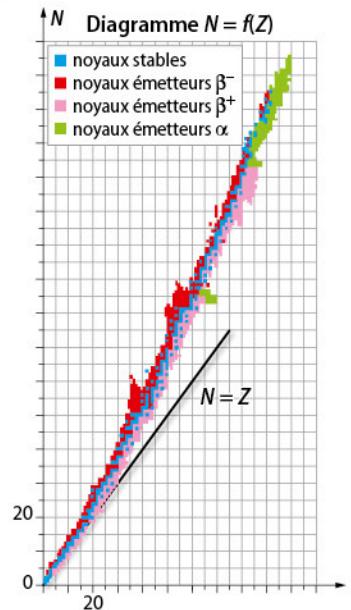


FIG. 1 Sur le diagramme (N , Z), on peut repérer les noyaux stables regroupés dans la **vallée de la stabilité**.

BONUS
Types de radioactivité

Radioactivité α

Radioactivité β^-

Radioactivité β^+

Désintégration

Diagramme montrant la penetration de particules dans divers matériaux. De haut en bas : Noyau d'hélium, Positon, Electron, Photon gamma. L'épaisseur des matériaux croît de droite à gauche : Papier, Aluminium, Beton.

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 : $^{60}_{28}\text{Ni}^* \rightarrow ^{60}_{28}\text{Ni} + 2\gamma$

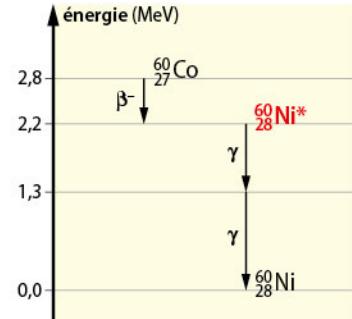


FIG. 2 Le noyau de nickel 60 se stabilise en émettant 2 photons γ .

► 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.

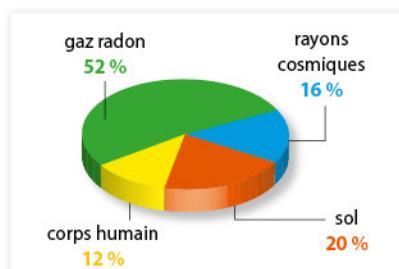


FIG. 3 Sources de radioactivité naturelle sur Terre.

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} .

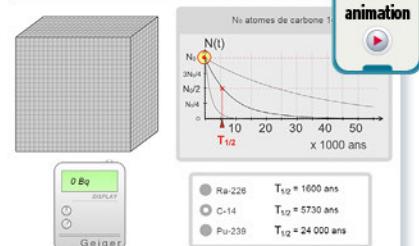
$\Delta N = -\lambda \cdot N(t) \cdot \Delta t$ donc $\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda \cdot N(t)$. En faisant tendre Δt vers 0, on obtient $\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda \cdot N(t)$: c'est une **équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants** de type $y' = a \cdot y$.

Sa résolution donne $y(x) = K \cdot e^{ax}$, 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 :

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

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

$$u' + k \cdot u = 0$$

$$(ou \frac{du}{dt} + k \cdot u = 0)$$

admet pour solution la fonction :

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

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).

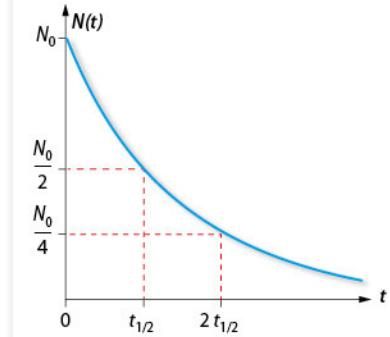


FIG. 4 La loi d'évolution temporelle d'une population de noyaux radioactifs est une courbe décroissante. Elle permet de déterminer graphiquement le temps de demi-vie $t_{1/2}$.



FIG. 5 Un compteur Geiger-Müller.

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

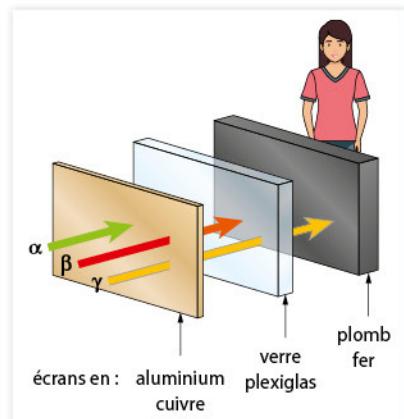


FIG. 6 Protection contre les rayonnements.

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

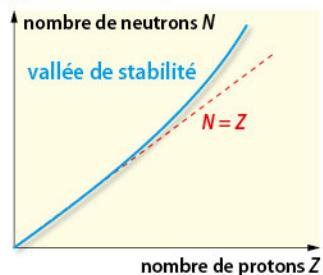
■ Les rayonnements issus de la radioactivité sont **ionisants**. Selon leur énergie et leur nature, ils peuvent avoir des effets néfastes sur les molécules du vivant.

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

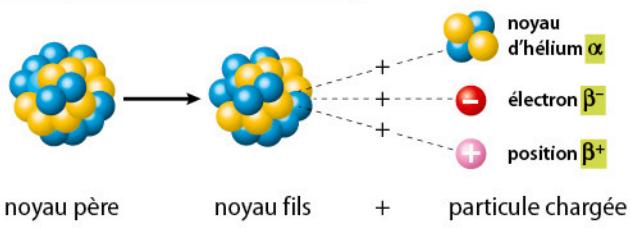
Pour se protéger des rayonnements ionisants, il faut **blinder** la source, s'en éloigner ou mettre en place des **écrans** dont l'efficacité dépend de la nature et de l'épaisseur du matériau absorbant (FIG. 6).

1 Stabilité et instabilité des noyaux

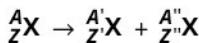
Diagramme (N , Z)



Désintégrations radioactives α et β



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



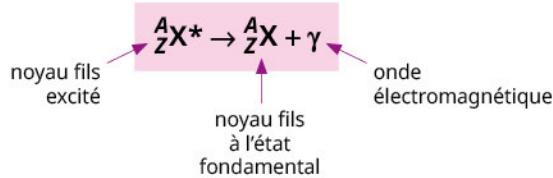
conservation de la charge électrique

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

conservation du nombre de nucléons

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

Radioactivité gamma



2 Décroissance radioactive

Évolution temporelle d'une population de noyaux radioactifs

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

nombre de noyaux radioactifs
durée (en s) de mesure
nombre moyen de désintégrations
constante radioactive (en s^{-1})

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

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

(en s)
constante radioactive (en s^{-1})

Activité A

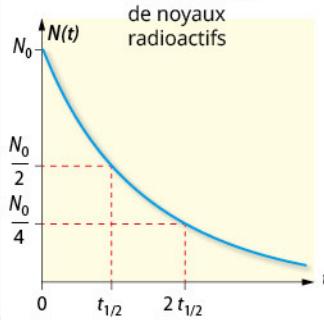
$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

(en Bq)
activité initiale (en Bq)
temps (en s)
constante radioactive (en s^{-1})
(Bq : becquerel)

Loi et courbe de décroissance radioactive

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

nombre de noyaux radioactifs
constante radioactive (en s^{-1})
nombre initial de noyaux radioactifs
temps (en s)



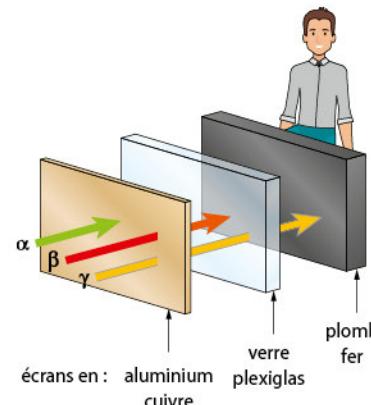
3 Applications de la radioactivité

datation

domaine médical

- imagerie
- radiothérapie

protection contre les rayonnements



EXERCICES

Vérifier l'essentiel

EN AUTONOMIE

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➔ **SOLUTIONS EN PAGE 593**



1 Stabilité et instabilité des noyaux

	A	B	C
1 Le diagramme (N , Z) :	permet de connaître les isotopes radioactifs.	porte en ordonnée le nombre de nucléons.	porte en ordonnée le nombre de neutrons.
2 Les noyaux radioactifs :	sont instables.	peuvent se désintégrer.	sont des noyaux lourds.
3 La radioactivité :	est toujours naturelle.	permet de transformer un élément en un autre.	nécessite un apport d'énergie.
4 $^{30}_{15}\text{P} \rightarrow ^{30}_{14}\text{Si} + ^0_{-1}\text{e}$ est l'équation d'une :	désintégration α .	désintégration β^+ .	désintégration β^- .
5 Une désintégration α permet d'éliminer :	4 nucléons.	4 protons.	4 neutrons.

