BTS 2M1

Cours de Chimie 3 :

Radioactivité

SAINTE CROIX
SAINT EUVERTE

ORLÉANS

Chapitre 3
Radioactivité

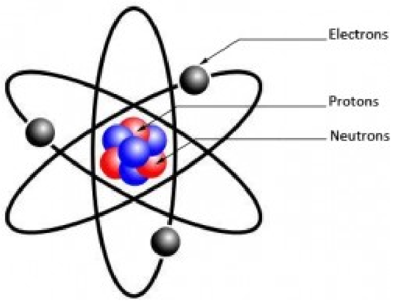
Comment les scientifiques peuvent-ils dater les peintures de la grotte de Lascaux ?

Notions et contenus	***Capacités exigibles***	***autoévaluation***			
		A	**B**	**C**	**D**
Éléments, noyaux, nucléons, isotopes. Nombre de masse A et numéro atomique Z. Écriture conventionnelle	Décrire la constitution d'un atome. Décrire la structure d'un noyau. Reconnaitre des noyaux isotopes d'un élément donné.				
Radioactivités α, β, γ Activité radioactive. Période radioactive. Loi de décroissance radioactive	Reconnaitre le type de radioactivité associé à une réaction nucléaire fournie. Exploiter la loi de décroissance radioactive				

Chapitre 3 - Radioactivité

I. Stabilité et instabilité des noyaux

1. Constitution d'un atome (rappel)



Un atome est constitué d'un noyau autour duquel gravitent les électrons (chargés négativement -e).

Ce noyau contient des protons (chargés positivement +e) et des neutrons (neutre). Les protons et les neutrons sont liés entre eux par l'interaction forte.

La notation symbolique d'un noyau est :

$${}^{A}_{Z}X$$

Avec :

- X le symbole de l'élément
- A le nombre de masse, correspondant au nombre de nucléons (protons et neutrons)
- Z le numéro atomique ou nombre de charge correspondant au nombre de protons.

Le nombre de neutrons N peut alors être calculé par : N = A – Z

Application :

Un noyau de plomb est représenté de la manière suivante : ${}^{207}_{82}\mathrm{Pb}$, quelle est sa composition ?

____

____

Un élément est défini par son numéro atomique Z. Pour un numéro atomique donné, plusieurs atomes différents peuvent exister, chacun ayant un nombre de masse A différent.

Des noyaux ayant le même numéro atomique Z mais un nombre de masse A différent sont dits isotopes entre eux. Ils ont alors le même nombre de protons mais pas le même nombre de neutrons.

Application :

Donnez un isotope possible du ${}^{207}_{82}\mathrm{Pb}$:

____

2. Stabilité et radioactivité

La plupart des noyaux qui nous entourent sont stables et l'interaction forte suffit à compenser la répulsion électrostatique entre les protons (de même charge).

Cependant, certains isotopes, comportant un excès ou un déficit de neutrons ne sont pas stables (ils sont alors dit instables) et se désintègrent spontanément de manière à former d'autres noyaux ainsi que des rayonnements sous la forme de particules chargées et d'ondes électromagnétiques.

Une transformation nucléaire est la modification de un ou plusieurs noyaux d'atomes. (NB : nucléaire signifie « qui concerne le noyau »)
Lors d'une transformation nucléaire, on a, à l'image des transformations chimiques, des lois de conservation. Attention toutefois, ces lois ne sont pas les mêmes !

Lors d'une transformation nucléaire, on a conservation du nombre de charges électriques et du nombre de nucléons.

Il n'y a ni conservation de la masse ni conservation des éléments chimiques, contrairement aux transformations chimiques.
On écrit alors l'équation de la réaction ainsi :

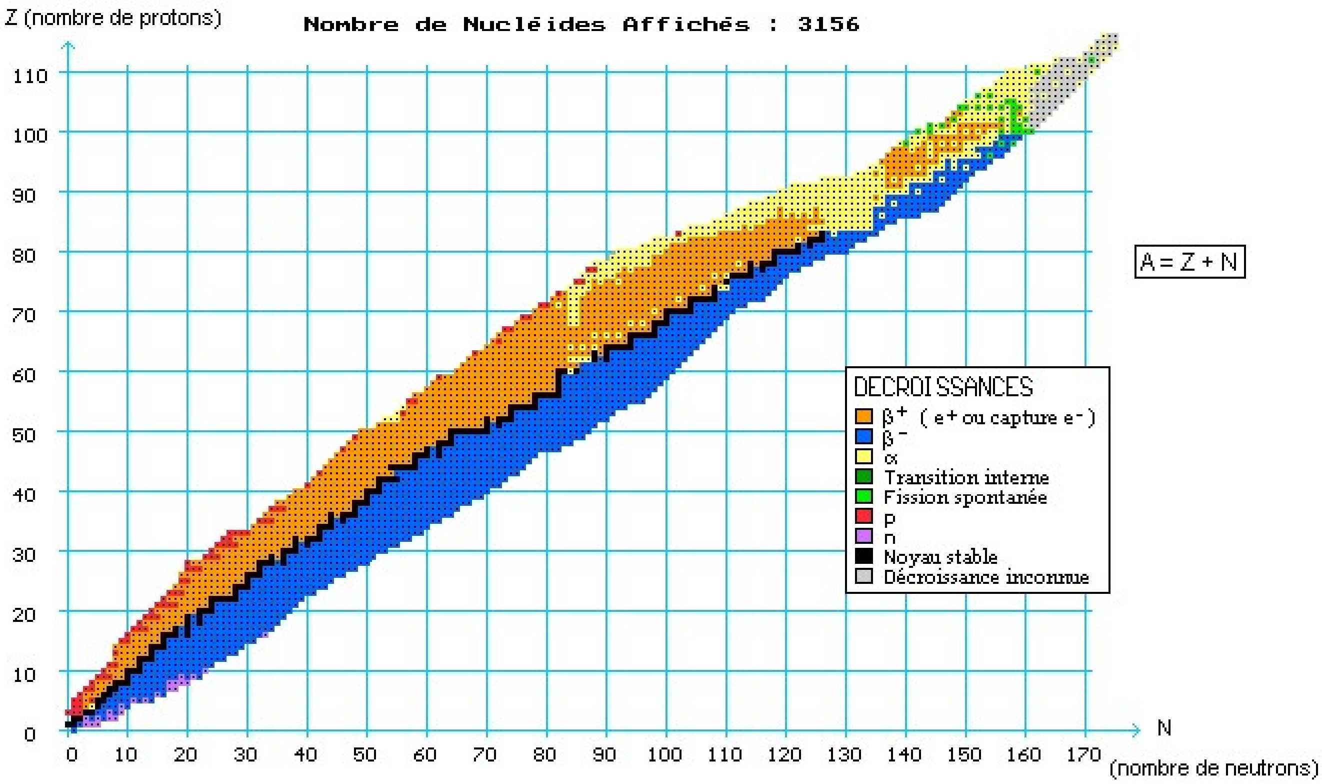
$${}^{A_1}_{Z_1}X_1 + {}^{A_2}_{Z_2}X_2 \rightarrow {}^{A_3}_{Z_3}X_3 + {}^{A_4}_{Z_4}X_4$$

