

La radioactivité

Activité 1 : Qu'est-ce que la radioactivité ?

Document 1 : Découverte de la radioactivité

En 1895, le physicien allemand Wilhelm K. Röntgen découvre un rayonnement invisible, de nature inconnue et qui semble traverser la matière. En plaçant une main entre le tube émetteur de ce rayonnement et une plaque photographique, il voit apparaître l'ombre de ses os, obtenant ainsi la première radiographie de l'histoire. Röntgen qualifie ce rayonnement de X, car ils sont inconnus à son époque. Aujourd'hui, ces rayons X font partie du rayonnement électromagnétique au même titre que la lumière.



Henri BECQUEREL apprenant la découverte de Röntgen, décide d'étudier l'existence d'une possible relation entre le phénomène de fluorescence et ces fameux rayons X. Pour cela il utilise des sels d'uranium, car une fois exposés à la lumière du soleil ces sels sont capables de réémettre de la lumière visible : c'est la fluorescence.

En 1896, Becquerel prépare des plaques photographiques recouvertes de sels d'uranium. Le soleil nécessaire, pense-t-il, pour exciter les sels d'uranium fluorescents étant absent, il remet au lendemain ses expériences, rangeant dans des tiroirs voisins les préparations et les plaques photographiques bien enveloppées et protégées. Le lendemain, Becquerel décide, avant de reprendre ses expériences, de développer les plaques photographiques. Il constate alors avec surprise, que les plaques, pourtant dûment protégées, sont impressionnées. Il s'empresse de renouveler l'expérience en vérifiant avec soin toutes les étapes du protocole opératoire, afin d'éliminer toute cause due à une éventuelle erreur. Il ne peut que constater l'absence de causalité entre l'émission d'un rayonnement par les sels d'uranium et leur préalable insolation. Il venait de découvrir la radioactivité. Éclairés ou non, les sels d'uranium produisent un rayonnement pénétrant qui impressionne les plaques photographiques.

Au début de 1898, Marie Curie commence un travail de thèse de doctorat sur les rayons de Becquerel. Elle examine systématiquement un grand nombre de composés chimiques et de minéraux et découvre que les minerais d'uranium émettent plus de rayonnements que l'uranium lui-même. De ce fait remarquable, elle déduit que les substances contiennent, en très petite quantité, un élément beaucoup plus actif que l'uranium. Pierre Curie joint alors ses efforts à ceux de sa femme pour parvenir à isoler l'élément inconnu qu'ils qualifient de radioactif. En juillet 1898, ils découvrent le polonium et, en décembre de la même année, le radium. À cette occasion, Marie Curie invente le mot radioactivité. L'analyse des rayonnements a montré qu'ils étaient constitués de particules chargées appelées rayons α (noyau d'hélium), de particules β (électrons), et de rayons γ non chargés, de même nature que la lumière ou les rayons X, très énergétiques. Depuis 1932, on sait que le noyau de l'atome est composé de particules chargées positivement : les protons et de particules neutres appelées les neutrons. Oui, mais voilà, on sait que 2 particules de même charge se repoussent et donc normalement il ne devrait pas y avoir d'atomes. Ce qui maintient le noyau dans son état est l'existence de l'interaction nucléaire forte qui est beaucoup plus intense que la force électrique, mais qui agit à très courte distance et qui lie les nucléons entre eux. Si le noyau de l'atome devient trop gros, cette interaction nucléaire forte devient insuffisante pour stabiliser le noyau et c'est la répulsion électrique entre les protons qui gagne et le noyau se désintègre en émettant des particules et du rayonnement, le noyau se transforme en un autre élément.



Document 2 : Animation sur la radioactivité

http://launay.elise.free.fr/radioactivite_anim.swf

Document 3 : Les déchets radioactifs

Les déchets radioactifs sont d'une grande diversité : éléments issus des combustibles usés des centrales nucléaires et des activités Défense pour la force de dissuasion, matériaux issus du démantèlement d'installations nucléaires, éléments radioactifs à usage industriel (techniques de contrôle de fabrication, stérilisation) ou médical (imagerie, radiothérapie), éléments issus de la recherche nucléaire...

En France, les déchets radioactifs sont classés selon deux critères :

- Leur durée de vie, calculée en fonction de la « période radioactive » des radioéléments contenus : la période est le temps au bout duquel la quantité d'un même radionucléide est divisée par deux. Elle varie, selon les radionucléides, de quelques jours à plusieurs milliers d'années. On parle de déchets à vie courte (VC), quand la période est inférieure à 31 ans, et de déchets à vie longue (VL) au-delà.
- Leur niveau de radioactivité, exprimé en becquerels : cela correspond au nombre de désintégrations d'atomes par seconde. On parle de déchets de très faible activité (TFA), faible activité (FA), moyenne activité (MA) ou haute activité (HA).

Question 1 : Comment la radioactivité a-t-elle été découverte ?

Question 2 : À quoi est due la radioactivité ?

Question 3 : Quelles sont les différentes réactions de désintégrations possibles ?

Question 4 : Citer les conditions dans lesquelles la radioactivité peut être nuisible à l'Homme ?

Question 5 : Dans quels domaines utilise-t-on la radioactivité ?

Question 6 : Qu'appelle-t-on le temps de demi-vie ?

La radioactivité

Activité 2 : La radioactivité du point de vue des atomes

Document 1 : Les atomes

L'atome (mots à utiliser : atome, électrons, négativement, noyau, positivement)

Un est constitué d'un chargé et d'électrons chargés, en mouvement autour du noyau. Les constituent le nuage électronique ou le cortège électronique. Le premier modèle de l'atome était un modèle « planétaire » : les électrons gravitent autour du noyau.

Le noyau.

Il est constitué de **nucléons**. Les nucléons sont de deux sortes : les **protons** et les **neutrons**.

La charge élémentaire notée **e** tel que *e* est égale à $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

La masse élémentaire notée m_p tel que $m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Les protons

La charge électrique des protons est positive et vaut : $q_p = e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

(C : coulomb : unité de charge électrique).

La masse d'un proton est $m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

Les neutrons

La charge électrique des neutrons est nulle.

La masse d'un neutron est $m_n = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

Les électrons

La charge électrique des électrons est négative et vaut : $q_e = -e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

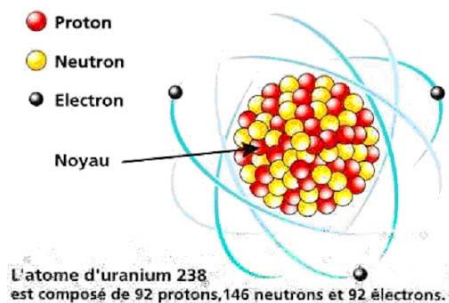
La masse d'un électron est $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$. Sa masse est 1800 fois plus faible que celle d'un nucléon. La masse d'un atome est donc essentiellement concentrée dans le noyau.

Les nombres Z et A :

On appelle **numéro atomique** noté **Z** le nombre de protons contenus dans le noyau d'un atome.

Le nombre total de nucléons (protons + neutrons) est noté **A**.

Le nombre de neutrons contenus dans le noyau d'un atome est noté **N**.