2 Décroissance radioactive

	A	B	C
6 Le nombre moyen de désintégrations est proportionnel :	au nombre de noyaux radioactifs.	à la température de l'échantillon.	à la durée de mesure.
7 La loi d'évolution temporelle d'une population de noyaux radioactifs est :	une courbe croissante.	une courbe décroissante.	une courbe exponentielle.
8 La constante radioactive λ et le temps de demi-vie $t_{1/2}$ sont liées par :	$t_{1/2} = \frac{\log 2}{\lambda}$	$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$	$t_{1/2} = \frac{\lambda}{\ln 2}$
9 L'activité d'une source radioactive est :	proportionnelle à la masse de la source.	le nombre de désintégrations par seconde.	mesurée à l'aide d'un bequerelmètre.

3 Applications de la radioactivité

	A	B	C
10 Pour réaliser une datation, on peut :	mesurer l'activité d'un échantillon.	mesurer le nombre de noyaux radioactifs restants dans un échantillon.	utiliser du carbone 12.
11 Dans le domaine médical, une application de la radioactivité peut être :	la radiothérapie.	la chimiothérapie.	la curiethérapie.
12 Les rayonnements ionisants absorbés complètement par la matière sont :	α	β	γ
13 On se protège mieux des rayons γ avec un écran :	épais.	fin.	composé d'un élément lourd.

Acquérir les bases

1 Stabilité et instabilité des noyaux

EN AUTONOMIE

Ce qu'on attend de moi le jour du **BAC**

- Déterminer, à partir d'un diagramme (N , Z), les isotopes radioactifs d'un élément.
- Écrire l'équation d'une réaction nucléaire.
- Identifier les différents types de radioactivité.

→ Acquérir les bases : 15 17 → S'entraîner : 25 30

DONNÉES

X	Ar	Ca	Rh	Pd	Ag	Cd	In
Z	18	20	45	46	47	48	49

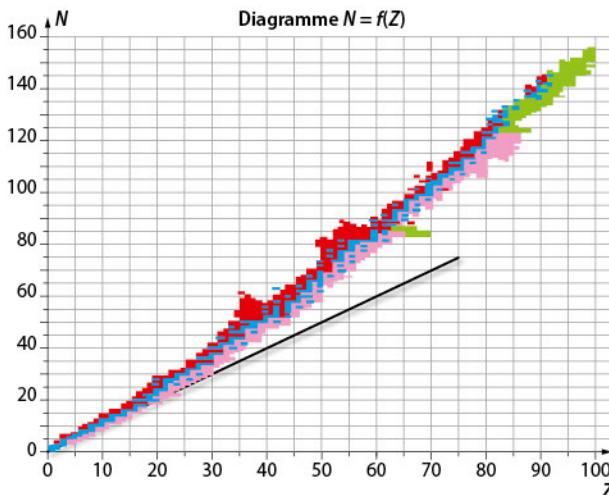
14 Problème de stabilité

Un noyau est instable s'il présente :

- soit un excès de protons par rapport aux neutrons ;
- soit un excès de neutrons par rapport aux protons ;
- soit un excès de protons et de neutrons.

- Donner la définition de la radioactivité.
- Sur le diagramme ci-dessous, on retrouve tous les noyaux connus à ce jour.

Les noyaux en bleu sont les noyaux stables, ils sont situés dans ce que l'on nomme la *vallée de la stabilité*.



- Comment sont classés les noyaux dans ce diagramme ?
- Attribuer aux zones rouges, rose et verte leur cause d'instabilité parmi celles citées dans l'énoncé.
- Pourquoi parle-t-on de vallée de la stabilité ?

15 Équations

- Citer les lois de conservation nécessaires à l'écriture d'une équation de réaction nucléaire.

- Vérifier si ces lois sont respectées pour ces équations :

- $^{210}_{84}\text{Po} \rightarrow ^{206}_{82}\text{Pb} + ^4_2\text{He}$
- $^{7}_{4}\text{Be} + ^1_1\text{H} \rightarrow 2 ^4_2\text{He}$
- $^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{139}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + ^1_0\text{n}$
- $^{4}_{2}\text{He} + ^9_{4}\text{Be} \rightarrow ^{12}_{6}\text{C}$

16 Le potassium 40

Le potassium 40 ($^{40}_{19}\text{K}$) est partiellement responsable de la radioactivité du corps humain. C'est un noyau radioactif qui peut se transformer en calcium 40 ($^{40}_{20}\text{Ca}$) ou en argon 40 ($^{40}_{18}\text{Ar}$), en émettant une particule chargée.

- Quel doit être nécessairement le nombre de nucléons de chaque particule émise ? Justifier la réponse.

- Parmi les transformations, l'une émet un électron $^0_{-1}\text{e}$, l'autre un positon $^0_{+1}\text{e}$.

Écrire les équations des deux réactions nucléaires citées.

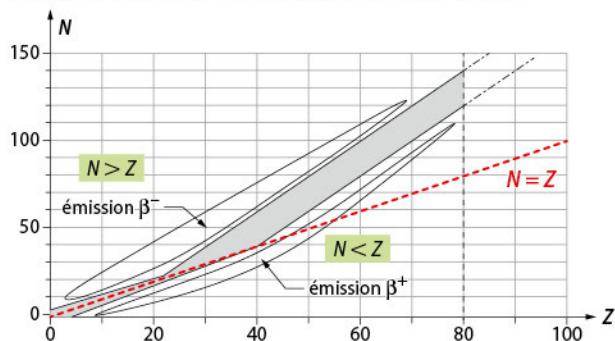
17 Noyau d'argent

Le noyau d'argent 108 est radioactif. Il se désintègre suivant plusieurs processus dont les radioactivités β^- et β^+ .

- Rappeler les deux lois de conservation qui permettent d'écrire l'équation d'une réaction nucléaire.
- a. Quelle est la nature des particules émises au cours de la radioactivité β^- ? la radioactivité β^+ ?
- Écrire leur symbole.
- Écrire les équations correspondant à chacune des transformations radioactives pour le noyau d'argent 108.

18 Transformation nucléaire

Le diagramme (N , Z) représenté ici est très simplifié, Z étant le nombre de protons et N le nombre de neutrons.



- Que représente la zone grisée dans le diagramme ?
- Soit la réaction nucléaire indiquée par la flèche ci-dessous entre un noyau père et son noyau fils.

$^{148}_{62}\text{Sm}$		$^{148}_{60}\text{Nd}$
$^{147}_{62}\text{Sm}$		$^{146}_{60}\text{Nd}$
		$^{145}_{60}\text{Nd}$
		$^{144}_{60}\text{Nd}$
$^{144}_{62}\text{Sm}$		$^{144}_{60}\text{Nd}$
		$^{143}_{60}\text{Nd}$

- Sachant qu'une seule particule est émise en plus du noyau fils, écrire la réaction de désintégration nucléaire du samarium Sm et indiquer les lois de conservation qui régissent toute réaction nucléaire.
- De quel type de radioactivité s'agit-il ?
- Où seront situés sur le diagramme (N , Z) les noyaux concernés par ce type de désintégration ?
- Un isotope du noyau néodyme Nd peut-il subir *a priori* une désintégration β^- pour devenir du prométhium Pm ? Si oui, lequel ?

EXERCICES

2 Décroissance radioactive

EN AUTONOMIE

Ce qu'on attend de moi le jour du BAC

- Établir l'expression de l'évolution temporelle de la population de noyaux radioactifs.
- Exploiter la loi et une courbe de décroissance radioactive.
- Résoudre une équation différentielle.

→ Acquérir les bases : 20 → S'entraîner : 25 27

19 Carbone 14

L'activité d'un échantillon $A(t)$ est le nombre de désintégrations produites par unité de temps, soit :

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

$A(t)$ est proportionnelle à $N(t)$ qui est le nombre de noyaux radioactifs présents, soit $A(t) = \lambda \cdot N(t)$.

On peut lire l'information suivante sur Internet au sujet du carbone 14 :

Pour obtenir une quinzaine de désintégrations par minute avec un matériau récent, il faut 1 g de carbone, c'est-à-dire que l'on doit disposer de 10 g de bois, de tissu ou de cuir, 20 g de coquillage ou 200 g d'os.

Donnée : $\lambda = 3,93 \times 10^{-12} \text{ s}^{-1}$ pour ^{14}C .