Avec X_i les noyaux comportant Z_i protons et A_i nucléons.
Les lois de la conservation nous imposent alors les relations suivantes :

Application :
L'uranium ${}^{238}_{92}U$ se désintègre pour donner du Thorium ${}^{234}_{90}Th$ et un noyau léger. Donner l'équation de cette transformation nucléaire et trouver la nature du noyau léger :

3. Etude de la nature des désintégrations

Selon la nature du noyau radioactif, celui-ci ne se désintègre pas tout à fait de la même manière et n'émet pas forcément la même particule.
La nature de celle-ci est prévisible grâce au diagramme N-Z ou **diagramme de Segré**.



On distingue alors plusieurs rayonnements :

- **Le rayonnement α :**

$^{A}_{Z}X \rightarrow \ ^{A-4}_{Z-2}Y^{*} + \ ^{4}_{2}He$

Suite à un excès de nucléons, un noyau d'hélium est émis, il s'agit du rayonnement α. Ce rayonnement est très dangereux mais une simple feuille de papier suffit à l'arrêter.

Exemple : La désintégration α du radon : $^{226}_{88}Ra$

- **Le rayonnement β :**

Le pouvoir de pénétration de ce rayonnement est déjà plus important, une feuille d'aluminium est nécessaire pour l'arrêter.

Le rayonnement β⁻ :

$^{A}_{Z}X \rightarrow \ _{Z+1}^{A}Y^{*} + \ ^{0}_{-1}e$

Suite à un excès de neutrons, un électron est émis, il s'agit du rayonnement β^{-}.

Exemple : La désintégration du carbone 14 : $^{14}_{6}C$

Le rayonnement β⁺ :

$^{A}_{Z}X \rightarrow \ _{Z-1}^{A}Y^{*} + \ ^{0}_{+1}e$

Suite à un excès de protons, un positron est émis, il s'agit du rayonnement β^{+}.

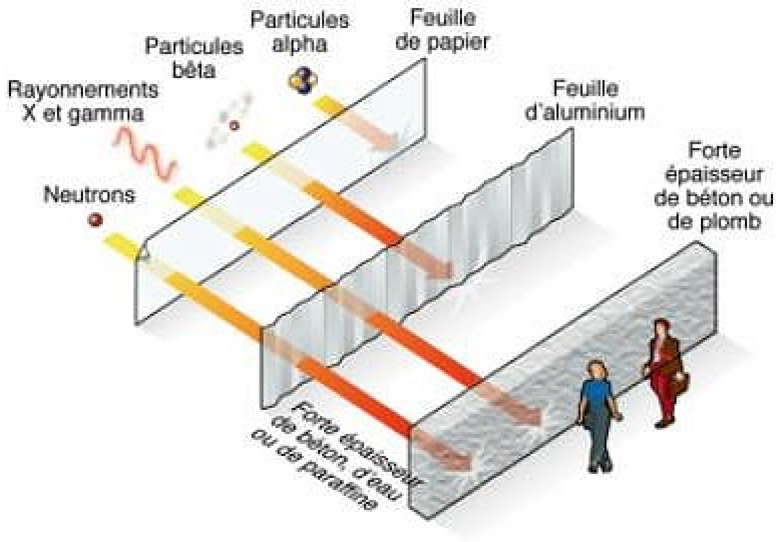
NB : Le positron ou positon est l'antiparticule de l'électron.

Exemple : La désintégration du sodium 22 : $^{22}_{11}Na$

- **Le rayonnement γ :**

$Y^* \rightarrow Y + \gamma$

Après une désintégration, le noyau créé est excité. Il se **désexcite** en émettant une onde électromagnétique.
Ce rayonnement est très énergétique et très pénétrant, il est hautement ionisant. Il crée des dommages irréversibles dans le corps humain. Il faut une épaisse couche de métal ou de béton pour les arrêter. (1 à 2m d'épaisseur…)



Ces désintégrations font partie de la catégorie des réactions dites spontanées : elles ne nécessitent pas d'apport d'énergie pour se produire.
D'autres réactions nécessitent de l'énergie pour débuter, on les appelle alors des réactions provoquées.
C'est le cas pour la fission et pour la fusion.