**1. Compléter :**

Les particules élémentaires composants les atomes sont :, et

Leurs caractéristiques sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Partie de l'atome	Noyau		Cortège électronique
Constituant			
Masse en <i>kg</i>			
Charge électrique en Coulomb (notée <i>C</i>)			

Compléter l'équation :

$$A = \dots + \dots$$

A :

N :

Z :

Application : Le noyau de l'atome de sodium contient 11 protons et 12 neutrons :

$$Z_{\text{sodium}} = \dots\dots$$

$$N_{\text{sodium}} = \dots\dots$$

$$A_{\text{sodium}} = \dots\dots$$

Document 2 : Représentation symbolique du noyau atomique

On représente un noyau atomique de la façon suivante : A_ZX .

X : symbole de l'élément chimique.

Z :

A :

2. Application :

① L'atome de carbone a pour représentation symbolique : ${}^{12}_6C$

Compléter :

Z = Le noyau de l'atome de carbone renferme donc protons.

A =, le noyau renferme donc nucléons soit N = = neutrons.

② L'atome de Bore (symbole B) renferme 11 nucléons et 5 protons dans son noyau.

Donner la représentation symbolique de ce noyau :

Document 3 : Neutralité électrique de l'atome

Compléter : (autant, égale, négatives, positives, protons)

L'atome étant électriquement neutre, il renferme autant de charges que de charges

La charge d'un électron étant en valeur absolue à celle d'un proton, il possède d'électrons qu'il a de dans son noyau.

Document 4 : Notion d'élément chimique

Définition

Le métal cuivre Cu et l'ion cuivre Cu^{2+} ont en commun d'avoir le même nombre de protons dans leur noyau.

Le est caractéristique d'un élément chimique.

Notion d'isotopie

Dans un échantillon de carbone, tous les atomes de carbone ne sont pas identiques. Il existe trois types d'atomes de carbone contenant tous 6 protons dans leur noyau.

3. Compléter le tableau suivant :

Symbole du noyau	Numéro atomique Z	Nombre de nucléons A	Nombre de protons	Nombre de neutrons N	Nombre d'électrons
${}^{12}_6C$					
C		13	6		
C				8	

On dit qu'il existe trois isotopes de l'atome de carbone et le phénomène correspondant porte le nom d'isotopie.

4. Compléter : (isotope, neutrons, nucléons, numéro atomique, protons)

Les atomes isotopes d'un élément sont des atomes caractérisés par un même mais des nombres de différents. Leurs noyaux renferment le même nombre de mais des nombres de différents.

Lorsque 2 noyaux possèdent le même numéro atomique, mais un nombre de neutrons (donc un nombre de masse) différent, ils sont dits

Exemple : Quels atomes sont des isotopes parmi les atomes suivants : ${}^{238}_{92}U$ ${}^{235}_{92}U$ ${}^{238}_{93}Np$

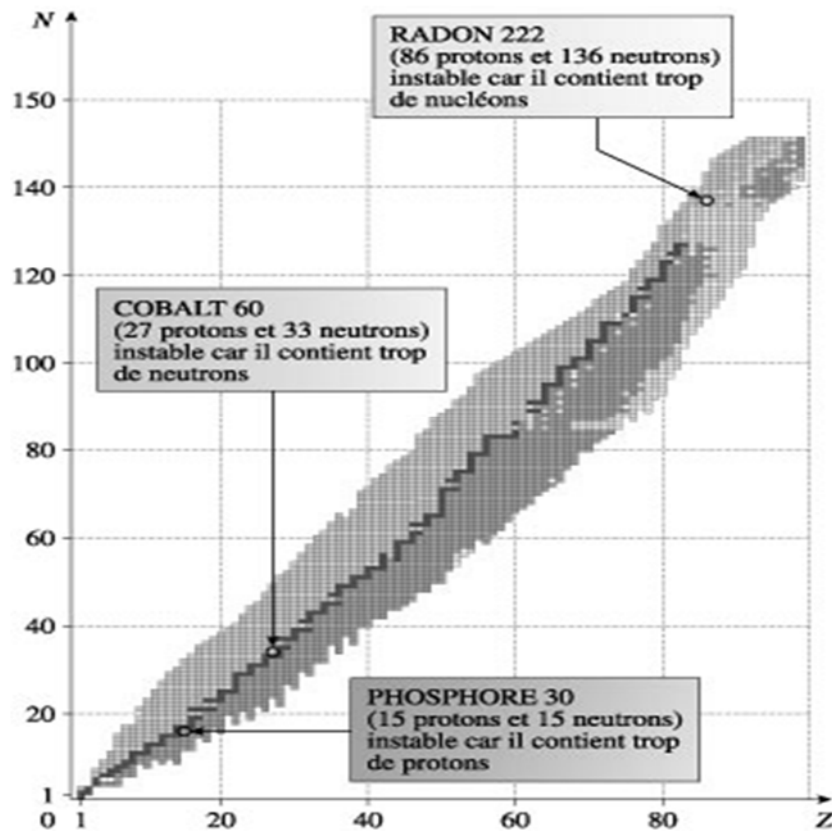
La radioactivité

Activité 3 : Noyaux stables et instables, Radioactivité

Document 1 : Noyaux stables et instables – Vallée de stabilité

Animation « de l'atome à la radioactivité » sur CEA.fr/jeunes/thème disponible au lien suivant :

<https://www.youtube.com/watch?v=IKH-vLONLKU>



Le diagramme ci-contre présente l'ensemble des noyaux connus.

On le nomme : **Diagramme (N, Z)**

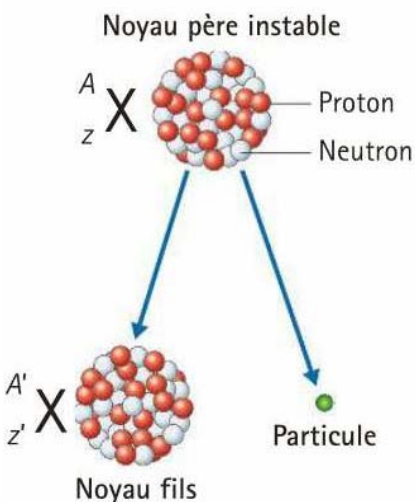
Le numéro atomique Z de chacun est porté en abscisse et le nombre de neutrons en ordonnée. Chaque noyau est figuré par un rectangle. Les noyaux stables sont en noir et définissent ce que l'on appelle « la vallée de stabilité ».

Des noyaux sont instables quand

On appelle radioactivité le phénomène de

Document 2 : Radioactivité

En février 1896, Henri Becquerel découvre que certaines substances émettent des rayonnements qui traversent la matière et impressionnent des plaques photographiques. Non perceptibles par nos sens, ils peuvent être détectés par un compteur Geiger-Müller.



On a représenté à gauche le schéma type de la radioactivité qui est une réaction nucléaire, car elle est au niveau du noyau.

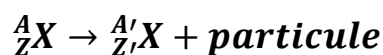
Elle est spontanée, car elle n'a pas besoin de conditions extérieures favorables.

Elle est inéluctable, elle aura lieu tôt ou tard.

Elle est aussi aléatoire, elle peut se dérouler à n'importe quel moment.

Elle nécessite que le noyau père soit instable. On dit qu'il est radioactif.

Pour représenter sous forme d'une équation de réaction cette réaction nucléaire, on obtiendra :



▲ Réaction nucléaire.

Document 3 : Les règles des réactions nucléaires

Lois de conservation lors d'une désintégration nucléaire (ou lois de Soddy)

Au cours d'une réaction nucléaire, il y a

- conservation de la charge électrique : conservation du nombre de protons
- conservation du nombre de nucléons.

Une réaction nucléaire peut-être modélisée par une équation qui obéit aux lois de conservation.