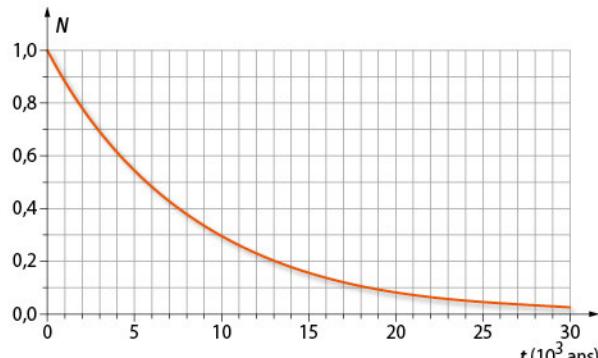
- Quelle est, en becquerel, l'activité des 200 g d'os prélevés sur un individu mort récemment ?
- a. Établir l'équation différentielle donnant le nombre de noyaux $N(t)$ en fonction du temps.
- b. Vérifier que l'expression $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ est solution de l'équation différentielle établie précédemment.
- Calculer le nombre de noyaux radioactifs présents dans l'échantillon d'os.

20 Élément radioactif

On considère un échantillon de noyaux radioactifs.

Soit N_0 le nombre de noyaux à un instant pris comme origine des temps.

On a tracé la courbe traduisant l'évolution du nombre de noyaux radioactifs N en fonction du temps.



Données : temps de demi-vie de quelques éléments.

césium 137	cobalt 60	carbone 14	radium 226
30 ans	5,3 ans	$5,7 \times 10^3$ ans	$1,6 \times 10^3$ ans

1. Établir l'équation correspondant à la représentation graphique fournie.

2. a. Qu'appelle-t-on temps de demi-vie $t_{1/2}$?

b. En déduire sa valeur.

c. De quel élément radioactif s'agit-il ?

3. a. Établir la relation entre le temps de demi-vie $t_{1/2}$ et la constante radioactive λ de cet élément.

b. Calculer la valeur de cette constante radioactive.

21 Activité d'un échantillon



Soit un échantillon contenant N_0 noyaux d'argent 108 à l'instant $t = 0$ s.

$N(t)$ est le nombre de noyaux restant à l'instant t .

1. Établir l'expression de $N(t)$ en fonction de N_0 , t et λ , la constante radioactive.

2. Quelle est la définition du temps de demi-vie $t_{1/2}$?

3. Établir la relation entre le temps de demi-vie et la constante radioactive. Quelle est l'unité de λ ?

4. a. Définir l'activité d'une source radioactive.

b. Quelle est son unité dans le Système international ?

À quoi correspond-elle ?

c. Comment mesure-t-on cette grandeur ?

5. Montrer que l'activité peut s'écrire : $A(t) = \lambda \cdot N(t)$.

3 Applications de la radioactivité

EN AUTONOMIE

Ce qu'on attend de moi le jour du BAC

Applications de la radioactivité

- 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.

→ Acquérir les bases : 23 → S'entraîner : 30

Protection contre les rayonnements

- Citer des méthodes de protection contre les rayonnements ionisants et des facteurs d'influence de ces protections.

→ Acquérir les bases : 24 → S'entraîner : 31

22 Médecine nucléaire

La scintigraphie consiste à introduire dans l'organisme des substances radioactives appelées traceurs.



Le rayonnement qu'ils émettent traverse les tissus vivants de l'organisme, il est détecté par une gamma caméra permettant d'obtenir des images utiles au diagnostic médical.

Les traceurs, comme le technétium 99 ou l'iode 131, sont choisis parce que leur activité décroît rapidement.

La radiothérapie est utilisée pour soigner des tumeurs.

Le principe consiste à bombarder la tumeur avec le rayonnement β^- émis par le cobalt 60.

Dans certains cas, il faut une source radioactive plus ionisante, on utilise alors un rayonnement de type α , plus massif que les autres.

1. Quelle propriété commune les traceurs radioactifs présentent-ils ?

2. Citer une particularité des radioéléments utilisables en scintigraphie.

3. Justifier la phrase « un rayonnement de type α , plus massif que les autres ».

4. À l'aide de ce tableau, justifier le choix de l'iode 131 en scintigraphie.

	Activité (en Bq)	
	au moment de l'injection	400 jours après l'injection
Iode 131 dont $t_{1/2} = 8$ jours	2×10^5	6×10^{-3}
Un traceur dont $t_{1/2} = 80$ jours	2×10^5	6 255

5. Quelles précautions le personnel hospitalier doit-il prendre lors d'un examen en scintigraphie ? Justifier la réponse.

23 Datation d'un drakkar

Le carbone 14 est continuellement produit dans la haute atmosphère, d'où le maintien d'une teneur constante dans l'atmosphère. Ce carbone 14 formé réagit rapidement avec ldioxygène de l'air en donnant du dioxyde de carbone CO_2 .

Tous les organismes vivants échangent moyennant la respiration et l'alimentation du CO_2 avec l'atmosphère. Ils fixent dans leurs tissus jusqu'à leur mort le carbone 14 à une teneur égale à celle de l'atmosphère.

Après la mort, l'absorption et le rejet de dioxyde de carbone s'arrêtent.

En 1983, l'épave d'un drakkar a été découverte dans la vase du port de Roskilde, au Danemark.

Une datation au carbone 14 a été réalisée sur un échantillon de bois.

L'activité A mesurée était de 12,0 désintégrations par minute et par gramme de carbone. Or l'activité A_0 pour 1 gramme de carbone, participant au cycle du dioxyde de carbone de l'atmosphère, vaut 13,6 désintégrations par minute.

Donnée :

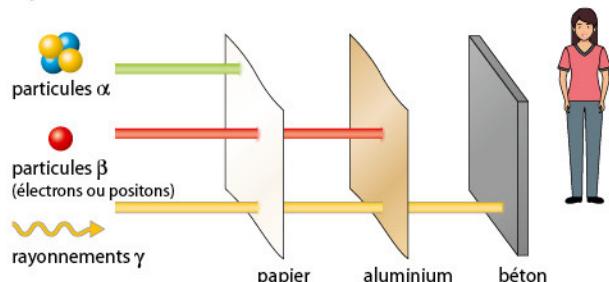
• La constante radioactive du carbone 14 est $\lambda = 3,87 \times 10^{-12} \text{ s}^{-1}$.

- Justifier la variation d'activité d'un échantillon de bois mort au cours du temps.
- La loi de décroissance de l'activité A en fonction du temps t s'écrit : $A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$.
 - Exprimer t en fonction des grandeurs $A(t)$, A_0 et λ . Calculer sa valeur.
 - Déterminer approximativement l'année de construction du bateau.



24 Dangerosité des sources radioactives

Le document ci-dessous récapitule les différents types de rayonnements issus de la radioactivité.



- Quels sont les rayonnements les plus pénétrants ?
- Pourquoi les rayonnements α sont-ils facilement absorbés par les matériaux et les tissus humains ?

Faire le point avant d'aller plus loin

Pour vérifier ses connaissances, répondre aux questions suivantes (sans regarder le cours !)

PRÉPA
BAC

Citer les lois de conservation vérifiées dans l'équation d'une réaction nucléaire.

Explicitier les différents types de radioactivité en précisant les particules ou les rayonnements mis en jeu.

Préciser dans quel cas intervient la radioactivité γ .

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

Décrire comment obtenir graphiquement le temps de demi-vie à partir de la courbe de décroissance radioactive.

Expliquer le principe de datation à l'aide de noyaux radioactifs.

Citer un moyen de protection contre les rayonnements ionisants.

Citer des applications de la radioactivité dans le domaine médical.

Retrouver ces questions en version numérique

Exercice résolu

EN AUTONOMIE



25 Du lait radioactif !

Le lait de vache contient du césium 137, un élément radioactif β^- dont l'activité est de l'ordre de 0,22 Bq pour un litre de lait.

La constante radioactive du césium 137 est $\lambda = 2,3 \times 10^{-2} \text{ an}^{-1}$.

On considère que la radioactivité du lait de vache est due uniquement à la présence de césium 137.

Données :

Élément X	iode I	xénon Xe	césium Cs	baryum Ba
Z	53	54	55	56

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

► L'activité est proportionnelle au nombre moyen de noyaux radioactifs présents dans un échantillon.

► Les données permettent d'écrire l'équation d'une réaction de désintégration.