La radioactivité naturelle:

Lors de la création de la Terre à partir de poussière d'étoile, des éléments radioactifs ayant une grande durée de vie sont entrés dans la composition de notre manteau, du magma et du noyau. On trouve dans la croute terrestre de l'Uranium 238, du carbone 14, du potassium 40 … qui forme la radioactivité naturelle.

Actuellement, encore de nouveaux noyaux radioactifs sont créés, notamment via les rayons cosmiques ou l'explosion de supernovas.

Irène Joliot-Curie (1897-1956) dans son laboratoire avec son mari

NB : Nous absorbons quotidiennement des éléments radioactifs et sommes donc nous même radioactifs…

II. Décroissance radioactive

1. Loi de décroissance radioactive

En raison de son caractère aléatoire, les lois physiques de la radioactivité ne peuvent donner que des probabilités lorsque l'on s'intéresse à un noyau.

Cependant, à l'échelle humaine, nous manipulons un nombre important de noyaux et pouvons (de par la taille de l'échantillon) donner des règles statistiques assez précises.

Seule une théorie macroscopique peut être valable pour expliciter les lois de la radioactivité.

On note N_0la quantité initiale de noyau et $N(t)$ sa quantité au temps t.

Notons $\Delta N = N(t) - N_0$, la variation du nombre de noyaux radioactifs dans l'échantillon considéré.

Cette variation est proportionnelle au nombre de noyaux et à la durée de la mesure. (Plus il y a de noyaux et plus on attend longtemps, plus il va y avoir de desintégrations) :

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

Le coefficient de proportionnalité λ est alors appelé la constante radioactive, son unité est s^{-1}.

On peut également écrire :

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda . N(t)$$

Si on prend cette équation sur une très petite durée, avec $\Delta t \rightarrow 0$, alors on obtient l'équation

différentielle suivante :

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

Il s'agit d'une équation différentielle homogène du premier ordre à coefficient constant d'où la solution générale suivante :

$$N(t) = K . e^{-\lambda . t}$$

A t=0s, $N(t = 0) = N_0 = K$

D'où la solution de l'équation différentielle :

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

2. Le temps de demi-vie

Définition : Le temps de demi-vie correspond à la durée pour laquelle la moitié des noyaux de l'échantillon s'est desintégrée.

En utilisant la formule vu au paragraphe précédent :

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

Soit :

$$e^{-\lambda . t_{1/2}} = \frac{1}{2}$$

En passant au logarithme népérien :

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

D'où :

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

λ s'exprimant en s^{-1}, $t_{1/2}$ va donc être en seconde (s).

3. L'activité

Définition : L'activité (A) correspond au nombre moyen de désintégrations par seconde. Son unité est le Becquerel (1Bq=1 désintégration par seconde)

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

L'activité est donc proportionnelle au nombre de noyaux.

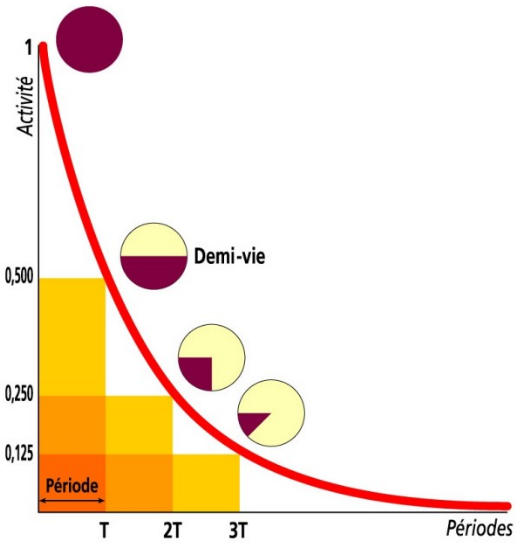
On a donc : $A(t) = \lambda . N(t) = \lambda . N_0 . e^{-\lambda . t}$

En posant $A_0 = \lambda . N_0$, on a :

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

Quelques valeurs d'activités moyennes :

- 1L d'eau douce: 0,1 Bq
- Un étudiant: 6500Bq
- 1g d'Uranium non enrichi : 10000 Bq
- 1g d'Uranium enrichi: 25000 Bq
- 1g de Plutonium 239 : 2300000000 Bq



Décroissance de l'activité d'une substance radioactive
Le temps mis par la moitié des noyaux de la substance pour se désintégrer est appelée **période radioactive** ou **demi-vie**

III. Application de la radioactivité et éléments de sécurité

1. Datation isotopique

L'activité radioactive étant une fonction du temps, il suffit d'estimer A_0 et de mesurer A pour pouvoir dater un échantillon. L'isotope servant à cette datation ne sera pas le même en fonction de la durée que nous voulons mesurer. Plus le temps de demi-vie sera important, plus on pourra dater un échantillon ancien.

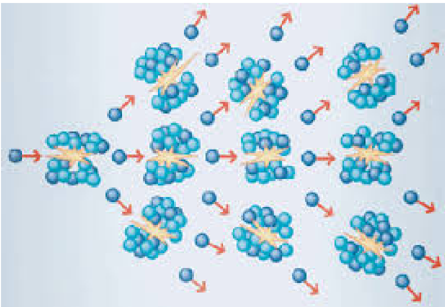
2. La radioactivité et le corps humain.

Les rayonnements ionisants peuvent être nefastes pour les molécules du vivant. Cependant, la radioactivité est utilisée dans le milieu médical pour réaliser des analyses (imagerie médicale) et pour soigner (radiothérapie).