En physique nucléaire, on note : un neutron : ${}_0^1n$; un proton : ${}_1^1p$; un électron : ${}_{-1}^0e$; un positon : ${}_{+1}^0e$
une particule α : ${}_2^4He$

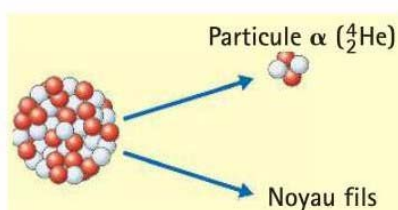
On considère un noyau instable « noyau père » ${}_Z^AX$ qui se désintègre en son descendant « noyau fils » ${}_{Z'}^{A'}Y$, en émettant une particule ${}_Z^a q$

Les lois de conservation impliquent :

$$Z = Z' + z$$

$$A = A' + a$$

Document 4 : Les différents types de radioactivité

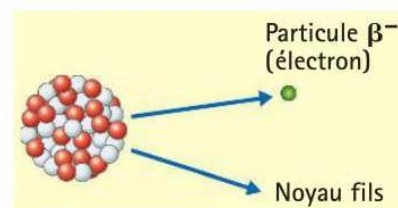
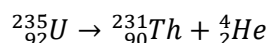


▲ Radioactivité α .

La radioactivité α concerne les noyaux lourds.

Une particule α , c'est-à-dire un noyau d'Hélium ${}_2^4He$ est émis.

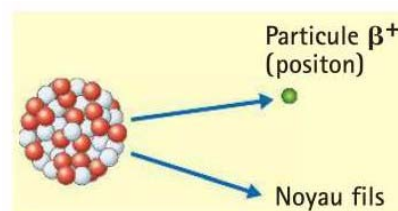
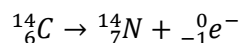
Par exemple, l'équation de désintégration de l'uranium 235 en tenant compte de la conservation du nombre de nucléons et du nombre de protons donne :



▲ Radioactivité β^- .

La radioactivité β^- — concerne les noyaux ayant un excédent de neutrons.

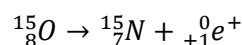
Pour écrire l'équation de désintégration du carbone 14, la particule β^- est un électron qui a pour symbole : ${}_{-1}^0e^-$:



▲ Radioactivité β^+ .

La radioactivité β^+ concerne les noyaux ayant un excédent de protons.

Pour écrire l'équation de désintégration de l'oxygène 15, on utilise un positon de symbole : ${}_{+1}^0e^+$:



(le positon est l'antiparticule de l'électron, il a la même masse que l'électron, mais une charge électrique opposée, la radioactivité β^+ ne se produit qu'avec des noyaux artificiels).

Voici un tableau récapitulatif des différentes particules que l'on retrouve dans les différentes réactions nucléaires.

proton	${}_1^1p$	1 charge positive	1 nucléon
neutron	${}_0^1n$ charge positivenucléon
électron	${}_{-1}^0e$charge négative nucléon
positon	${}_{+1}^0e$charge négative nucléon
photon gamma	γ	0 charge électrique	0 nucléon

Les noyaux instables se transforment en noyaux plus stables après expulsion soit :

- D'un, c'est la radioactivité
- D'un , c'est la radioactivité
- D'un, c'est la radioactivité

Applications :

1. Écrire l'équation de la désintégration alpha du radium Ra en radon Rn (Données : ${}^{222}_{86}Rn$)

2. Écrire l'équation de la désintégration β^- du Cobalt :

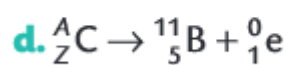
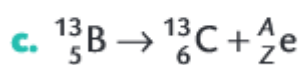
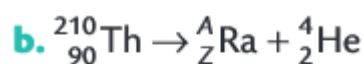
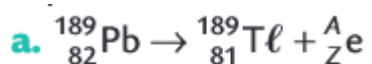
Données : *Cobalt* (Co) : $A = 60$; $Z = 27$; Fer Fe $Z=26$ et Nickel Ni $Z = 28$

3. Écrire l'équation de la désintégration β^+ du noyau de phosphore ${}^{30}_{15}P$

Données :

Élément	Aluminium	Silicium Si	Soufre S
Numéro atomique Z	13	14	16

4. Déterminer A et Z et nommer la particule émise



Document 4 : Rayonnement gamma γ

Lors de la désintégration d'un noyau, le noyau fils est souvent excité. Cela veut dire qu'il a un « surplus d'énergie ». Le noyau va alors se désexciter en émettant un rayonnement γ .

L'écriture de cette désexcitation est $Y^* \rightarrow Y + \gamma$, Y^* étant le noyau dans un état excité.

Par exemple, le retour à l'état fondamental du noyau excité de radon correspond à une transition énergétique

$$\Delta E = E_{\text{état excité}} - E_{\text{état fondamental}} = 4 \text{ MeV}$$

La longueur d'onde du photon émis correspondant est donnée par la formule :

Avec : ΔE :

h :

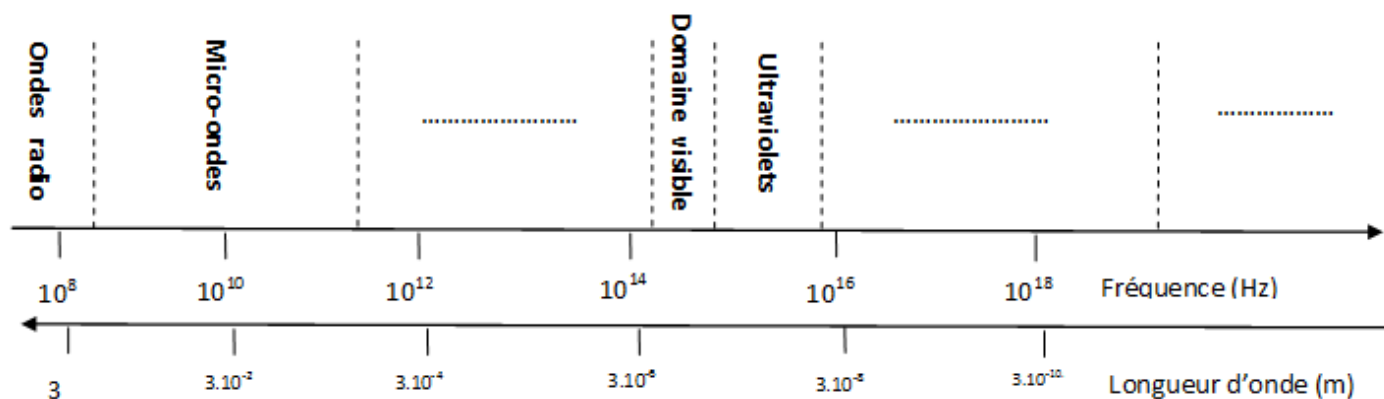
ν :

Exprimer puis calculer la longueur d'onde du photon émis lors de la désexcitation d'un noyau de radon Rn puis compléter le spectre suivant :

$$h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$



La radioactivité

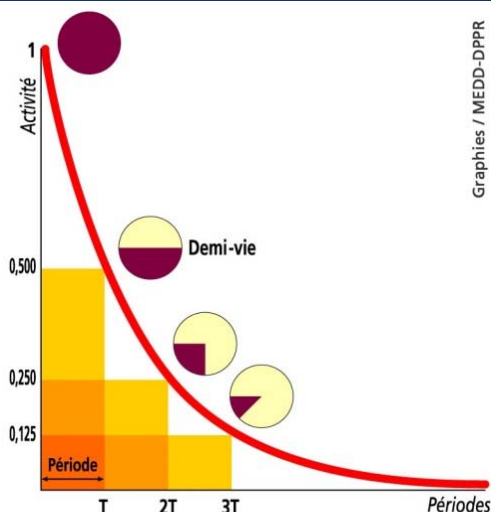
Activité 4 : Les dangers de la radioactivité

Document 1 : Combien de temps un produit radioactif reste-t-il radioactif ?