- Préciser ce qu'est la radioactivité β^- .
- Écrire l'équation de désintégration du césium 137. On admet que le noyau fils n'est pas obtenu dans un état excité.
- Combien de désintégrations par seconde se produit-il dans un litre de lait ?
- Déterminer le nombre de noyaux radioactifs de césium 137 présents dans un litre de lait.
- On prend comme origine des temps l'instant où on mesure l'activité d'un litre de lait de vache. En déduire au bout de combien de temps il ne restera plus que 1 % de cette activité.

EXEMPLE DE RÉDACTION

- La radioactivité β^- est la désintégration spontanée d'un noyau instable qui se transforme en un autre noyau en libérant un électron.
- $^{137}_{55}\text{Cs} \rightarrow ^{137}_{56}\text{Ba} + {}_{-1}^0\text{e}$
- Pour un litre de lait, $A = 0,22 \text{ Bq}$, donc il se produit **0,22 désintégration** par seconde.
- L'activité A est proportionnelle au nombre de noyaux radioactifs $N(t)$:

$$A(t) = \lambda \cdot N(t) \text{ donc } N(t) = \frac{A(t)}{\lambda} \text{ soit } N(t) = \frac{0,22}{7,3 \times 10^{-10}} = 3,0 \times 10^8 \text{ noyaux.}$$

$$5. A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \text{ donc } \frac{A_0}{A(t)} = e^{\lambda \cdot t} \text{ et } \ln\left(\frac{A_0}{A(t)}\right) = \lambda \cdot t \text{ soit } t = \frac{\ln\left(\frac{A_0}{A(t)}\right)}{\lambda}.$$

$$\text{D'après l'énoncé, } \frac{A(t)}{A_0} = 1\% \text{ soit } \frac{A_0}{A(t)} = 100, \text{ d'où } t = \frac{\ln(100)}{7,3 \times 10^{-10}} \text{ soit } t = 6,3 \times 10^9 \text{ s.}$$

LES VERBES D'ACTION

► **Préciser**: apporter une information nouvelle.

► **Déterminer**: mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.

► **En déduire**: intégrer la donnée précédente pour répondre.

QUELQUES CONSEILS

- L'équation doit respecter les lois de conservation de la charge électrique et du nombre de nucléons.
- Se rappeler la définition du becquerel.
- Penser à convertir la constante radioactive dans l'unité du Système international.

EXERCICE SIMILAIRE

26 Séisme californien

Avant le séisme qui a touché San Francisco (photo) en 1989, on a prélevé à proximité de la faille de San Andreas en Californie un échantillon de végétal enseveli lors d'un ancien séisme ; l'activité mesurée était alors $A = 0,223 \text{ SI}$.

On admet que cette activité est due uniquement à la présence de ^{14}C .

Le carbone ^{14}C est un noyau radioactif émetteur β^- . Sa constante radioactive λ vaut $1,22 \times 10^{-4} \text{ an}^{-1}$.

Données :

• Numéros atomiques : $Z(\text{Be}) = 4$; $Z(\text{B}) = 5$; $Z(\text{C}) = 6$; $Z(\text{N}) = 7$; $Z(\text{O}) = 8$.

1. Écrire l'équation de la réaction nucléaire correspondant à la désintégration du carbone 14 en la justifiant. On admet que le noyau fils n'est pas obtenu dans un état excité.

2. Définir l'activité d'un échantillon radioactif et donner son unité dans le Système international.

3. L'activité A_0 d'un échantillon du même végétal vivant et de même masse est $A_0 = 0,255 \text{ SI}$.

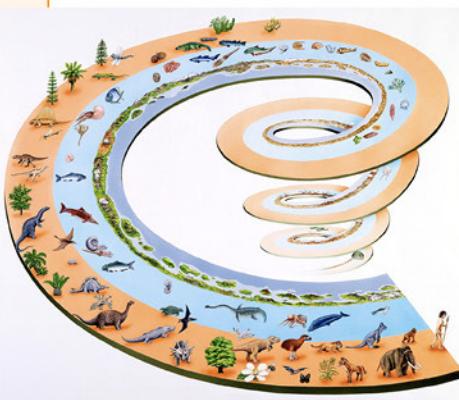
On note t la durée écoulée entre l'instant $t_0 = 0 \text{ s}$ du séisme et la mesure. Déterminer cette durée.

4. En déduire la date approximative à laquelle s'est produit le séisme.



Exercice résolu

EN AUTONOMIE



27 Datation isotopique

Les éléments radioactifs sont utilisés pour évaluer le temps. Selon la nature et la durée de vie de ces éléments, ils renseignent sur l'âge de l'Univers ou de la Terre, les processus géologiques et même l'histoire de l'humanité. On donne l'équation différentielle :

$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda \cdot N(t)$ où $N(t)$ est le nombre de noyaux radioactifs d'un échantillon à un instant de date t et N_0 le nombre de noyaux radioactifs à un instant pris comme origine des dates ($t_0 = 0$ s) pour ce même échantillon. λ est la constante radioactive.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

► L'équation différentielle est linéaire du premier ordre, à coefficients constants.

► N_0 est la **condition initiale** sur le nombre de noyaux.

1. **Établir** la loi de décroissance radioactive.
2. Donner la définition du temps de demi-vie d'un échantillon radioactif que l'on notera $t_{1/2}$.
3. **Préciser** l'allure de la courbe $N=f(t)$ et expliquer comment obtenir graphiquement la valeur de $t_{1/2}$.
4. **Déterminer** l'expression littérale du temps de demi-vie $t_{1/2}$ en fonction de la constante radioactive λ .
5. Le temps de demi-vie de l'isotope du carbone ^{14}C est $5,70 \times 10^3$ ans.
En déduire la valeur de sa constante radioactive λ en an^{-1} .

LES VERBES D'ACTION

► **Établir:** donner l'expression en la justifiant.

► **Préciser:** apporter une information nouvelle.

► **Déterminer:** mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.

► **En déduire:** intégrer la donnée précédente pour répondre.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. La résolution de l'équation différentielle donne $N(t) = K \cdot e^{-\lambda \cdot t}$.

Comme à $t = 0$ s, on a $N(0) = N_0$, alors $K = N_0$ soit $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$.

2. Le temps de demi-vie d'un échantillon radioactif est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux initialement présents se sont désintégrés.

3. $N = f(t)$ a une allure de courbe décroissante. On détermine graphiquement

$t_{1/2}$ à partir de la valeur $\frac{N_0}{2}$.

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

En utilisant la loi de décroissance radioactive, on écrit : $N(t_{1/2}) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_{1/2}}$,

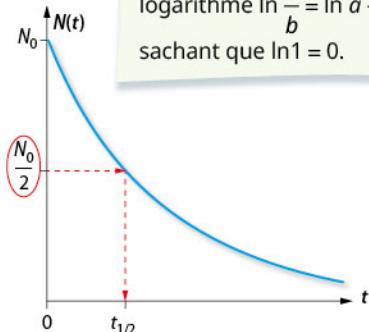
donc $N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} = \frac{N_0}{2}$, d'où $-\lambda \cdot t_{1/2} = \ln \frac{1}{2}$ soit $-\lambda \cdot t_{1/2} = -\ln 2$ et $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$.

5. $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ donc $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{\ln 2}{5,70 \times 10^3}$ soit $\lambda = 1,22 \times 10^{-4} \text{ an}^{-1}$.

QUELQUES CONSEILS

3. Exploiter la définition donnée à la question précédente.

4. Utiliser la propriété du logarithme $\ln \frac{a}{b} = \ln a - \ln b$ sachant que $\ln 1 = 0$.



EXERCICE SIMILAIRE

28 Détection par un compteur de radioactivité

On dispose d'un aspirateur muni d'un filtre pour récupérer des poussières de l'air ambiant.

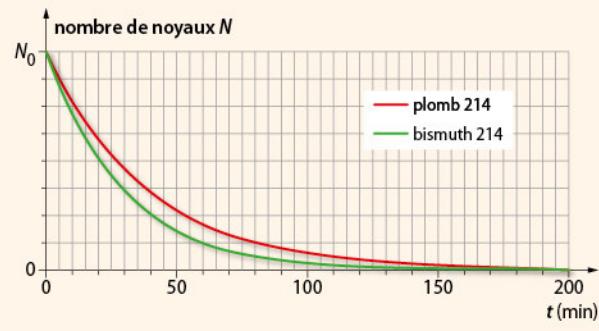
À l'aide d'un compteur Geiger-Müller, on mesure le niveau de radioactivité de ces poussières qui contiennent entre autres des noyaux radioactifs de plomb 214 et de bismuth 214.

1. À partir de l'équation différentielle $\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda \cdot N(t)$, établir l'expression de l'évolution temporelle du nombre N de noyaux d'un échantillon radioactif.