IV. Pour aller plus loin : La production d'énergie (supplément HP, UMN)

1. la fission nucléaire

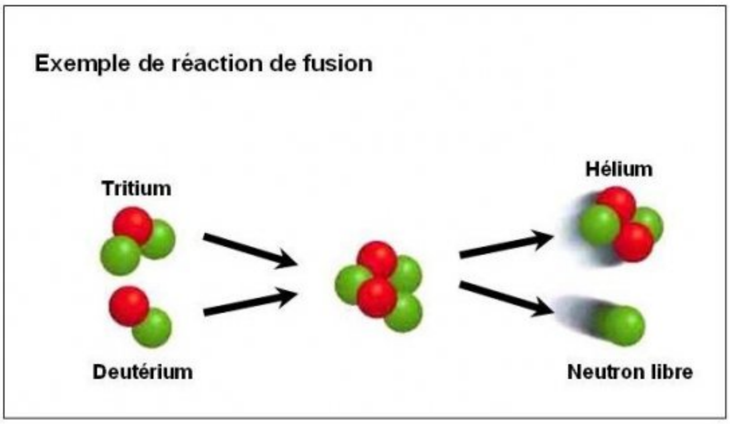
Un neutron vient percuter un **noyau lourd**. Celui-ci se brise en plusieurs noyaux plus légers. L'énergie est ici apportée par l'énergie cinétique du neutron. Lors de la réaction nucléaire, d'autres neutrons sont émis qui peuvent aller à leur tour provoquer une nouvelle fission etc… Il s'agit alors d'une **réaction en chaine** qui doit être évitée dans les centrales nucléaires car devenant rapidement incontrôlables.
La fission produit de l'énergie et est actuellement utilisé pour 80% de la production d'électricité en France. Elle est aussi responsable d'une partie de la température interne de la Terre.



Représentation d'une réaction en chaine.

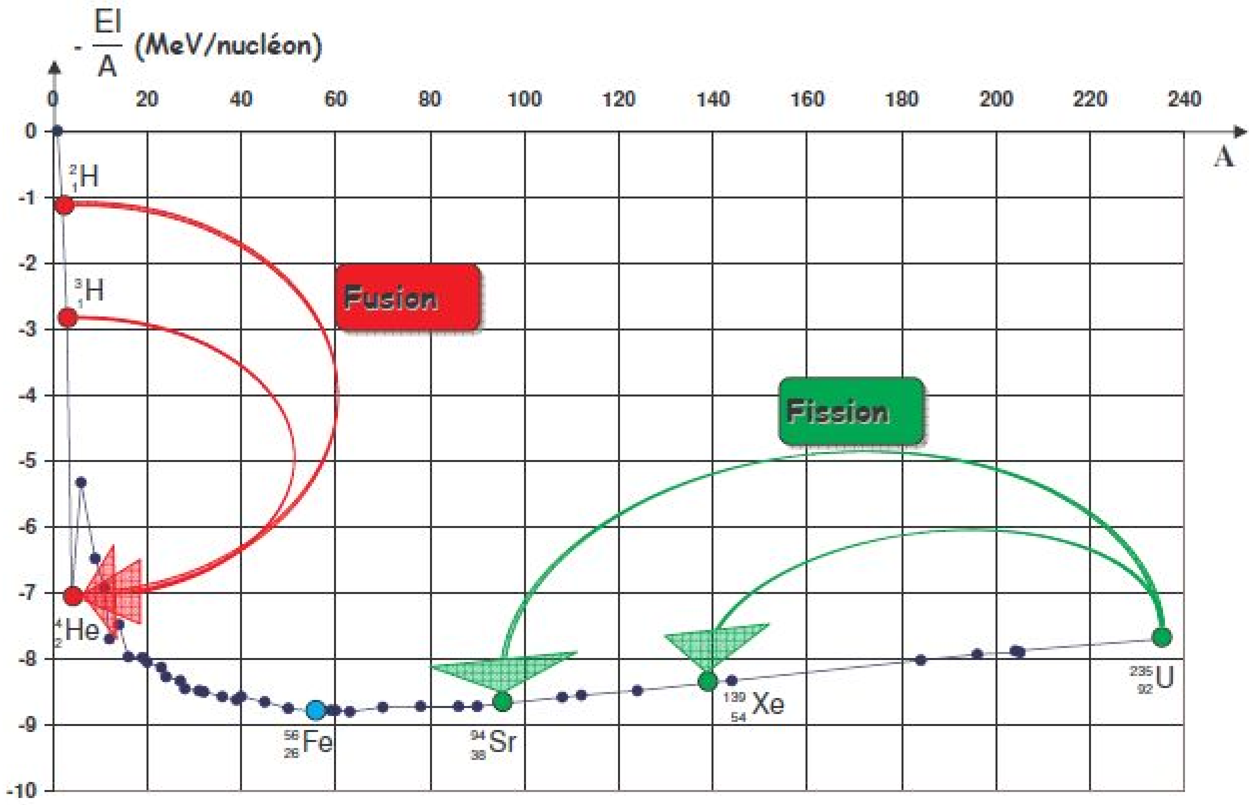
2. La fusion nucléaire:

Sous l'effet d'une **très haute température**, deux noyaux légers fusionnent pour former un noyau plus lourd. Les noyaux étant chargés positivement, l'énergie à fournir pour les unir est considérable (les noyaux sont chargés positivement donc se repoussent), cependant l'énergie ainsi libérée est encore plus importante.



La fusion est la réaction nucléaire actuellement prépondérante dans notre soleil. On la présente comme l'énergie d'avenir, venant remplacer la fission. Des centres de recherche travaillent actuellement sur la réalisation d'un réacteur à fusion comme à Cadarache, en Provence.