Dans un échantillon radioactif, les noyaux se désintègrent spontanément et de manière aléatoire. Le nombre de noyaux diminue donc au cours du temps ainsi que « l'intensité » du rayonnement émis.

L'activité d'un échantillon radioactif correspond au nombre de désintégrations par seconde. Elle se note A et se mesure en *Becquerel (Bq)*.

On définit le temps de $\frac{1}{2}$ vie ou période radioactive $t_{1/2}$ comme étant le temps au bout duquel l'activité A de l'échantillon est divisée par 2. C'est aussi le temps au bout duquel le nombre de noyaux radioactifs de l'échantillon est divisé par deux.



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**

Document 2 : Dangers de la radioactivité et prévention

Les effets de la radioactivité sur le corps humain

Cataracte

Cancer du poumon

Cancer du sein

Estomac

Nausées, vomissements de sang et diarrhée

Système reproductif

Hommes : détérioration de la prostate et des testicules

Femmes : détérioration des ovaires et des ovules

Peau
Perte des cheveux et des poils, cancer de la peau

Glande thyroïde

Elle peut être sérieusement endommagée avec de l'iode radioactif

Moelle osseuse

Leucémies ou insuffisances médullaires

Système immunitaire

Destruction des globules rouges, blancs et des plaquettes.

Symptômes après une faible exposition
Fièvre, perte des cheveux et des poils, vomissements et diarrhée

Le corps humain peut être soumis aux rayonnements radioactifs par irradiation externe ou par contamination (ingestion ou inhalation de substances radioactives). Ces rayonnements ionisants provoquent la mort des cellules irradiées et des modifications de l'ADN peuvent conduire à des cancers et des leucémies.

Grandeurs utilisées pour la surveillance et la protection des personnes :

La dose absorbée, notée D : elle est utilisée pour caractériser les expositions ponctuelles, accidentelles ou liées à un traitement médical.

$$\text{gray (Gy)} \leftarrow D = \frac{E \rightarrow (\text{J})}{m \rightarrow (\text{kg})}$$

E : Énergie des rayonnements radioactifs reçue par un corps
 m : masse du corps

Exemples de doses absorbées :

0,001 Gy

0,01 Gy

15 Gy

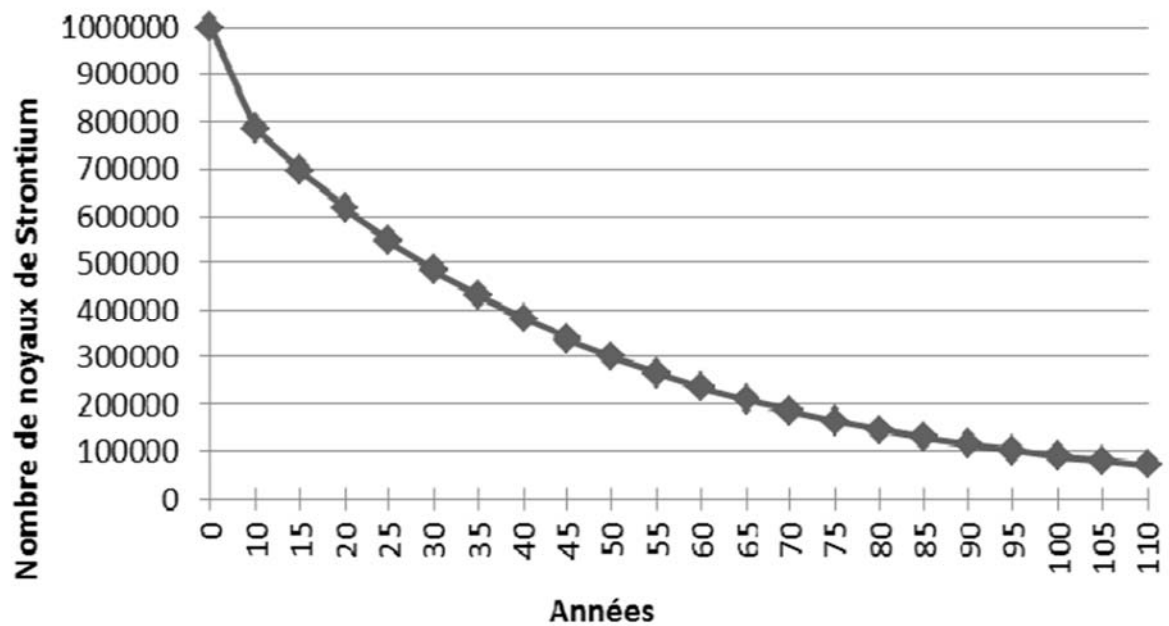
60 Gy

Dose annuelle du rayonnement gamma environnant

Radiographie de l'abdomen

Dose mortelle dans le cas d'une exposition du corps entier

Dose de radiothérapie sur une tumeur



Loi de décroissance radioactive

$$N = N_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

N : nombre de noyaux radioactifs restants

N_0 : Nombre de noyaux radioactifs initial

t : durée écoulée

τ constante de temps avec $\tau = \frac{t_{1/2}}{\ln 2}$

1. Qu'est-ce que le temps de demi-vie ? (Trouver un synonyme)
2. Que représente le graphique du document 3 ?
3. En déduire le temps de demi-vie $t_{1/2}$ de cet échantillon de Strontium.
4. Quelles sont les conséquences de l'exposition à des rayonnements radioactifs pour le corps humain ?

5. À quoi correspond la grandeur dont l'unité est le *Becquerel* (*Bq*) ?

6. Quelle est la grandeur qui est utilisée pour exprimer la caractériser les expositions à des radiations nucléaires ? Quelle est son unité ?

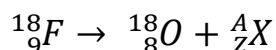
7. Calculer la constante de temps du Strontium

8. A l'aide de la loi de décroissance radioactive, calculer le nombre de noyaux de Strontium restant au bout de 100 ans, vérifier ensuite sur la courbe du document 2

Application : Désintégration du « *fluor 18* »

En cancérologie, le traceur utilisé pour l'imagerie médicale est le glucose marqué par le *fluor 18*. Ce traceur s'accumule préférentiellement dans les cellules cancéreuses, grandes consommatrices de sucre. Cette technique se singularise par l'utilisation d'isotopes radioactifs dont le temps de demi-vie est beaucoup plus court que les produits classiques de la médecine nucléaire. Ainsi le *fluor 18* a un temps de demi-vie radioactive de 100 minutes. Pour cette raison le traceur est fabriqué sur place de manière à ce qu'au moment de son injection au patient la dose administrée ait une activité de 280 *MBq*.