2. Donner la définition de son temps de demi-vie $t_{1/2}$.

3. Comparer graphiquement les temps de demi-vie du plomb 214 et du bismuth 214.

4. Déterminer lequel des deux radioéléments possède la constante radioactive la plus grande.



S'entraîner pour maîtriser

SAVOIR RÉDIGER

29 Proposer une correction de la solution donnée par un élève à l'énoncé.

Énoncé

Le texte ci-dessous est un extrait de la Conférence Nobel de 1935, qui s'est tenue à l'occasion de la remise du prix Nobel de Chimie à Irène Curie et Frédéric Joliot pour l'expérience et l'interprétation du bombardement d'une feuille d'aluminium par des particules alpha (noyaux d'hélium).

« Le phénomène se produit en deux temps : il y a d'abord capture de la particule alpha et expulsion instantanée du neutron, avec formation d'un atome radioactif qui est un isotope du phosphore de masse 30, alors que l'atome stable de phosphore a une masse égale à 31. Ensuite, cet atome instable, ce radioélément nouveau, que nous avons appelé radiophosphore, se désintègre. »

Données :

- Numéros atomiques pour le phosphore et l'aluminium : $Z(P) = 15 ; Z(Al) = 13$.

1. Expliquer la formation du phosphore 30 à partir de l'aluminium 27.
2. Cette transformation est-elle une désintégration radioactive ? Justifier la réponse.
3. Expliquer pourquoi cette expérience constitue la découverte de la radioactivité artificielle.

Solution proposée par un élève

1. L'aluminium a capté les deux protons de l'hélium et a expulsé un neutron selon l'équation :
$${}_{13}^{27}\text{Al} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{15}^{30}\text{P} + {}_1^0\text{n}$$
) Respecter les 2 lois de conservation
2. Oui car cette transformation est spontanée.) Distinguer spontanée et provoquée
3. Le phosphore 30 produit est radioactif et comme il n'existe pas dans la nature, on a donc produit un élément radioactif artificiel.

30 Le technétium HISTOIRE DES SCIENCES

Le technétium est un élément chimique de numéro atomique 43. Ce nom d'origine grecque « technetos » signifie « artificiel ». Il est le premier élément chimique produit sans être découvert dans la nature. Tous les isotopes connus du technétium sont radioactifs. En 1937, Carlo Perrier et Emilio Segrè ont synthétisé l'isotope 97 du technétium en bombardant du molybdène 96 avec du deutérium.

Actuellement, le technétium 99 est très utilisé en médecine nucléaire car son temps de demi-vie est court et réduit l'irradiation du patient tout en étant compatible avec la durée de l'examen.

Pour le fabriquer, il existe des générateurs à molybdène / technétium où le molybdène 99 se désintègre en technétium 99.



Données :

- Technétium 97 ${}_{43}^{97}\text{Tc}$; technétium 99 ${}_{43}^{99}\text{Tc}$; molybdène 96 ${}_{42}^{96}\text{Mo}$; molybdène 99 ${}_{42}^{99}\text{Mo}$; deutérium ${}_1^2\text{H}$.

- Temps de demi-vie du technétium 99 : $t_{1/2} = 6,0$ heures.

1. Énoncer les lois de conservation qui régissent les réactions nucléaires.

2. Écrire l'équation de la réaction nucléaire de synthèse du technétium 97 sachant qu'une particule est émise. Nommer cette particule.
3. Écrire l'équation de la désintégration du molybdène 99. De quel type de radioactivité s'agit-il ?
4. Définir le terme « temps de demi-vie ».
5. a. Citer deux applications de la radioactivité en médecine nucléaire.

Coup de pouce

► Les éléments radioactifs sont utilisés en médecine nucléaire.

- b. Quel avantage l'utilisation du technétium présente-t-elle ?

31 The Litvinenko case

In 2006, a former Russian spy, Alexander Litvinenko, was poisoned in London by means of 10 µg of polonium 210, which probably come from radioactive waste.

This element, discovered by Marie Curie in an ore, pitch-blende, has an activity of 1.66×10^{14} Bq per gram. Its decay constant is $\lambda = 5.8 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$.

It emits helium nuclei, which are very harmful since they can be absorbed by human tissues.

1. Was the polonium-210 which poisoned Litvinenko of natural or artificial origin? What about the polonium-210 discovered by Marie Curie?

2. Determine the activity of 10 µg of polonium.

3. In days, what is the half-life of this radioisotope?

32 Un gaz méconnu



Le radon 222 est un gaz sans odeur ni couleur, présent à l'état naturel. On peut le trouver partout à la surface de la Terre, principalement dans les régions granitiques.

Radioactif, le radon laisse des traces parfois indélébiles dans l'organisme. Son inhalation augmente le risque de contracter un cancer. La première parade contre le radon est une bonne ventilation.



L'Union européenne préconise la mise en place d'actions correctives lorsque l'activité volumique moyenne dépasse 400 becquerels par mètre cube.

Pour mesurer la concentration en radon dans une pièce, on prélève de l'air dans une fiole où préalablement on a réalisé un vide partiel. La fiole

est ensuite placée dans un détecteur qui compte le nombre total n_d de désintégrations α attribuées au seul radon 222. Le temps de comptage est fixé à 50 secondes. L'opération est répétée et les résultats, ramenés à une seconde, sont regroupés dans ces tableaux :

Mesure	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n_d	5	8	9	1	12	8	14	9	12	4
Mesure	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
n_d	9	8	6	9	10	4	9	8	10	6

Données :

X	U	Pa	Th	Ac	Ra	Fr	Rn	At
Z	92	91	90	89	88	87	86	85

1. Montrer qu'une série de désintégrations α de l'uranium 234 conduit au radon 222.

2. Calculer la meilleure estimation de cette série de mesures et son incertitude-type.

3. L'activité moyenne \bar{A} du radon 222, exprimée en $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, est $\bar{A} = k \cdot \bar{n}_d$ avec $k = 80$. La valeur du coefficient k dépend de l'appareillage utilisé. Quelles conclusions en tirer sur la qualité de l'air dans la pièce ?

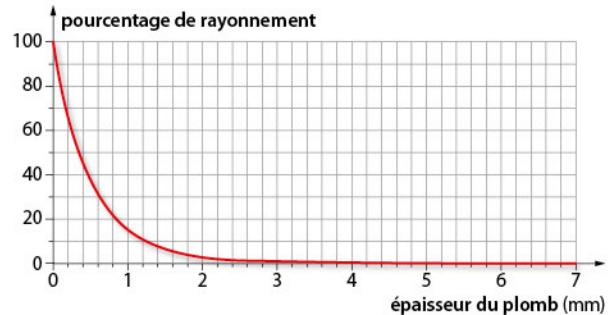
JE VÉRIFIQUE QUE J'AI...

- ▶ appliqué correctement les lois de conservation de la charge électrique et du nombre de nucléons ;
- ▶ utilisé correctement les outils statistiques de la calculatrice ou du tableau.

33 Protection contre les rayonnements

Pour se protéger du rayonnement γ produit par un traceur radioactif, l'infirmière a utilisé, lors de l'injection de la dose au patient, un protège-seringue d'une épaisseur de 5 mm de plomb. La couche de demi-atténuation d'un matériau est l'épaisseur de ce matériau capable d'arrêter 50 % du rayonnement ionisant.

Le graphique suivant représente le pourcentage de rayonnement γ (produit par le traceur) transmis à l'extérieur en fonction de l'épaisseur de plomb.



1. Déterminer la valeur de la couche de demi-atténuation du plomb dans la situation de l'énoncé.

2. Justifier le choix d'une épaisseur de 5 mm pour le protège-seringue utilisé lors de l'injection du traceur.

34 Durée d'une scintigraphie DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

À 14 h, un infirmier injecte à la patiente qui va subir une scintigraphie une dose de technétium 99 d'activité $A_0 = 555 \text{ MBq}$. Le temps de demi-vie du technétium 99 est $t_{1/2} = 6,0 \text{ heures}$.

À la fin de l'examen, l'activité de la patiente est égale à 63 % de sa valeur mesurée à 14 h, juste après l'injection.

DÉMARCHE EXPERTE

Déterminer l'heure à laquelle l'examen va se terminer.