Les noyaux permettant de faire de la fusion et ceux permettant de faire de la fission ne sont pas les mêmes et ne présentent pas les mêmes caractéristiques. On peut prévoir l'utilisation ou la stabilité de ceux-ci grâce à la courbe d'Aston :



Courbe d'Aston ou vallée de stabilité

3. Energie libérée par une réaction nucléaire

Jusqu'en 1905, l'énergie associée à une particule était l'énergie cinétique : **E = Ec**.
En 1905, Einstein énonce dans la théorie de la relativité restreinte le principe d'équivalence masse-énergie (ou relation d'Einstein):

$$\boxed{E_0 = mc^2}$$

Avec :

- m, la masse en Kilogramme (Kg)
- c, la célérité de la lumière dans le vide en mètre par seconde (m/s)
- E_0, l'énergie de masse en Joule (J)

L'énergie totale d'une particule devient donc : **E = Ec + E_0.**

Remarque : Si la particule est au repos, alors **E = E_0**

Un noyau entier possède une masse inférieure à la somme des masses de ses nucléons. C'est ce que l'on appelle **le défaut de masse Δm**.
On peut ainsi calculer le défaut de masse d'un noyau $^A_Z X$ de la manière suivante :

$$\boxed{\Delta m = [Z.m_p + (A - Z).m_n] - m(^A_Z X)}$$

Avec m_n la masse d'un neutron et m_p la masse d'un proton
L'énergie correspondante à ce défaut de masse est **l'énergie de liaison E_l.**
L'énergie de liaison E_l est l'énergie à fournir pour séparer les constituants d'un noyau.
En appliquant le principe d'équivalence masse-énergie :

$$\boxed{E_l = \Delta m . c^2 = \{[Z.m_p + (A - Z).m_n] - m(^A_Z X)\}.c^2}$$

La masse du noyau étant toujours plus faible que la somme des masses de ses nucléons, $E_l > 0$.
L'énergie de liaison est parfois exprimée en eV. ($1eV = 1.602.10^{-19}J$)
On peut alors calculer l'énergie de liaison par nucléon dans différent noyau. Cela correspond à la grandeur en ordonnée de la courbe d'Aston de la page précédente.
Il est donc possible grâce à ce calcul de savoir si un noyau est stable (présence de celui-ci sur la courbe d'Aston) et s'il peut participer à de la fusion ou de la fission nucléaire.
Enfin, dans le cas de réaction nucléaire, on peut calculer le défaut de masse Δm et ainsi prévoir l'énergie disponible grâce à cette réaction en utilisant la relation d'équivalence masse-énergie.
Cette énergie sera libérée lors d'une réaction sous forme d'énergie cinétique, de chaleur, ou de rayonnement.

Application :

Calculez l'énergie libérée (en J) par la réaction de fission du plutonium 241:

$${}^{241}_{94}Pu + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{141}_{55}Cs + {}^{98}_{39}Y + 3\ {}^{1}_{0}n$$

Données :

Particule	${}^{241}_{94}Pu$	${}^{141}_{55}Cs$	${}^{98}_{39}Y$	${}^{1}_{0}n$
Masse($x10^{-27}$ Kg)	***400,20***	***233,79***	***162,57***	***1,675***

____

____

____

____

____

____

____

____

Les erreurs à ne pas faire sur ce chapitre

Faire attention aux unités de λ et de t

Lors de l'utilisation des relations $N(t) = N_0 \times \exp(-\lambda t)$ et $A(t) = A_0 \times \exp(-\lambda t)$ les unités de λ et t doivent être **inverses l'une de l'autre :**

Unité de t	s	min	h	j	an
Unité de λ	s^{-1}	min^{-1}	h^{-1}	j^{-1}	an^{-1}

Déterminer $N(t)$ ou $A(t)$ à des dates $t = n \times t_{1/2}$

Il suffit de diviser la valeur initiale (N_0 ou A_0) par 2^n, n entier positif.

t	$1 \times t_{1/2}$	$2 \times t_{1/2}$	$3 \times t_{1/2}$	$4 \times t_{1/2}$	$n \times t_{1/2}$
$N(t)$	$\frac{N_0}{2}$	$\frac{N_0}{4}$	$\frac{N_0}{8}$	$\frac{N_0}{16}$	$\frac{N_0}{(2^n)}$
$A(t)$	$\frac{A_0}{2}$	$\frac{A_0}{4}$	$\frac{A_0}{8}$	$\frac{A_0}{16}$	$\frac{A_0}{(2^n)}$

Bien distinguer $N(t)$ et $N_0 - N(t)$

Lors de l'exploitation de la loi de la décroissance radioactive ou de sa courbe :

$N(t)$	$N_0 - N(t)$
Nombre de noyaux radioactifs restants	Nombre de noyaux désintégrés à l'instant t

Utiliser la bonne touche

Pour calculer un temps à partir de la loi de décroissance radioactive $t = -\frac{1}{\lambda} \times \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right)$ sur la calculatrice :

oui → **ln** **log** ← non

Fiche Méthode:
Evolution d'un système, siège d'une transformation nucléaire

1 La désintégration radioactive

Radioactivité

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

Équation de désintégration radioactive

Exemple :

Conservation de A : $60 = 60 + 0$

$${}^{60}_{27}Co \rightarrow {}^{60}_{28}Ni + {}^{0}_{-1}e$$

Conservation de Z : $27 = 28 - 1$

Particules

- Noyau d'hélium 4 ${}^{4}_{2}He$: radioactivité α
- Électron ${}^{0}_{-1}e$: radioactivité β^-
- Positon ${}^{0}_{1}e$: radioactivité β^+

Diagramme (N, Z)

pour identifier le type de radioactivité et le noyau fils.