Le « *fluor 18* » ($^{18}_9F$) est un isotope radioactif du fluor. Il est produit sur place dans le laboratoire d'imagerie médicale. Le « *fluor 18* » se désintègre spontanément pour donner l'isotope 18 de l'oxygène ($^{18}_8O$). L'équation de cette réaction nucléaire peut s'écrire :



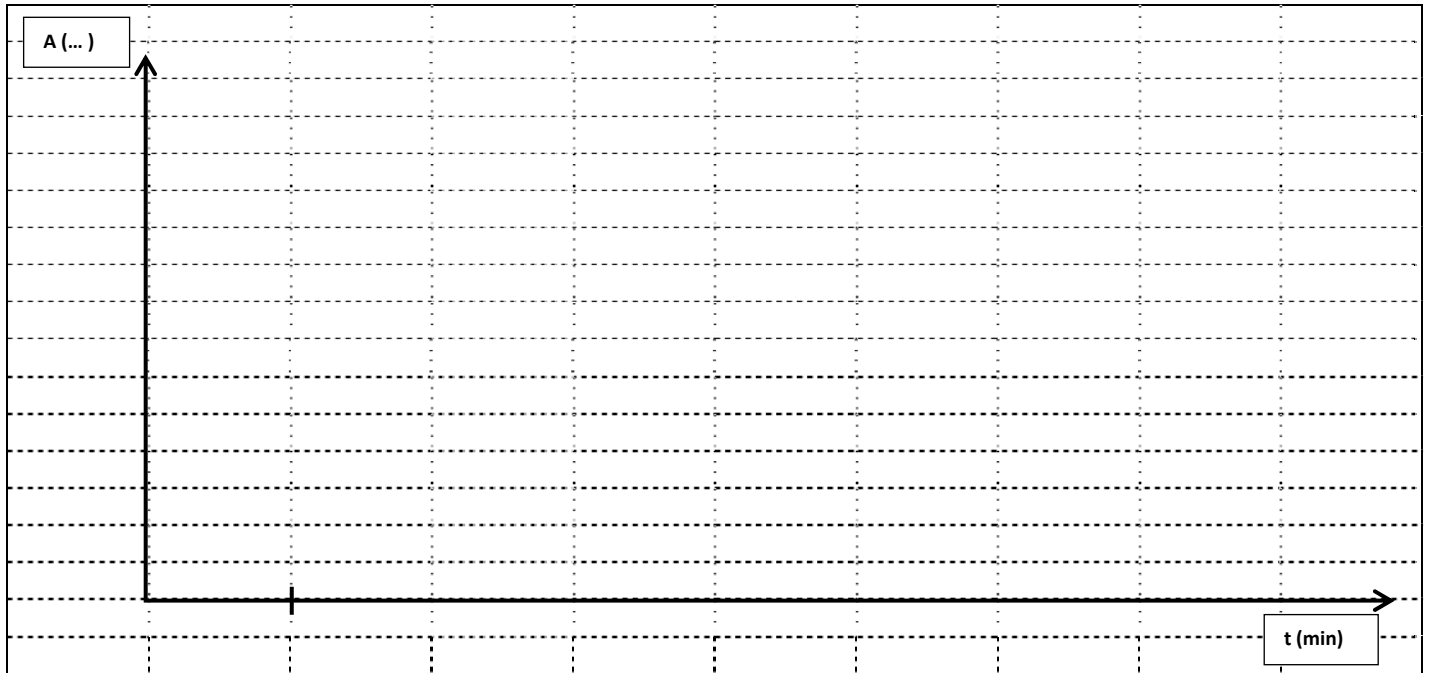
1. Donner la composition du noyau de l'isotope 18 du fluor.

2. En appliquant les lois de conservation, déterminer Z et A. Cette désintégration est-elle du type α , β^- ou β^+ ?

3. Compléter les deux lignes du tableau suivant :

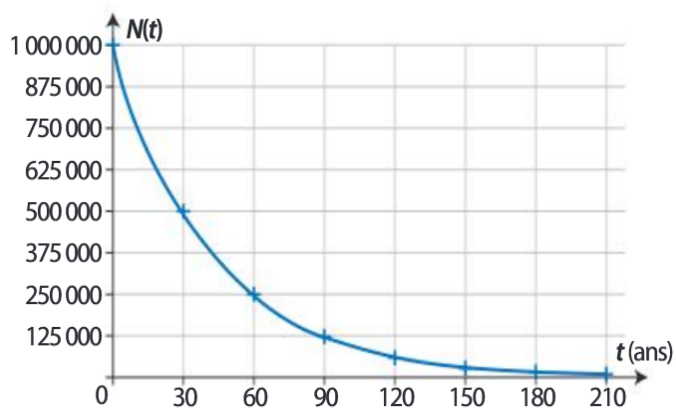
t (en min)	$t = 0$	$t_{1/2} = \dots$	$2.t_{1/2} = \dots$	$3.t_{1/2} = \dots$	$4.t_{1/2} = \dots$	$5.t_{1/2} = \dots$
A (en MBq)						

4. Tracer la courbe représentative de l'activité de l'échantillon en fonction du temps.



Application 2 : Le Césium

La courbe de décroissance radioactive d'un échantillon de césium 137 est la suivante :



1. Déterminer graphiquement la demi-vie du Césium 137

2. Déterminer la constante de temps du Césium.

3. Déterminer par le calcul le nombre de noyaux restants au bout de 40 ans

La radioactivité

La fission et la fusion

Document 1 : Equivalence masse- énergie



Relation d'Einstein : en 1905, Einstein édifie la théorie de la relativité restreinte où il postule qu'une particule possède de l'énergie du seul fait de sa masse.

« La masse est une des formes que peut prendre l'énergie. »

Un système au repos, de masse m , possède une énergie de masse E donnée par la relation d'Einstein :

$$E = m \cdot c^2$$

E : énergie en (....)

m : en (.....)

c : de la lumière dans le vide (.....)

C'est la relation d'équivalence entre la masse et l'énergie.

Il en découle que toute variation de masse Δ, entraîne une variation d' ΔE

On peut donc écrire :

$$\Delta E =$$

Si $\Delta m < 0$: la masse $\Rightarrow \Delta E$: l'énergie est par le système et cédée au milieu extérieur.

Si $\Delta m > 0$: la masse $\Rightarrow \Delta E$: l'énergie est au système par le milieu extérieur

Défaut de masse :

En mesurant la masse des noyaux au repos et celles des nucléons, les scientifiques se sont aperçus que la masse d'un noyau est toujours inférieure à la somme des masses des nucléons qui le composent.

$$m_{\text{noyau}} < (A - Z) \cdot m_n + Z \cdot m_p$$

La différence : $\Delta m = [(A - Z) \cdot m_n + Z \cdot m_p] - m_{\text{noyau}}$ est appelée **défaut de masse**.

Remarque : ce défaut de masse est très petit.

Calculer la variation de masse Δm lors de la formation du noyau d'hélium à partir de ses 4 nucléons séparés et au repos.

Particule	Neutron	Proton	Noyau d'hélium
Masse (kg)	$1,67493 \cdot 10^{-27}$	$1,67262 \cdot 10^{-27}$	$6,64449 \cdot 10^{-27}$

$$c = 2,997925 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

L'énergie de liaison d'un noyau est l'énergie qu'il faut fournir à un noyau au repos pour le dissocier en nucléons immobiles et au repos.