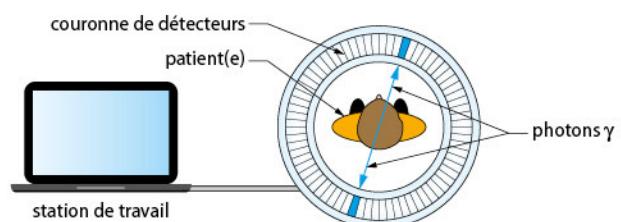
DÉMARCHE AVANCÉE

1. Définir l'activité d'un échantillon de noyaux radioactifs.
2. Montrer que l'expression de l'activité peut s'écrire $A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$.
3. À quelle heure l'examen va-t-il se terminer ?

35 Tomographie par émission de positons

Les neurobiologistes peuvent suivre avec la technique de tomographie par émission de positons TEP, les variations du flux sanguin, lesquelles reflètent l'activité du cerveau. Le principe de cette technique est d'injecter au patient par voie intraveineuse de l'eau radioactive. En TEP, on détecte les molécules d'eau radioactives présentes dans le cerveau. Dans ces molécules d'eau, le noyau d'oxygène qui comprend normalement 8 protons et 8 neutrons est remplacé par un noyau d'oxygène 15, émetteur de positons β^+ .

Avec la TEP, on cherche à repérer les photons qui traversent en grande partie le cerveau et le crâne, de sorte que l'on peut les détecter en dehors de la boîte crânienne. Le dispositif de détection, la caméra à positons, entoure la tête du sujet.



Dispositif pour une tomographie TEP

EXERCICES

Après l'analyse mathématique, on obtient une série de « coupes » contigües du cerveau qui représentent la concentration en noyaux d'oxygène 15 en chaque point du cerveau, ce qui reflète le débit sanguin local.

Le temps de demi-vie de ces noyaux émetteurs de positons est bref, il est de 123 s. Cette propriété est importante chez l'Homme car d'une part l'irradiation subie par les sujets est faible et d'autre part, cette radioactivité disparaissant rapidement, on peut effectuer plusieurs études chez le même sujet. Cette courte durée de vie impose néanmoins que l'eau radioactive soit préparée dans les minutes qui précèdent son injection, et que deux injections successives soient espacées de 8 à 10 min.

Données : ^{16}C ; ^{15}N ; ^{15}O ; ^{15}F .

1. Écrire l'équation de la réaction de désintégration du noyau d'oxygène 15. Le noyau fils n'est pas produit dans un état excité.

2. Définir le temps de demi-vie $t_{1/2}$ d'un échantillon radioactif.

3. L'évolution temporelle du nombre de noyaux d'oxygène 15 est donnée par la loi de décroissance radioactive où N_0 est le nombre de noyaux d'oxygène 15 au moment de l'injection de l'eau radioactive à l'instant de date $t = 0$ s.

a. À partir de cette loi, montrer que la constante radioactive λ a pour expression :

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

b. Calculer sa valeur.

4. Si l'on souhaite poursuivre l'examen par TEP, on estime qu'il est nécessaire de procéder à une nouvelle injection lorsque le nombre $N(t_1)$ de noyaux d'oxygène 15 restants à l'instant de date t_1 est de l'ordre de 5 % du nombre N_0 de noyaux initialement injectés. Calculer la valeur de la date t_1 .

5. Justifier la durée entre les deux injections, évoquée dans l'énoncé.

36 Quel âge ?

Le chlore 36 se désintègre essentiellement en argon 36. Son temps de demi-vie est $3,01 \times 10^5$ ans. L'étude de cet isotope radioactif renseigne sur la durée du transit souterrain d'une eau, c'est-à-dire l'âge de la nappe phréatique.

Les ions chlorure Cl^- (aq) sont presque toujours présents dans les eaux minérales naturelles.

Dans les eaux de surface, le chlore 36 est renouvelé et la teneur en chlore 36 peut être supposée constante, ce qui n'est pas le cas dans les eaux souterraines.

Données : ^{36}Cl ; ^{36}Ar ; relation entre le temps de demi-vie $t_{1/2}$ et la constante radioactive λ : $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$.

1. Écrire l'équation de la réaction de désintégration d'un noyau de chlore 36, en précisant :

- les lois utilisées ;
- le type de radioactivité mise en jeu.

2. Pourquoi le chlore 36 est-il particulièrement adapté pour dater géologiquement les eaux souterraines sur une durée de soixante mille à un million d'années ?

3. Déterminer à partir d'une formule la définissant, l'unité de la constante radioactive λ dans le Système international.

4. Calculer sa valeur en respectant l'unité de base du Système international.

5. On considère un échantillon, de volume V donné, d'eau souterraine.

On note :

- N_0 le nombre moyen de noyaux de chlore 36 présents dans l'échantillon à l'instant de date $t_0 = 0$ s de la constitution de la nappe phréatique ;

- $N(t)$ le nombre moyen de noyaux de chlore 36 présents dans l'eau extraite aujourd'hui de cette nappe, donc non renouvelée en chlore 36.

Écrire la loi de décroissance radioactive liant $N(t)$ et N_0 .

6. On admet que N_0 est égal au nombre moyen de noyaux de chlore 36 présents dans un échantillon de même volume V d'eau de surface.

Déduire de la loi de décroissance écrite précédemment l'âge d'une nappe phréatique dont l'eau non renouvelée ne contient plus que 38 % du nombre de noyaux de chlore 36 trouvés dans les eaux de surface.

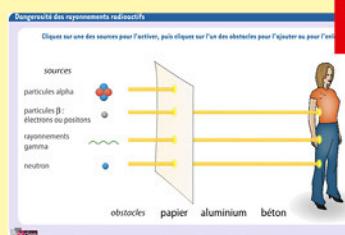
JE VÉRIFIE QUE J'AI...

► bien utilisé la relation entre λ et $t_{1/2}$.

À L'ORAL

37 Dangerosité des rayonnements

Préparer un exposé oral permettant d'expliquer l'animation suivante :



ANIMATION
Dangerosité des rayonnements radioactifs



Les mots-clés à utiliser

- radioactivité α , β , γ
- rayonnement ionisant
- écran
- matériau absorbant

Ce court exposé devra pouvoir être réalisé sans note écrite.

38 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE

Pour comprendre les modes de vie des populations anciennes, les archéologues ont besoin entre autres de connaître l'âge des objets qu'ils mettent à jour sur les chantiers.



Préparer un exposé oral expliquant comment les scientifiques peuvent dater les ossements découverts par les archéologues lors des chantiers de fouilles.

Développer ses compétences

39 Enquête préhistorique

RÉSOLUTION DE PROBLÈME



AN/RAI Proposer une stratégie de résolution

Dans leurs travaux, il n'est pas rare que les scientifiques adoptent une démarche d'investigation et les enquêtes menées sont dignes des meilleurs limiers.

DOC 1 Une découverte* exceptionnelle

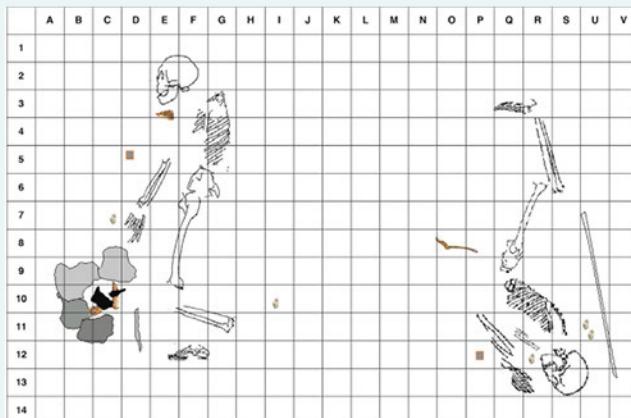
« Les travaux de la future station hivernale ont révélé un site d'une richesse inattendue qui suscite l'enthousiasme des plus grands spécialistes mondiaux de la paléoanthropologie. C'est en préparant les fondations du téléphérique trans-frontières qu'a été exhumé [...] le premier fragment fossile : un crâne pratiquement complet apparenté au genre HOMO, de l'espèce SAPIENS NEANDERTHAL. On l'a "baptisé" du nom d'ANDER. Les autorités ont suspendu les projets d'aménagement pour permettre l'étude de ce site. Depuis lors les équipes de fouille sont allées de surprise en surprise. On a exhumé le squelette partiel d'ANDER mais aussi d'un autre fossile inattendu, SAPIAND : un HOMO de l'espèce SAPIENS SAPIENS. On sait que ces deux espèces d'hominidés ont cohabité en Europe entre -60 000 et -30 000 ans, mais la découverte de ces deux individus, dans un tel état de conservation, est exceptionnelle. De plus, les deux fossiles sont séparés d'à peine deux mètres de distance [...]. [Il semblerait que SAPIAND et ANDER aient vécu au même endroit].

Les spécialistes s'interrogent :

ces deux individus se sont-ils réellement rencontrés ?

Et la question prend la dimension d'une enquête policière puisque ANDER présente manifestement les signes [crâniens] d'une mort violente ! »

*Attention : cette histoire est fictive.



Ce document est extrait du relevé de fouilles.

QUESTIONS PRÉLIMINAIRES

- Quelle méthode peut-on envisager pour répondre au problème posé ?
- Écrire l'équation de la réaction nucléaire correspondant à la formation de carbone 14 dans la haute atmosphère. Identifier la particule émise en justifiant la réponse.
- Écrire l'équation de désintégration β^- du carbone 14.
- Établir l'équation différentielle donnant le nombre de noyaux $N(t)$ en fonction du temps.

DOC 2 Deux isotopes du carbone

Dans la nature, le carbone existe sous forme de deux noyaux isotopes : $^{12}_6\text{C}$ et $^{14}_6\text{C}$.

Dans la haute atmosphère, un neutron (formé par l'action de rayons cosmiques) bombarde un noyau d'azote 14 (^{14}N) qui se transforme en carbone 14 radioactif β^- avec émission d'une autre particule.

Le temps de demi-vie $t_{1/2}$ du carbone 14 est de 5 730 ans.

Tant que la matière est vivante, les échanges de l'organisme animal ou végétal impliquant le dioxyde de carbone atmosphérique font

que le quotient $\frac{N(^{14}\text{C})}{N(^{12}\text{C})}$ est constant.

À la mort de l'être vivant, la fin de ces échanges entraîne la décroissance de ce quotient.

DOC 3 Résultats d'analyse

Les résultats de l'analyse des ossements d'ANDER et de SAPIAND par la méthode du carbone 14 sont consignés dans le tableau suivant.

Échantillons sélectionnés		
Ossements ANDER		Ossements SAPIAND
$\frac{N}{N_0}$	$1,64 \times 10^{-2}$	$1,87 \times 10^{-2}$

LE PROBLÈME À RÉSODRE

SAPIAND a-t-il pu assassiner ANDER ?

Il est attendu une prise d'initiatives, une présentation de la démarche suivie même si elle n'a pas abouti, et de justifier toute réponse.

40 Examen du cœur RÉSOLUTION DE PROBLÈME

(AN/RAI) Proposer une stratégie de résolution

Des techniques d'imagerie médicale faisant appel à des traceurs radioactifs permettent d'établir un diagnostic et de déceler les problèmes cardiaques.

**DOC 1 Un diagnostic à poser**

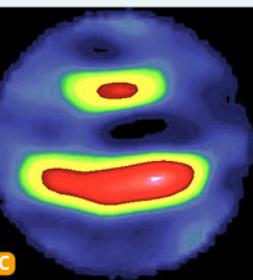
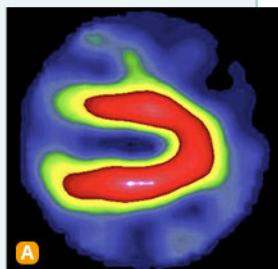
Un patient se plaint de douleurs thoraciques. Son médecin cardiologue lui explique les causes à l'origine de ces douleurs :

- soit des cellules qui constituent le muscle cardiaque sont détruites, ce qui correspond à un infarctus du myocarde ;
 - soit les cellules sont encore vivantes, mais souffrent de manque d'oxygène dû à une réduction de l'irrigation sanguine, ce qui correspond à une ischémie coronaire.
- Le médecin prescrit à ce patient une scintigraphie myocardique.

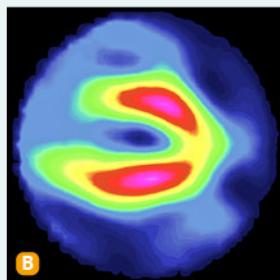
DOC 3 Images obtenues

Sur les images obtenues lors d'une scintigraphie du myocarde, les zones rouges représentent les cellules saines du cœur qui fixent le thallium 201. Les images de ce document sont les résultats de scintigraphies myocardiques effectuées sur trois patients (A, B, C) différents pendant un effort.

Seul le patient A est en parfaite santé.



C



B

DOC 2 Scintigraphie myocardique

Une scintigraphie myocardique est une technique d'imagerie nucléaire au cours de laquelle du thallium 201 est injecté par voie intraveineuse au patient. Celui-ci a une masse de 70 kg, donc il reçoit une injection de solution de chlorure de thallium 201 d'activité initiale $A_0 = 78 \text{ MBq}$.

Après cette injection, le patient doit produire un effort lors d'un exercice physique pendant lequel on enregistre les images de son cœur.

Le thallium 201, obtenu suite à la désintégration radioactive β^+ du plomb 201, est un émetteur radioactif gamma. Il n'est fixé que par les cellules vivantes du cœur et son rayonnement est alors détecté par une gamma caméra.

On peut visualiser les premières images du cœur quelques minutes seulement après l'injection et on estime que les résultats de l'examen sont exploitables tant que l'activité du traceur est supérieure à 3 MBq.

Données :

- $^{82}\text{Pb} ; {}^{81}\text{TL}$.
- Loi de décroissance radioactive : $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$.
- Constante radioactive du thallium 201 : $\lambda_{Tl} = 2,6 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$.

**QUESTIONS PRÉLIMINAIRES**

1. Écrire l'équation de la désintégration du noyau de plomb 201 en thallium 201. On suppose que le noyau fils n'est pas émis dans un état excité.
2. Que diagnostique le médecin pour les patients B et C : une ischémie coronaire ou un infarctus du myocarde ?
3. Définir l'activité d'un échantillon radioactif à l'aide d'une phrase, puis d'une formule.
4. Montrer que le nombre initial de noyaux N_0 de thallium 201, reçus par le patient, vaut $3,0 \times 10^{13}$.

LE PROBLÈME À RÉSOUVRE

Le patient doit refaire l'examen huit jours plus tard. Une nouvelle injection de solution radioactive est-elle nécessaire ?

Il est attendu une prise d'initiatives, une présentation de la démarche suivie même si elle n'a pas abouti, et de justifier toute réponse.

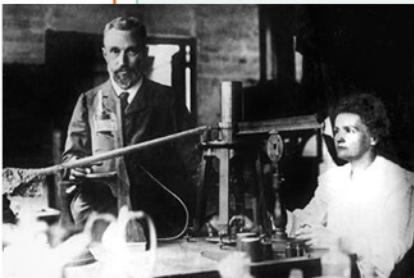


41 Marie et Pierre Curie ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

APP Rechercher et organiser l'information

Marie et Pierre Curie, puis leur fille Irène et son mari, ont consacré leur vie à la science. Ils ont été récompensés par trois prix Nobel pour leurs travaux sur la radioactivité.

DOC 1 La radioactivité naturelle



Les travaux d'Henri Becquerel sur l'uranium ont permis à Marie et Pierre Curie de découvrir en 1898 la propriété qu'ont certains éléments lourds d'émettre spontanément un rayonnement.

Marie Curie donna le nom de radioactivité à cette propriété persistante dans tous les états chimiques et physiques de la matière.

Également en 1898, ils annoncèrent la découverte de deux nouveaux éléments radioactifs : le polonium et le radium.

Leurs travaux ont été couronnés par deux prix Nobel, l'un en 1903 avec Henri Becquerel, l'autre en 1911.

ANALYSE

- Écrire l'équation de la réaction de désintégration du radium et préciser le type de radioactivité en jeu.
- Expliquer la présence du rayonnement γ émis. Quelle information cette présence fournit-elle sur le noyau ?
- Écrire l'équation de la désintégration du phosphore 30.
- Y a-t-il émission d'un rayonnement ? Justifier la réponse.
- Au bout de combien de temps $\frac{3}{4}$ des noyaux d'un échantillon de radium seront-ils désintégrés ?

DOC 2 La radioactivité artificielle

Irène et Frédéric Joliot-Curie ont découvert en 1934 la radioactivité artificielle, ce qui leur a valu le prix Nobel de physique en 1935.

Ils ont notamment réussi la synthèse du phosphore 30 ($^{30}_{15}\text{P}$), isotope radioactif du phosphore 31 ($^{31}_{15}\text{P}$). Le phosphore 30, produit artificiellement, se transforme spontanément par désintégration β^+ en silicium 30 ($^{30}_{14}\text{Si}$), noyau obtenu directement dans son état fondamental.

La diversité des radioéléments artificiels a permis leur utilisation dans les domaines les plus variés : la médecine, la biologie, l'astrophysique, la géophysique, la radiothérapie, la datation...

DOC 3 Données sur le radium

- Le noyau de radium $^{226}_{88}\text{Ra}$ se désintègre spontanément en donnant un noyau de radon $^{222}_{86}\text{Rn}$ lui-même radioactif.

Cette désintégration s'accompagne de l'émission d'un rayonnement γ .

- Le temps de demi-vie du radium est :

$$t_{1/2} = 1,58 \times 10^3 \text{ années}$$

SYNTHESE

Quelle est la différence entre la radioactivité naturelle et la radioactivité artificielle ?

VERS LE SUP'

42 Roche lunaire

Lors des missions Apollo XI et les suivantes, du matériel scientifique a été déployé à la surface de la Lune afin de l'étudier. Des échantillons de roche lunaire ont également été ramenés sur Terre par les astronautes (photo).

Pour déterminer l'âge de ces échantillons, les physiciens ont employé des méthodes de datation reposant sur la décroissance radioactive de certains radioéléments. Ils ont mesuré les quantités relatives d'argon 40 gazeux et de potassium 40 solide, emprisonnés dans la roche.

- Le potassium 40 ($^{40}_{19}\text{K}$) est un isotope radioactif. Il se désintègre en produisant de l'argon 40 ($^{40}_{18}\text{Ar}$). Écrire l'équation de désintégration nucléaire d'un noyau de potassium 40. De quelle radioactivité s'agit-il ?
- Donner l'expression du nombre $N_{\text{K}}(t)$ de noyaux radioactifs de potassium 40 présents dans l'échantillon de roche lunaire à l'instant de date t en fonction du nombre initial $N_{\text{K}0}$ de ces noyaux.

- Donner la définition du temps de demi-vie $t_{1/2}$ d'un échantillon radioactif.

- Établir la relation entre la constante radioactive λ et le temps de demi-vie $t_{1/2}$.

- Montrer que $\lambda = 5,50 \times 10^{-10} \text{ an}^{-1}$ pour le potassium 40 sachant que $t_{1/2} = 1,26 \times 10^9$ ans.

- Un échantillon de 1,0 g de roche lunaire, analysé à l'instant de date t , contient $N_{\text{Ar}}(t)$ noyaux d'argon 40 et $N_{\text{K}}(t)$ noyaux de potassium 40 égaux à :

$$N_{\text{Ar}}(t) = 2,3 \times 10^{17} \text{ et } N_{\text{K}}(t) = 2,4 \times 10^{16}.$$

Calculer l'âge de cette roche lunaire. On admet que le potassium 40 ne subit que la désintégration citée dans la question 1 et que la roche lunaire ne contenait pas d'argon 40 au moment de sa formation.

Mission Apollo xvii



Décroissance radioactive



Contexte

On souhaite étudier l'évolution temporelle d'une population de noyaux radioactifs. La manipulation de sources radioactives présentant des risques pour la santé, elle sera seulement simulée à l'aide d'un programme informatique.



Documents mis à disposition

DOC 1 Compteur Geiger-Müller

Le compteur Geiger-Müller, datant de 1928, met en évidence un rayonnement radioactif. Pendant une durée de comptage donnée, il détecte et comptabilise les désintégrations issues d'une source radioactive. On suppose que cette source radioactive contient un nombre initial de noyaux $N_0 = 1,0 \times 10^5$.

Matériel mis à disposition

- Un ordinateur muni de la console et d'un éditeur Python

DOC 2 Approche de la radioactivité par Python

```
N=int(input("Nombre initial de noyaux: N0= ")) # entrer le nombre initial N0 de noyaux radioactifs
L=[ ] # crée une liste avec le nombre de noyaux radioactifs restants
while N>0:
    L.append(N) # tant qu'il reste des noyaux radioactifs
    s=0 # la valeur de N est ajoutée à la liste L
    for i in range(N): # crée un compteur initialisé à 0
        if randint(1,50)==1: # si un noyau se désintègre (probabilité 1/50)
            s=s+1 # le compteur ajoute +1
    N=N-s # N est le nombre de noyaux radioactifs restants
print("Nombre de noyaux restants: N = ",L) # affiche la liste contenant les noyaux radioactifs restants
t=[i for i in range(len(L))] # crée une liste "temps" de même dimension que la liste L
plt.scatter(t,L, color="blue") # affiche un nuage de points avec les listes t en abscisse et L en ordonnée
plt.show() # affiche le graphique
```

Travail à effectuer

1. (AN/RAD) Proposition de protocole expérimental (10 min conseillées)

- À partir des documents, proposer un protocole expérimental qui permettrait de suivre l'évolution d'une population de noyaux radioactifs.



Être en mesure de présenter le protocole

2. (RÉA) Mise en œuvre d'une simulation (20 min conseillées)

- Dans la console Python, ouvrir le programme « Décroissance radioactive ».
- Exécuter ce programme afin de modéliser la courbe donnant le nombre $N(t)$ de noyaux radioactifs restants à l'instant de date t .



Être en mesure de présenter la courbe

3. (AN/RAD) (VAL) Exploitation du résultat obtenu (30 min conseillées)

L'équation différentielle qui régit l'évolution temporelle d'une population de noyaux radioactifs est :

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

$N(t)$ est le nombre de noyaux restants à l'instant de date t ;
 λ est la constante radioactive (en s^{-1}).

- Résoudre cette équation différentielle et donner l'expression de $N(t)$.
- L'expression obtenue est-elle en accord avec la modélisation expérimentale ?
- À partir de la courbe obtenue, déterminer le temps de demi-vie de l'élément radioactif.
- Identifier la principale cause d'incertitude sur ce résultat.

UNE QUESTION

Comment se protéger des effets de la radioactivité ?

Enjeu de la question

Nous sommes exposés en permanence à des sources de radioactivité naturelle et artificielle.
Ces rayonnements peuvent provoquer des effets sur l'organisme, différents en fonction du type de rayonnement et de la dose reçue.

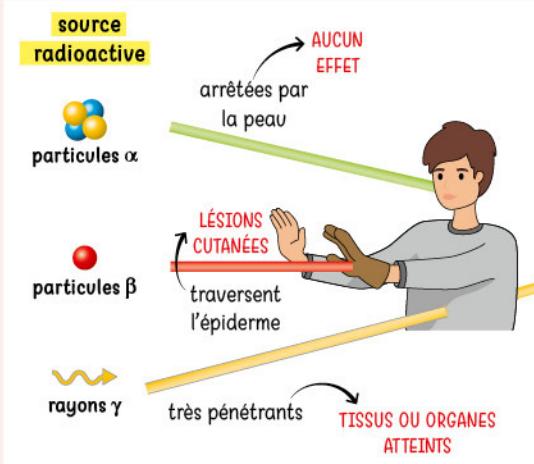
Proposition de plan de présentation

1. Origine de la radioactivité
2. Différents types de radioactivité
3. Ionisation des molécules du vivant et conséquences
4. Protection contre les rayonnements ionisants
 - Mesures à adopter
 - Facteurs à prendre en compte

Les mots-clés

instabilité ▶ source ▶ radioactivité α, β, γ ▶ activité
▶ compteur Geiger-Müller ▶ écran

Exemple de support de présentation



Effet des rayonnements sur l'organisme

QUESTIONS D'APPROFONDISSEMENT POSSIBLES

Quelle est l'origine des différents rayonnements ionisants ?

Les ondes reçues en écoutant la radio, en utilisant son téléphone portable ou en réchauffant son plat au four micro-ondes sont-elles dangereuses ?

Pourquoi ces rayonnements sont-ils dits ionisants ?

À propos de la radioactivité...

Qu'est-ce qui justifie qu'une source radioactive perd de son activité au fil du temps ?

UN EXEMPLE DE PROJET PROFESSIONNEL

Spécialiste de la prévention des risques dans le domaine de la radioactivité, l'**ingénierie radioprotection** est responsable des mesures destinées à assurer la protection de la population, des travailleurs et de l'environnement face aux rayonnements ionisants.

Après le bac : Bac + 5, diplôme d'ingénieur(e) spécialisé(e) ou master en énergie nucléaire, risques et environnement...

Autres métiers : ingénieur(e) nucléaire, ingénieur(e) environnement, technicien(ne) radioprotection, chargé(e) d'hygiène, sécurité, environnement.

Garante de la sécurité dans les centrales nucléaires, l'**ingénierie radioprotection** conçoit la politique de prévention du site. En ingénierie, elle est chargée d'adapter et d'améliorer les moyens et outils de mesure et de prévention.

En cas d'incident, elle réagit immédiatement en proposant des solutions adaptées pour éviter toute contamination.