2 La loi de décroissance radioactive

Loi de décroissance radioactive

Nombre de noyaux radioactifs encore présents

Nombre initial de noyaux radioactifs

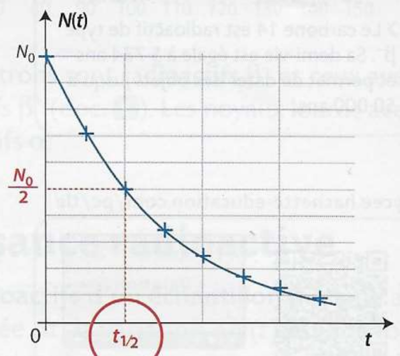
Constante radioactive (s^{-1}) si t en s

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

ou

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

Courbe de décroissance radioactive



Demi-vie

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

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

3 Applications et radioprotection

Activité d'un échantillon

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

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

(1 Bq = 1 désintégration par seconde)

Se protéger de la radioactivité

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

Applications de la radioactivité

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

Fiche Maths :
Résoudre une équation différentielle du premier ordre

Côté maths

La fonction f vérifie l'équation différentielle suivante :

$$f'(x) + a \times f(x) = 0$$

La condition initiale est $f(0) = 3$.

1. Donner l'expression de la solution de l'équation différentielle.

2. Déterminer la solution de cette équation, compte tenu de la condition initiale et de la condition aux limites.

Méthode

1. $f'(x) + a \times f(x) = 0 \Leftrightarrow f'(x) = -a \times f(x)$

Donc la fonction dérivée f' est proportionnelle à la fonction f.

La solution est donc de la forme $f(x) = K \times \exp(-ax)$.

2. On utilise la condition initiale :

$$f(0) = 3 \Leftrightarrow K \times \exp(0) = 3 \Leftrightarrow K = 3$$

La solution s'écrit $f(x) = 3 \times \exp(-ax)$.

Côté physique & chimie

Un échantillon contient initialement $N_0 = 3 \times 10^9$ noyaux radioactifs dont la constante radioactive est λ.

Le nombre de noyaux radioactifs encore présents à l'instant t est noté $N(t)$.

1. Donner l'expression de l'équation différentielle vérifiée par $N(t)$.

2. Exprimer $N(t)$ en fonction de λ et t.

Méthode

1. L'équation différentielle vérifiée par $N(t)$ s'écrit :

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

La fonction dérivée $\frac{dN(t)}{dt}$ est proportionnelle à la fonction N. La solution est donc de la forme $N(t) = K \times \exp(-\lambda t)$.

2. On utilise la condition initiale :

$$N(0) = N_0 \Leftrightarrow K = N_0 = 3 \times 10^9$$

La solution s'écrit $N(t) = N_0 \times \exp(-\lambda t)$ soit $N(t) = 3 \times 10^9 \times \exp(-\lambda t)$.

À retenir !

La solution d'une équation différentielle de la forme $f'(x) + a \times f(x) = 0$, avec pour condition initiale $f(0) = K$, a pour unique solution $f(x) = K \times \exp(-ax)$.

Exercice n°1: Matière et antimatière

Où est passée l'antimatière ?

« Il est communément admis par les scientifiques que, juste après le Big Bang, l'énorme quantité d'énergie disponible dans notre Univers naissant s'est transformée en des quantités égales de matière et d'antimatière.
Particules et antiparticules étant de même masse mais de charges opposées auraient dû tout naturellement s'annihiler les unes aux autres, débouchant sur un univers rempli de rayonnement mais vide de matière.
Manifestement, l'Univers dans lequel nous vivons aujourd'hui est constitué de matière et aucun atome d'antimatière à l'état naturel n'a pu être découvert. Les antiparticules ne sont produites que lors d'interactions de particules cosmiques avec l'atmosphère terrestre. C'est ainsi qu'en 1933 ont été découverts les premiers positons (anti électrons de charge positive). La disparition de l'antimatière dans l'univers est donc une énigme (...) »

D'après Science revue n°36 nov/dec/janv 2009

Les parties 1, 2 et 3 sont indépendantes.

1. L'antimatière au voisinage de la Terre

Les éruptions solaires peuvent créer des paires électron-positon. Celle de juillet 2002 a crée un demi-kilogramme d'antimatière, assez pour couvrir la consommation d'énergie d'un grand pays pendant plusieurs jours.

Données :

Particules	électron	positon	neutron	proton
Masse en kg	$9{,}109\times10^{-31}$	$9{,}109\times10^{-31}$	$1{,}674\ 92\times10^{-27}$	$1{,}672\ 62\times10^{-27}$

Célérité de la lumière dans le vide $c = 2{,}998 \times 10^{8}$ m.s^{-1}
1 eV = $1{,}602 \times 10^{-19}$ J
1 W.h = 3600 J

1.1. Exploitation du texte :
- 1.1.1. Einstein a proposé une relation : $E = m.c^2$. Nommer et donner l'unité des grandeurs apparaissant dans cette relation.
- 1.1.2. En s'appuyant sur cette relation, commenter la phrase en gras dans le texte.

1.2. Énergie créée lors de l'éruption solaire de juillet 2002 :
- 1.2.1. Écrire l'équation de la réaction nucléaire entre un électron et un positon sachant que cette réaction produit deux photons γ de masse nulle.
- 1.2.2. Calculer l'énergie libérée par la réaction entre un positon et un électron.
- 1.2.3. En déduire l'énergie créée lors de l'éruption solaire de juillet 2002 et la comparer à la consommation journalière moyenne d'énergie électrique française égale à 1200 GW.h en 2006.