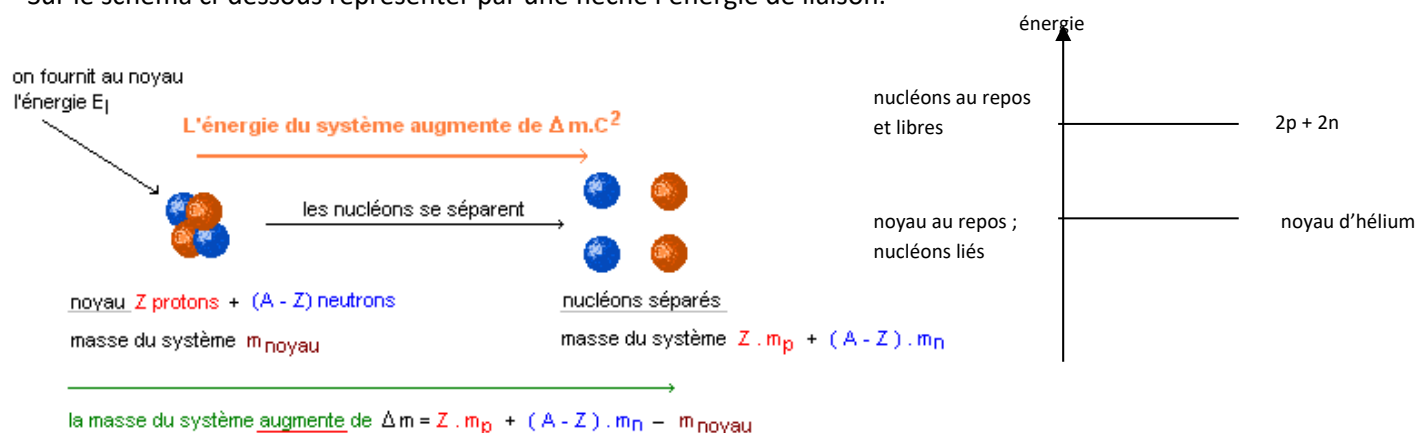
L'énergie de liaison est notée E_l

$$E_l = \text{perte de masse} \cdot c^2 = \Delta m \cdot c^2 > 0$$

- En déduire l'énergie de liaison du noyau d'hélium.

Il en résulte que dans un diagramme énergétique, le noyau est situé plus bas que les nucléons car il est plus stable.

- Sur le schéma ci-dessous représenter par une flèche l'énergie de liaison.



Unités d'énergie : les calculs précédents montrent que le joule est une unité mal adaptée à la description des transferts d'énergie à l'échelle atomique. On utilise l'électron-volt (eV)

- Compléter, en détaillant le calcul si nécessaire, les équivalences suivantes

$$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ keV} = \dots \dots \dots \text{ eV}$$

$$1 \text{ MeV} = \dots \dots \dots \text{ eV}$$

$$1 \text{ GeV} = \dots \dots \dots \text{ eV}$$

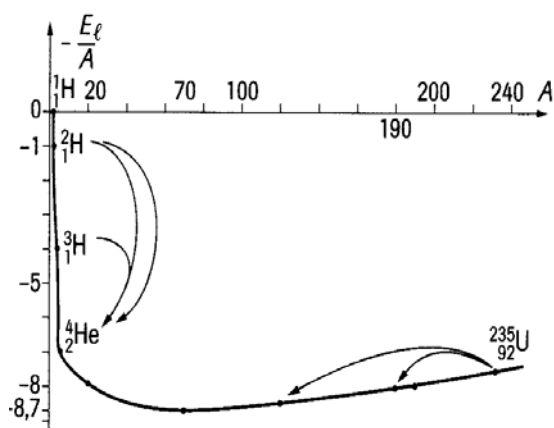
$$1 \text{ J} = \dots \dots \dots \text{ eV}$$

Déterminer l'énergie de liaison du noyau d'hélium en eV

- Écrire l'équation de la désintégration α du radon $^{226}_{88}\text{Ra}$.

Noyau	Masse du noyau
^4_2He	$6,644\,7 \times 10^{-27}$
$^{222}_{86}\text{Rn}$	$368,590\,7 \times 10^{-27}$
$^{226}_{88}\text{Ra}$	$375,244\,1 \times 10^{-27}$

- Exprimer puis calculer la perte de masse Δm
Exprimer puis calculer l'énergie libérée ΔE_l lors de cette réaction en J puis en MeV.



Domaine de stabilité : courbe d'Aston

Les noyaux légers peuvent fusionner en un noyau plus stable, plus bas sur le diagramme.

La réaction nucléaire correspondante est la fusion.

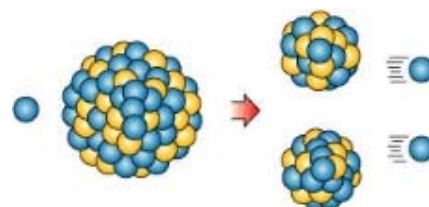
Certains noyaux lourds peuvent se briser pour donner naissance à des noyaux plus légers situés dans la zone de stabilité maximale.

La réaction nucléaire correspondante est la fission.

Fission nucléaire :

Définition : la fission est une réaction nucléaire dans laquelle un noyau lourd donne naissance à 2 noyaux plus légers sous l'effet d'un choc avec un neutron.

Une réaction nucléaire de fission est l'éclatement d'un noyau lourd en deux noyaux sous l'impact d'un neutron.



Conditions de réalisation : Compléter le texte ci-dessous avec les mots suivants :

A ; amorcée ; atomiques ; auto-entretenue ; choc ; contrôlée ; en chaîne ; explosive ; fission ; fissions ; neutrons ; modérateur

La réaction produit des qui peuvent provoquer de nouvelles Ils sont ralentis par un (graphite ; eau lourde). Il en résulte une réaction

La réaction en chaîne est quand le nombre moyen de neutrons produits par une fission peut, compte tenu des pertes, provoquer en moyenne une autre

La réaction en chaîne peut devenir quand elle diverge : les neutrons provoquent de plus en plus de C'est ce qui se passe dans les bombes de type

La fission doit être avec une source de neutrons. Dans les centrales nucléaires on utilise un mélange américanium- béryllium.

Elle doit ensuite être pour éviter qu'elle évolue vers une transformation explosive.

Fusion nucléaire :

Définition : il y a fusion nucléaire quand 2 noyaux légers s'unissent au cours d'un choc pour former un noyau plus lourd



La fusion est une réaction nucléaire provoquée au cours de laquelle deux noyaux légers fusionnent pour former un noyau plus lourd.

schéma de la fusion du deutérium ${}^2_1\text{H}$ et d'un noyau de tritium ${}^3_1\text{H}$

Écrire l'équation de cette réaction de fusion

Conditions de réalisation : Compléter le texte ci-dessous avec les mots suivants : amorcer ; énergie ; explosive ; fission ; forces ; fusion ; incontrôlée ; K ; naturellement ; positivement ; rapprocher ; température ; thermonucléaire

Les 2 noyaux chargés doivent posséder une très grande pour vaincre les de répulsion électrique et se suffisamment pour que la se produise. Il faut pour cela, que le milieu soit à très haute de l'ordre de 10^8 La réaction de fusion nucléaire est appelée réaction A ces températures la matière est à l'état de plasma (4^{ème} état de la matière)

- Dans les étoiles : la fusion nucléaire s'y fait
- Dans les bombes thermonucléaires : bombe H : la fusion est et La très haute température est obtenue grâce à une bombe A : la réaction de sert à la fusion.
- Recherches sur la fusion contrôlée : la difficulté réside dans le confinement de la matière aux températures extrêmes : programme ITER

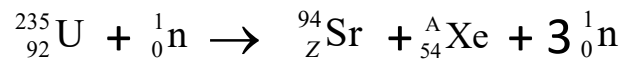
Application :

Tableaux de données:

Particule ou Noyau	Neutron	Hydrogène 1 ou proton	Hydrogène 2 ou Deutérium	Hydrogène 3 ou Tritium	Hélium 3	Hélium 4	Uranium 235	Xénon	Strontium
Symbole	${}_0^1\text{n}$	${}_1^1\text{H}$	${}_1^2\text{H}$	${}_1^3\text{H}$	${}_2^3\text{He}$	${}_2^4\text{He}$	${}_{92}^{235}\text{U}$	${}_{54}^{\text{A}}\text{Xe}$	${}_{38}^{94}\text{Sr}$
Masse en 10^{-27}kg	1,67492	1,67263	3,34358	5,00739	5,00641	6,64465	390,2173	230,6311	155,9156

Électronvolt	$1\text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19}\text{ J}$
Vitesse de la lumière dans le vide	$c = 3,00 \times 10^8\text{ m.s}^{-1}$

Le bombardement d'un noyau d'uranium 235 par un neutron peut produire un noyau de strontium et un noyau de xénon selon l'équation suivante :



1. Déterminer les valeurs des nombres A et Z.

2. Calculer en MeV l'énergie libérée par cette réaction de fission.

3. Le deutérium de symbole ${}_1^2\text{H}$ et le tritium de symbole ${}_1^3\text{H}$ sont deux isotopes de l'hydrogène.

Donner la composition de ces deux noyaux.

4. Écrire l'équation de la réaction nucléaire entre un noyau de Deutérium et un noyau de Tritium sachant que cette réaction libère un neutron et un noyau noté ${}_Z^AX$.

Préciser la nature du noyau ${}_Z^AX$.

5. Montrer que l'énergie libérée au cours de cette réaction de fusion est de 17,6 MeV. Quelle est l'énergie libérée par nucléon de matière participant à la réaction ?

Exercices

Exercice 1 : QCM

	A	B	C
Le noyau de rubidium (Rb) qui comporte 78 nucléons dont 41 neutrons s'écrit :	${}^{78}_{41}\text{Rb}$	${}^{78}_{37}\text{Rb}$	${}^{41}_{37}\text{Rb}$
Des nucléides isotopes ont nécessairement des :	Nombres de nucléons différents	Nombres de protons identiques	Nombres de neutrons identiques
Une particule alpha contient :	4 nucléons	4 neutrons	2 protons
Une particule β^+ est :	Sans masse	Identique à un électron	L'antiparticule de l'électron
Lors d'une désintégration β^- le noyau fils contient, par rapport au noyau père :	Un neutron de plus	Un proton de plus	Un nucléon de plus
Lors de la désintégration α d'un échantillon, il y a émission :	D'un noyau d'Hélium	D'un rayonnement γ	D'électrons
Le nombre de désintégrations par seconde d'un échantillon radioactif :	S'exprime en becquerel	Augmente avec le temps	Est divisé par deux au bout d'une période
L'émission γ est due à la désexcitation :	Du noyau père	Du noyau fils	De la particule émise
Un échantillon contient N noyaux radioactifs. Au bout d'une durée égale à sa demi-vie, il contient :	Aucun noyau radioactif	N/2 noyaux radioactifs	N/10 noyaux radioactifs
$3,6 \times 10^6$ désintégrations par heure correspond à une activité de :	3600 Bq	1000 Bq	60 Bq

A.2. La scintigraphie cardiaque (documents A.2) Données : $M_{Tl} = 204 \text{ g.mol}^{-1}$ $m_{\text{randonneur}} = 80 \text{ kg}$

Afin de compléter le diagnostic médical du randonneur, son médecin décide de lui faire passer une scintigraphie cardiaque dont les explications sont données dans le document A2-a.

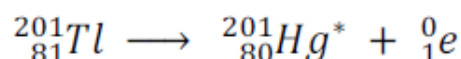
Document A2-a : généralités sur la scintigraphie cardiaque

La scintigraphie cardiaque, ou scintigraphie myocardique, est un examen complémentaire utilisé par les cardiologues et les médecins spécialistes de médecine nucléaire pour apprécier la fonction cardiaque (perfusion, métabolisme, intégrité cellulaire...). C'est un examen indolore, d'une durée moyenne de 15 à 30 minutes au cours duquel le médecin injecte du thallium par intraveineuse. Le thallium émet des rayons γ captés par une caméra à scintillations.

La scintigraphie myocardique apporte des renseignements utiles pour confirmer ou infirmer le caractère coronarien d'une douleur thoracique en identifiant l'état de perfusion du myocarde (muscle cardiaque) pour savoir s'il est bien vascularisé.

A.2.1. Identifier l'élément radioactif utilisé pour effectuer la scintigraphie du myocarde.

A.2.2. Le thallium 201 peut se désintégrer en mercure 201 selon l'équation :



Indiquer à quel type de radioactivité correspond cette désintégration et le nom de la particule émise.

A.2.3. Lors de la désintégration du thallium 201, un des rayonnements émis possède une énergie E égale à 167 keV.

À l'aide des informations des documents A2 et de vos connaissances, exprimer puis calculer la longueur d'onde λ , en m, de ce rayonnement dans le vide.

Document A2-b : rappel sur l'énergie transportée par un photon

On rappelle que l'énergie E transportée par un photon est donnée par l'expression :

$$E = h \times \nu$$

avec : $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ (constante de Planck)

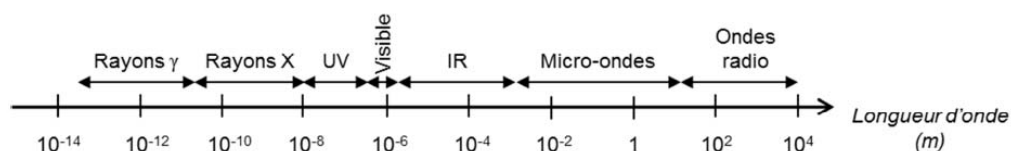
ν la fréquence en Hz

E en Joule (J)

La célérité de la lumière dans le vide est : $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Unités d'énergie : $1 \text{ keV} = 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ J}$.

Document A2-c : le spectre des ondes électromagnétiques



A.2.4. Le document A2-c représente les différents domaines du spectre électromagnétique.

À quel domaine du spectre appartient le rayonnement émis lors de la désintégration du thallium 201 ?

Votre réponse est-elle en accord avec les informations du document A2-a ?

A.2.5. Pour réaliser une scintigraphie du myocarde, on utilise une solution contenant du thallium²⁰¹ dont l'activité volumique A_v est de 38 MBq.mL^{-1} . L'infirmière injecte au patient par voie intraveineuse une solution d'activité $A_0 = 79 \text{ MBq}$. Les premières images du cœur sont visualisées quelques minutes après l'injection.

On vérifie dans les questions suivantes que la dose injectée ne dépasse pas la limite autorisée.

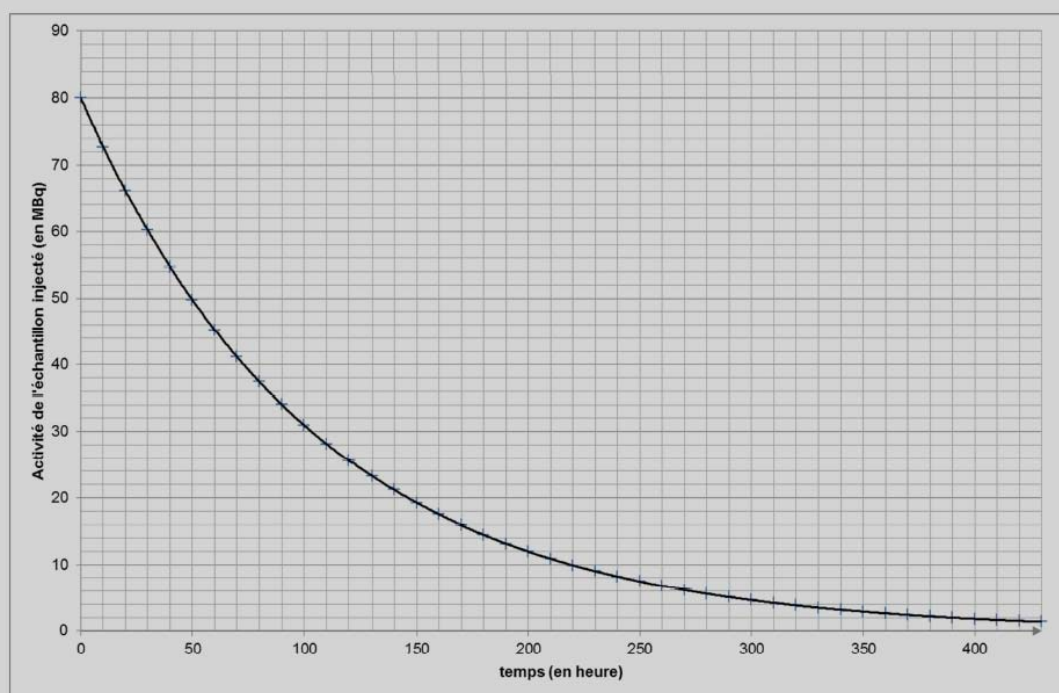
A.2.5.a) Calculer le volume V de solution d'activité A_0 injecté par l'infirmière.

A.2.5.b) La concentration en thallium 201 de l'échantillon au moment de l'injection est de $C_0 = 2,37 \cdot 10^{-8} \text{ mol.L}^{-1}$; déterminer la masse m_0 de thallium dans l'échantillon.

A.2.5.c) Le thallium présente une certaine toxicité. La dose limite à ne pas dépasser lors d'une injection est de 150 ng.kg^{-1} . Vérifier que la dose injectée ne présente aucun danger.

A.2.5.d) En utilisant le document A2-d, déterminer le temps de demi-vie $t_{1/2}$ du thallium. Que signifie précisément cette durée ?

Document A2-d : courbe de décroissance radioactive du thallium 201 présent dans l'échantillon injecté

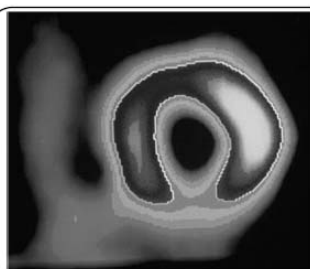


A.2.6. L'examen médical consiste, après injection du traceur radioactif, à produire un effort lors d'un exercice physique pendant lequel une γ -caméra prend des images du cœur. Le même examen est réalisé deux heures plus tard lorsque le patient est au repos.

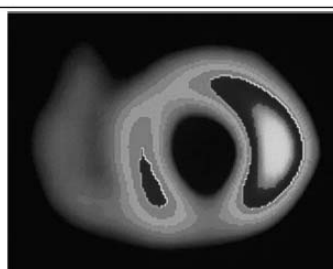
Le document A2-e représente le résultat du patient.

Le patient est-il en bonne santé pour réaliser sa randonnée sans souci ?

Document A2-e : Image médicale obtenue par la γ -caméra pour le randonneur



Myocarde normal



Myocarde avec ischémie
coronaire
(le cœur est mal irrigué)



Myocarde du randonneur

d'après : www.larousse.fr

C.2 Mesure de la densité.

Les densimètres utilisent une source radioactive de césium 137 ($^{137}_{55}\text{Cs}$) qui se désintègre naturellement en baryum 137 ($^{137}_{56}\text{Ba}$).

C.2.1 Donner le nombre de protons et le nombre de neutrons composant un noyau de césium 137 puis de baryum 137.

C.2.2 Définir l'isotopie. Le césium 137 et le baryum 137 sont-ils des isotopes ?

C.2.3 Écrire l'équation de désintégration du césium 137 en baryum 137 et préciser la nature de la particule émise.

C.2.4 À la lecture du **document C.1 page 12/14** et à l'aide de la question précédente, déterminer la nature des rayonnements émis par la source de césium 137.

Le graphe du **document réponse C.2.5/C.2.6 page 14/14** représente l'évolution de l'activité d'un échantillon de noyaux radioactifs de césium en fonction du temps.

On rappelle que la « période radioactive » (ou demi-vie) $T_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle le nombre de noyaux radioactifs présents dans l'échantillon est réduit de moitié.

C.2.5 Déterminer graphiquement la demi-vie radioactive du césium 137. Vous ferez clairement apparaître le tracé sur le **document réponse C.2.5 /C.2.6 page 14/14**.

L'étalonnage de l'appareil est indispensable dès que la source a perdu 10% de son activité initiale.

C.2.6 Estimer graphiquement la durée entre deux étalonnages de cet appareil. Vous ferez clairement apparaître le tracé sur le **document réponse C.2.5 /C.2.6 page 14/14**.

C.3 Obligation en cas d'acquisition d'un densimètre nucléaire.

En vous aidant du **document C.1 page 12/14**, répondre à la question suivante :

Dans le cas où les responsables de l'entreprise feraient le choix d'acquérir ce type de densimètre, quelles actions doivent-ils mettre en place ?

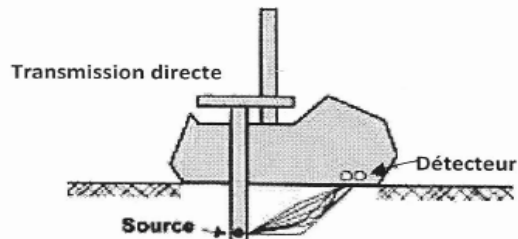
Les densimètres nucléaires sont des appareils dont le principe repose sur la mesure de dispersion ou de l'absorption de rayonnement radioactif par les sols.

Pour déterminer la densité du sol, une source radioactive-isotope (Césium 137) est plantée dans le sol (transmission directe). La source de l'isotope dégage des photons (des rayons gamma) qui sont éparpillés en raison des collisions avec les électrons d'atomes rencontrés. Plus la densité du milieu environnant est élevée, plus l'éparpillement est important.

La mesure de la teneur en humidité du sol est basée sur le principe d'absorption par l'eau des neutrons rapides émis par une source radioactive (Américium 241/Béryllium 9).



MC-3-Vectra



Transmission directe

La majorité des densimètres nucléaires disponibles dans le commerce affichent directement les mesures. Avant chaque session de mesure, ils doivent être calibrés à l'aide d'un ensemble standard de matières de densité définie, habituellement livré avec le densimètre.

Les densimètres nucléaires permettent des mesures rapides, précises et renouvelables. Les instruments sont transportables et peuvent être utilisés facilement.

Les inconvénients résident dans le fait que du matériel radioactif est utilisé, ce qui requiert une autorisation préfectorale d'utilisation ainsi que des opérateurs correctement formés. De plus, le matériel est cher et requiert un calibrage adéquat pour chaque site.

Par conséquent, les densimètres nucléaires ne sont préconisés que pour des entreprises effectuant beaucoup de mesures.

Questions C.2.5/C2.6