2. La création d'éléments radioactifs artificiels.

L'étude des réactions nucléaires réalisées en bombardant des éléments légers comme l'aluminium par des rayons alpha va conduire Irène et Frédéric Joliot-Curie à observer, au cours de ces réactions,

l'émission de neutrons et de positons accompagnant la création d'un élément X qu'ils n'identifient pas tout d'abord.
Ils constatent ensuite que les neutrons et les positons ne sont pas émis simultanément et que la réaction observée se produit en deux temps. Les particules alpha éjectent d'abord des neutrons hors de l'élément léger. Dans le cas de l'aluminium, des noyaux de phosphore 30 (élément X) sont créés suivant l'équation :

alpha + aluminium → phosphore 30 + neutron (réaction 1)

Ensuite le phosphore 30 qui est radioactif se désintègre en émettant un positon et en se transformant en silicium (réaction 2).

D'après le site radioactivité.com

Données :

$_{12}$Mg	$_{13}$Al	$_{14}$Si	$_{15}$P	$_{16}$S

Noyaux et particules	phosphore 30	aluminium 27	particule alpha	neutron
Masse en u	29,970 1	26,974 4	4,001 50	1,008 66

- unité de masse atomique : 1 u = 1,660 43 × 10^{-27} kg
- énergie de l'unité de masse atomique :

1 u correspond à une énergie de 931,5 MeV

2.1. Étude de la réaction 1 :

2.1.1. Qu'appelle-t-on « particule alpha » ?

2.1.2. En appliquant les lois de conservation, écrire l'équation de la réaction 1 en utilisant les symboles des noyaux et des particules mis en jeu.

2.1.3. Donner l'expression de la variation d'énergie de la réaction (1).

2.1.4. Calculer sa valeur en MeV. Cette réaction provoque-t-elle une perte de masse ou un gain de masse ?

2.2. Étude de la réaction 2 :

2.2.1. En appliquant les lois de conservation, écrire l'équation de désintégration du phosphore 30 (réaction 2). De quel type de désintégration s'agit-il ?

2.2.2. Cette réaction est-elle spontanée ou provoquée ? Justifier sans calcul si cette réaction provoque une perte ou un gain de masse.

3. Décroissance radioactive du phosphore.

À la date $t_0 = 0$, *on arrête le bombardement des noyaux d'aluminium par les particules alpha. L'activité* A_0 *de l'échantillon de phosphore* 30 *est alors égale à* $7,2\times10^{13}$ Bq.
À la date t_1, *l'activité* A_1 *de l'échantillon est égale à* $9,0\times10^{12}$ Bq.
À un instant t, *l'activité est notée* A(t).

Donnée : temps de demi-vie du phosphore 30, $t_{1/2}$ = 156 s.

3.1. Définir l'activité A(t) d'un échantillon radioactif puis donner l'expression de la loi de décroissance radioactive pour l'activité, en expliquant la signification de chaque terme.

3.2. Définir le temps demi-vie $t_{1/2}$ et montrer que : $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$, λ étant la constante de désintégration.

3.3. Exprimer t_1 en fonction de A_0, A_1 et $t_{1/2}$ et calculer sa valeur.

3.4. Montrer que l'on aurait pu trouver ce résultat facilement en calculant le rapport de A_0 sur A_1.

Exercice n°2 : Le polonium 210

A propos du polonium 210, on peut trouver dans l'encyclopédie WIKIPEDIA le texte suivant :
« C'est le premier élément découvert par Pierre et Marie Curie en 1889 dans leurs recherches sur la radioactivité [...]. Ce n'est que plus tard qu'ils découvrirent le radium. Le mot polonium a été choisi en hommage aux origines polonaises de Marie Sklodowska-Curie.
[...] C'est un émetteur de rayonnement alpha. Le ^{210}Po a une demi-vie de 138 jours.
[...] Il se désintègre en émettant des particules alpha dont l'énergie est de 5,3 millions d'électrons volts.
[,..] L'exposition aux rayonnements ionisants augmente le risque de cancer, d'anomalies génétiques, et pourrait avoir de nombreuses conséquences sanitaires autres que les cancers.
Le polonium 210 présente une forte activité [...].
Un seul gramme de polonium 210 présente une activité de 166 000 milliards de becquerels et par conséquent émet 166 000 milliards de particules alpha par seconde. »

<u>Données</u> :
<u>Quelques éléments</u> : $_{81}$TI ; $_{82}$Pb ; $_{83}$Bi ; $_{85}$At ; $_{86}$Rn
<u>Masses de quelques noyaux ou particules</u>: m($^{9}_{4}\mathrm{Be}$) = 9,00998 u ; m($^{4}_{2}\mathrm{He}$) = 4,00151 u ;
m($^{12}_{6}\mathrm{C}$) = 11,99671 u ; m($^{1}_{0}\mathrm{n}$) = 1,00866 u.
<u>Masse molaire atomique</u> : M(^{210}Po) = 210 g.mol^{-1}
<u>Quelques constantes et unités :</u>
Célérité de la lumière dans le vide : c = 2,99792 × 10^{8} m.s^{-1}
Nombre d'Avogadro : N_A = 6,022 × 10^{23} mol^{-1}
Unité de masse atomique : 1 u = 1,6605 × 10^{-27} kg

1 Indiquer la composition d'un noyau de polonium 210 ($^{210}_{84}\mathrm{Po}$).

2 Écrire l'équation de désintégration d'un noyau $^{210}_{84}\mathrm{Po}$ en précisant les lois de conservation utilisées (on supposera que le noyau fils formé est à l'état fondamental).

3 L'élément polonium possède entre autres isotopes le noyau de $^{210}_{84}\mathrm{Po}$.
Définir la notion des noyaux isotopiques.

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

5
5.1 Énoncer la loi de décroissance radioactive, en précisant la signification de chacun des termes.
5.2 Sachant que l'activité *A(t)* d'une source radioactive vérifie $A(t) = -\frac{dN(t)}{dt}$, montrer que l'activité *A(t)* d'une source radioactive est proportionnelle au nombre *N(t)* de noyaux radioactifs présents dans cette source.
5.3 Écrire la relation entre la constante radioactive et le temps de demi-vie puis calculer la valeur de la constante radioactive en s^{-1} du $^{210}_{84}\mathrm{Po}$.

6

6.1 Calculer le nombre N de noyaux présents dans une masse m = 1,00 g de polonium 210.

6.2 Justifier, par un calcul, la phrase « un seul gramme de polonium 210 présente une activité de 166 000 milliards de becquerels ».

7 Le polonium 210 est l'un des produits issus des désintégrations successives de l'uranium 238 lesquelles conduisent à l'isotope stable $^{206}_{82}Pb$ du plomb.

Ces désintégrations sont de type α et β^-.

On peut assimiler l'ensemble à une réaction unique :

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{206}_{82}Pb + x\ {}^{4}_{2}He + y\ {}^{0}_{-1}e \quad \text{où x et y sont des entiers.}$$

Déterminer le nombre x de désintégrations α et le nombre y de désintégrations β^-.

Pour effectuer ce calcul, la connaissance de l'ordre des désintégrations n'est pas nécessaire.

8 Émetteur α, le polonium a de nombreuses utilisations.

Il a été employé comme source de rayonnement α par Irène et Frédéric Joliot-Curie dans les expériences qui ont conduit à la découverte de la radioactivité artificielle en 1934.

Associé au béryllium, il constitue une source de neutrons produits par la réaction nucléaire :

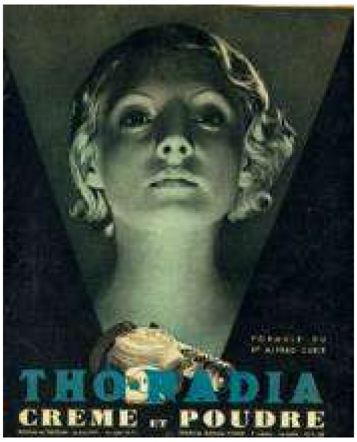
$$^{9}_{4}Be + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{0}n$$

8.1 Exprimer l'énergie de cette réaction, E, à partir des données.

8.2 Calculer sa valeur en joules.

8.3 Commenter le signe de la valeur obtenue pour E.

Exercice n°3 : Le radium à la mode…



Un examen attentif des dépôts de marque réalisés entre 1927 et 1934 atteste de la " mode du radium" qui sévissait alors.
Nous avons ainsi recensé une centaine de notices évoquant, de près ou de loin, cet élément radioactif.
Le Tho-Radia revendique haut et fort sa faible teneur en radium : " [...] la radioactivité du radium est pratiquement inépuisable. On a calculé qu'elle n'aurait diminué que de moitié au bout de seize siècles. C'est ce qui fait la différence fondamentale entre une préparation qui contient réellement du radium telle que la crème Tho-Radia [...] et les produits qui n'ont été soumis qu'à l'émanation du radium. L'activité de cette émanation disparaît en très peu de temps "

D'après "Revue d'histoire de la pharmacie", 3e trimestre 2002

Première partie : Étude de l'activité due au radium 226

Données :
Constante radioactive du radium 226 : $\lambda = 1{,}35.10^{-11}\ s^{-1}$
Constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02.10^{23}\ mol^{-1}$
Masse molaire atomique du radium : $M = 226\ g.mol^{-1}$

1. Le radium 226.

1.1. Donner la composition d'un noyau de radium $^{226}_{88}Ra$.

1.2. Le *radium* 226 *est radioactif* α. *Il conduit au radon de symbole* Rn.
Écrire l'équation de la réaction de désintégration et préciser les lois deconservation utilisées.

2. À la date t = 0 de fabrication, cent grammes de crème Tho-Radia contenaient $N_0 = 3{,}33.10^{14}$ *noyaux de radium.*

2.1. Calculer la masse de radium 226 contenue initialement dans 100 g de crème.
Citer la phrase du texte d'introduction illustrant ce résultat.

2.2. Activité due au radium contenu dans la crème.

2.2.1. Donner l'expression de la loi de décroissance du nombre N de noyaux de radium 226 en fonction du temps.

2.2.2. Calculer le pourcentage de noyaux restants à la date t = 10 ans.
Pourquoi peut-on dire que l'activité due au radium 226 contenu dans la crème ne varie pratiquement pas pendant une période de dix ans ?

2.3. Justifier la phrase du texte introductif : « *On a calculé qu'elle n'aurait diminué que de moitié au bout de seize siècles.* »

Deuxième partie : Étude de l'activité due au radon 222

Donnée : Le radon 222 a pour temps de demi-vie 3,8 jours.

Le radon 222 produit par la désintégration du radium 226 est lui-même radioactif α.
On donne dans ***l'annexe à rendre avec la copie,*** *la courbe de décroissance d'un échantillon de radon 222 contenant initialement* N_0' *noyaux.*

1. Déterminer graphiquement la constante de temps τ. Préciser la méthode utilisée.

2. Rappeler la définition du temps de demi-vie. Établir son expression en fonction de la constante de temps τ puis calculer le temps de demi-vie. La valeur calculée est-elle en accord avec la valeur donnée ?

3. Construire sur le même graphique, en utilisant les mêmes échelles, la courbe représentant la loi de décroissance du radon 222 pour un nombre initial de noyaux deux fois plus faible.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE