CHAPITRE III

LA RADIOACTIVITE

I. RADIOACTIVITÉ NATURELLE

Elle a été découverte par Henri BECQUEREL en 1886. Il découvrit que le sulfate d'uranyle et de potassium ($K_2UO_2(SO_4)_2$) émettant un rayonnement capable d'ioniser ou d'impressionner une plaque photographique. Ce rayonnement n'est affecté par aucune intervention extérieure (température, pression, ….) ce qui le distingue d'une réaction chimique. Il s'agit d'une réaction nucléaire spontanée. Les noyaux lourds peuvent émettre des électrons ($Particule\ \beta$) ou des particulesα (^4_2He). Les noyaux les moins lourds (légers) émettent des particules$\beta\ ou$ ($électrons$).

L'émission $\alpha\ et\ \beta$ est accompagnée d'une émission de photon très énergétiques qui constituent le rayon γ.

PRINCIPAUX RAYONNEMENTS

I.1. Rayons α :

Il concerne essentiellement les éléments lourds de numéro atomique $Z \geq 83$.

$$^A_ZX \ ----\rightarrow \ ^{A-4}_{Z-2}Y \ + \ ^4_2He$$

Le rayonnement α est très ionisant, très énergétique mais peu pénétrant.

I.2. Rayons β^- :

Il concerne les isotopes instables qui possèdent un excès en ***neutrons***. Lors de cette émission, un ***neutron*** se transforme en un ***proton*** selon la réaction ci-dessous :

$$^1_0n \ ----\rightarrow \ ^1_1P \ + \ ^0_{-1}e$$

Au cours de cette réaction le nombre de protons varie et on transforme un élément en un autre, il s'agit d'une ***transmutation***.

I.3. Rayons β^+ :

Il concerne les isotopes instables qui possèdent un excès de ***protons***. De tels éléments chercheront à se stabiliser en augmentant N et en diminuant Z. On peut considérer que pour de tels nucléides, un proton se transforme en neutron. Simultanément, un positron est éjecté du noyau. Le positron est l'antiparticule de l'électron, il possède une même masse mais une charge opposée à celui-ci

$$^1_1P \ ----\rightarrow \ ^1_0n \ + \ ^0_1e$$

Au cours de cette réaction, le nombre de protons varie et on transforme un proton en autre, il s'agit aussi d'une ***transmutation***.

I.4. Rayonnements γ:

Il apparait lors des émissions $\alpha \ et \ \beta$. En général, lorsqu'un noyau est formé, lors d'une désintégration $\alpha \ ou \ \beta$, il n'atteint pas immédiatement son état fondamental, il se trouve dans un état excité. Le passage à l'état fondamental, libère un photon de nature de rayonnement γ.

$$^{A}_{Z}X \ ------\rightarrow \ ^{A}_{Z}X + \ \gamma$$

Le rayonnement γ est un rayonnement électromagnétique pur, donc sans masse ni charge mais très énergétiques ayant un pouvoir pénétrant supérieur à celui des particules $\alpha \ et \ \beta$ avec un pouvoir ionisant inférieur.

II. RADIOACTIVITE ARTIFICIELLE

II.1. Réactions de transmutation

Les réactions de transmutation provoquées, produisent des nucléides de nombre de masse égal ou très proche de celui du nucléide qui a servi de cible.

$^{32}_{16}S + \ ^{1}_{0}n \ ----\rightarrow \ ^{1}_{1}P + \ ^{32}_{15}P$; $^{32}_{16}S\ (n,p)\ ^{32}_{15}P$ (Ecriture simplifiée ou abrégée)

$^{14}_{7}N + \ ^{4}_{2}He \ ----\rightarrow \ ^{1}_{1}H + \ ^{17}_{8}O$; $^{14}_{7}N\ (\alpha,p)\ ^{17}_{8}O$ (1ère réaction réalisée par RUTHERFORD. Elle a permis la découverte de Proton en 1919).

II.2. Fission nucléaire

Elle concerne les éléments lourds qui se désintègrent pour donner des atomes plus légers et des neutrons qui à leur tour peuvent bombarder d'autres noyaux voisins et provoquent leur fission ; c'est la ***réaction nucléaire en chaine***.

$$^{235}_{92}U + \ ^{1}_{0}n \ ----\rightarrow \ ^{132}_{51}Sb \ + \ ^{101}_{41}Nb \ + 3\,^{1}_{0}n$$

$$Fission\ nucléaire\ non\ controlée \ \Rightarrow \ \ Bombe\ atomique$$

$$Fission\ nucléaire\ \ controlée \ \Rightarrow \ \ Centrale\ nucléaire$$

L'énergie libérée par ce type de réaction est de l'ordre de 200 MeV/atome

Exemple :

$$^{235}_{92}U + \ ^{1}_{0}n \ ----\rightarrow \ ^{139}_{56}Ba \ + \ ^{94}_{36}Kr \ + 3\ ^{1}_{0}n$$

$$^{235}_{92}U + \ ^{1}_{0}n \ ----\rightarrow \ ^{95}_{38}Sr \ + \ ^{139}_{54}Xe \ + 2\ ^{1}_{0}n$$

$$^{235}_{92}U + \ ^{1}_{0}n \ ----\rightarrow \ ^{135}_{53}I \ + \ ^{97}_{39}Y \ + 4\ ^{1}_{0}n$$

II.2. Réaction de fusion

Au cours de ce type de réactions deux ou plusieurs atomes légers vont s'unir pour former un noyau lourd sous haute température.

Au cours de ce processus, il y a perte de masse accompagnée d'un dégagement d'énergie.

Exemple :

$$^{2}_{1}H + \ ^{3}_{1}H \ \longrightarrow \ ^{4}_{2}He + \ ^{1}_{0}n$$

$$^{6}_{3}Li + \ ^{2}_{1}H \ \longrightarrow \ 2\ ^{4}_{2}He$$

$$4\ ^{1}_{1}H \ \longrightarrow \ ^{4}_{2}He + 2\ ^{0}_{-1}e$$

III. CINETIQUE DE LA DESINTEGRATION RADIOACTIVE

III.1. Aspect énergétique

Lors de la réaction nucléaire, il y a conservation du nombre total de nucléons et de la charge globale mais accompagnée par une perte de masse $(\Delta\, m)$ correspondant à la libération de l'énergie donnée par la relation d'EINSTEIN :

$$E \ = \ \Delta m. C^2$$

Avec : $\Delta m = \ \sum m\ (produits) - \ \sum m\ (reactifs)$

Exemple :

$$^{230}_{90}Th \ \longrightarrow \ ^{4}_{2}He + \ ^{226}_{88}Ra$$

Avec : $m_{Th} = 230{,}1047\ uma \ \ ; \ \ m_{He} = 4{,}0039\ uma;\ m_{Ra} = 226{,}0957\ uma$

La désintégration d'une mole d'atomes s'accompagne d'une perte de masse :

$$\Delta m = \ (226{,}0957 + 4{,}0039) - \ 230{,}1047 = \ -0{,}0051\ uma$$

$E = \ -0{,}0051\ .1{,}66.10^{-27}\ (kg)\ \ 9\ .10^{16}\ \left(\frac{m^2}{s^2}\right) = \ -0{,}076194.10^{-11}\ (J/atome) =$ $\frac{0{,}076194.\ 10^{-11}}{1{,}6.\ 10^{-19}}\ (eV) = \ -7{,}76\ MeV.$

III.2. Aspect cinétique (loi de décroissance radioactive)

Soit la réaction :

$$A \ \longrightarrow \ B \quad (\ B\ n'est\ pas\ radioactif)$$

$A\ t = 0$	N_0	
$A\ t$	N_t	$N_0 - N_t$
A $(t + dt)$	$N_0 + \ dN$	

L'expérience a montré que le nombre d'atomes $\left(\frac{dN}{dt}\right)$ qui se désintègrent entre $t\ et\ (t+dt)$ est proportionnel au nombre d'atomes N présent à l'instant t d'où :

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda.N \qquad (1)$$

Avec :

dN: La variation du nombre de noyau radioactif pendant le temps dt

N: désigne le nombre de noyau présent à l'instant t

λ: constante radioactive ou de désintégration $(s^{-1},\ mn^{-1})$

$-\frac{dN}{dt}$: représente le nombre de particules désintégrées par unité du temps. La variation $-\frac{dN}{dt}$ (vitesse de désintégration) en fonction de N est une loi linéaire. Elle s'exprime en ***d.p.m*** *(*désintégration par minute) ou **d.p.s** (Désintégration par seconde).

Par intégration de l'équation (1) :

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda.N \quad ;A\ t=0\ on\ a:\ N=N_0\ ;;;\quad A\ t \neq 0\ on\ a\ N=N_t$$

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda.N \Rightarrow \frac{dN}{N} = -\lambda\, dt$$

$$\int_{N_0}^{N}\frac{dN}{dt} = \int_{0}^{t} -\lambda.dt \Rightarrow ln(N)|_{N_0}^{N} = -\lambda\,(t)|_0^t$$

$$lnN - lnN_0 = -\lambda.t$$

$$N_t = N_0 e^{-\lambda.t} \qquad (2)$$

C'est la loi de la décroissance radioactive.

a. La période radioactive

La période radioactive est le temps au bout duquel la moitié des noyaux initiaux a subi la désintégration. Elle s'obtient en remplaçant dans l'équation (2) t par T et N_A par $\frac{N_{A0}}{2}$. On trouve :

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0{,}69}{\lambda} \qquad (3)$$

Soit : T est le temps nécessaire pour que $N_0/2$ soit désintégrés.

$$(2) \Leftrightarrow \ln\frac{N_t}{N_0} = -\lambda.t$$

Pour t = T on a : $(2) \Leftrightarrow \ln\frac{N_0/2}{N_0} = -\lambda.T \Rightarrow -\ln 2 = -\lambda.T$

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Remarque :

Le nombre d'atomes radioactifs présent est divisé par 2 à chaque fois qu'il s'écoule une période. Au bout de (n) période, le nombre de noyau restant est :

$$N_A = \frac{N_{A0}}{2^n} \qquad (4)$$

La période est une caractéristique fondamentale de chaque noyau. Elle est indépendante :

- Du nombre initial d'atome
- De la pression et de la température.

Exemple :

Périodes de quelques éléments :

^{238}U : $T = 4{,}5.10^9\ ans$; ^{131}I : $T = 8{,}1\ Jours$; $^{25}Na = 25\ secondes.$

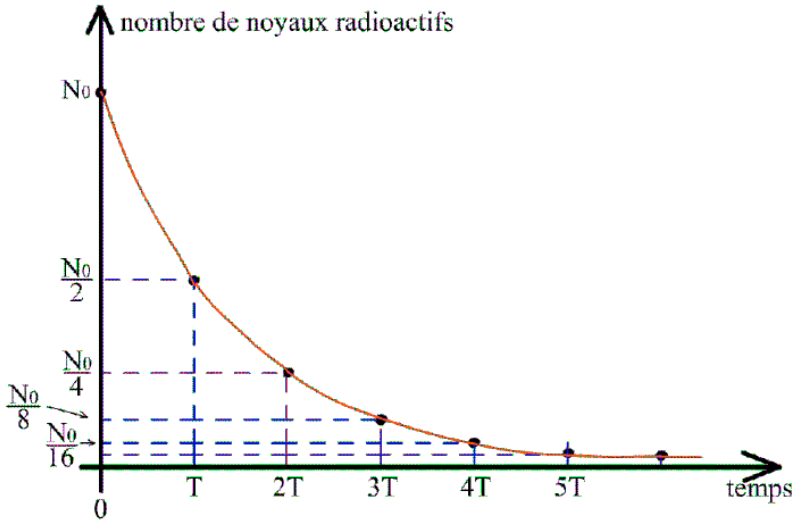


Figure III.1. La courbe de décroissance radioactive.

b. Activité radioactive

C'est le nombre moyen de désintégrations par unité du temps. Il suffit de dériver l'expression de N_t et d'en prendre l'opposé (afin de garder une quantité positive). On note A_0 l'activité de la source à un instant initial $à\ t = 0\ \ on\ a$: $A_0 = \lambda.N_0$

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda.N \qquad (5)$$

Elle peut s'exprimer en : ***d.p.s***, en ***d.p.m*** ou en ***curie*** ($(1\ curie = 3{,}7.10^{10}\ \ dps)$

Cette valeur numérique fut choisie de façon que 1 gramme de radium $\left({}^{226}Ra\right)$ ait une activité très proche de 1 curie.

Remarque

Par définition, le curie est le nombre de désintégration par seconde et par gramme de Radium$\left({}^{226}Ra\right)$. On sait que la période de désintégration de $\left({}^{226}Ra\right)$ est de $T = 1590\ ans$.

$$A = \lambda . N$$

Calcul de la constante radioactive :

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0{,}69}{1560.365.24.3600}\ 1{,}39.10^{-11}\ s^{-1}$$

Calcul de nombre de noyaux :

$$226\ g\ de\ {}^{226}Ra \longrightarrow 6{,}023.10^{23} atomes$$
$$1\ g\ de\ {}^{226}Ra \longrightarrow N \quad Atomes$$
$$N = \frac{6{,}023.10^{23}}{226} = 2{,}66.10^{21}\ atomes\ dans\ 1\ g\ de\ \left({}^{226}Ra\right)$$

$$\boldsymbol{A = 2{,}66.10^{21}.1{,}39.10^{-11}\ atomes/_{secondes}\ (dps) = 3{,}7.10^{10}\ dps\ = 1\ curie}$$

Remarque :

1. **Cas : $\boldsymbol{A \longrightarrow B}$ $\boldsymbol{(B\ n'est\ pas\ radioactif)}$**

Au moment d'équilibre, il se forme par unité de temps autant d'atomes de B qu'ils en disparaissent de A. d'où :

$A_A = A_B \quad \Rightarrow \quad \lambda_A . N_A = \lambda_B . N_B$

2. **Cas : $\boldsymbol{A \longrightarrow B^* \longrightarrow C}$ $\boldsymbol{(C\ est\ stable)}$; $\boldsymbol{(B\ est\ radioactif)}$**

Pour A: $N_A = N_{A0}.e^{-\lambda_A.t}$

Pour B : $\frac{dN_B}{dt}$ s'écrit : $\frac{dN_B}{dt} = \lambda_A . N_A - \lambda_B . N_B$

Soit :

$$\frac{dN_B}{dt} + \lambda_B . N_B = \lambda_A . N_{A0} e^{-\lambda_A . t}$$

C'est une différentielle de 1er ordre avec un second membre qui conduit au nombre de noyaux de (B) présent à l'instant (t) :

$$N_B = N_{A0} . \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} . \left(e^{\lambda_A . t} - e^{\lambda_B . t}\right)$$

IV. APPLICATIONS DE LA RADIOACTIVITE :

1) INDUSTRIE

La gammagraphie ne diffère en rien, dans son principe, de la radiographie par rayon X : l'image (recueillie sur une plaque photographique) d'une pièce métallique soumise à un rayonnement γ révèle et décèle les défauts d'un organe. Toutes les soudures des cuves des réacteurs nucléaires sont contrôlées à l'aide de ce procédé. Ses avantages principaux sont la faillibilité et l'autonomie de la source (^{60}Co, ^{192}Ir), de dimensions réduites.

La bêtagraphie (utilisation du rayonnement β) permet l'examen d'objets minces, le contrôle d'épaisseurs, etc.

2) MEDECINE ET BIOLOGIE

a- Traitement des tumeurs par irradiation: Le rayonnement γ émis par un corps (le cobalt 60, par exemple) permet de détruire les cellules localisées dans la tumeur cancéreuse.

b- Traitement d'une tumeur par voie métabolique. On prépare des molécules marquées par un émetteur β et susceptible d'être fixées sélectivement par les tissus pathologiques. On traite de cette façon l'hyperthyroïdie, le cancer du corps thyroïde et de la maladie de Vaquez (ou polyglobulie), au moyen du phosphore radioactif.

c- ***Scintigraphie***. Les radionucléides sont utilisés comme traceurs. Ils participent au métabolisme de la même façon que les éléments naturels auxquels ils sont mélangés. Par exemple, l'iode 131 va être absorbé au même titre que l'iode naturel. On pourra donc suivre le cheminement de l'iode au cours de son assimilation et contrôler le fonctionnement de la glande thyroïde qui synthétise et sécrète les hormones iodées responsable de nombreuses actions au niveau des cellules. On peut également étudier la morphologie d'un organe rendu radioactif par fixation d'un radioélément émetteur γ ou β. Grâce à divers détecteurs, on obtient une véritable image de l'organe. La chirurgie du cerveau utilise merveilleusement ces méthodes : le phosphore radioactif se localise dans les tumeurs difficiles à distinguer du tissu sain ; le chirurgien peut alors cerner au cours de l'opération même, à l'aide de compteurs Geiger spéciaux sensibles à l'émission β.

d- L'analyse chimique utilise couramment les radioéléments. Le dosage fondé sur la radioactivité est sensible, simple et rapide. On peut ainsi doser des éléments à l'état de traces (10^{-10} mol-1), non dosables chimiquement : hormones de croissance, insuline dans le sang, etc.

e- ***Radiostérilisation.*** Des milliers d'articles (seringues, pansements, draps, prothèses, …) sont stérilisés à l'aide de rayon γ, qui tuent les microorganismes.

3) AGRONOMIE ET AGROALIMENTAIRE

a- Modification génétique. Une irradiation de végétaux peut provoquer des changements génétiques importants. On a ainsi obtenu des pailles de blé, d'orge et de riz mieux adaptées à la moisson mécanique et plus résistantes à la verse.

b- Conservation des denrées. Une irradiation γ permet de détruire les insectes dans les denrées stockées et les microorganismes dans les œufs, la viande, etc. c'est aussi un traitement anti-germinatif puissant (pommes de terre).

c- L'utilisation de traceurs a permis de faire progresser les connaissances en matière d'absorption ou de transport de minéraux. Par exemple, des atomes de phosphore radioactif incorporés dans un engrais se comporteront dans une plante de la même façon que les atomes stables de phosphore. L'agronome pourra ainsi suivre à la trace l'assimilation de l'engrais par la plante et en déduire son efficacité, la date la plus favorable pour le répandre sur le sol, etc.

4) DATATION D'ECHANTILLONS ANCIENS

Le ^{14}C radioactif est produit de manière continue dans l'atmosphère par l'action des neutrons des rayons cosmique sur l'azote ^{14}N de l'atmosphère suivant la réaction :

$$^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{1}_{1}H$$

Cet isotope s'incorpore dans les molécules CO_2 puis dans les tissus des plantes par photosynthèse. La concentration dans les plantes vivantes (et dans les animaux qui les mangent) est maintenue constante de par l'équilibre avec l'atmosphère ; le nombre de désintégration par unité du temps et de masse est également constante pour tous les organismes vivants (15,3 dpm/gr). Quand la plante meurt, la concentration en ^{14}C décroit à cause de la désintégration selon la réaction suivante :

$$^{14}_{6}C \longrightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e + \gamma$$

Exemple

La période de ^{14}C est de T = 5568 ans et qu'un échantillon de charbon de bois fraichement préparé donne une activité de $A_0 = 15{,}3\frac{dpm}{gr}$. Quel est l'âge d'un échantillon de bois trouvé dans une grotte préhistorique dont un échantillon de même masse que le précédent donne une activité $A_t = 9{,}6\ dpm/gr$.

Solution :

$A_0 = \lambda . N_0$ et $A_t = \lambda . N_t$

$$N_t = N_0 e^{-\lambda . t} \Rightarrow \ln\frac{N_t}{N_0} = \ln e^{-\lambda . t} \Rightarrow ln\frac{A_t/\lambda}{A_0/\lambda} = -\lambda . t$$

$$ln\frac{A_0}{A_t} = \frac{ln2}{T} . t \Rightarrow t = \frac{T}{\ln 2} . ln\frac{A_0}{A_t}$$

$$\boldsymbol{AN:\ t = 3695\ ann\acute{e}es^{-1}}$$

VI. DANGERS DE RADIONUCLEIDES

ABSORPTION DES PARTICULES ET DU RAYONNEMENT

Ejectés du noyau qui se désintègre, les particules et les photons, dont l'énergie est de l'ordre du MeV, peuvent traverser la matière inerte ou vivante. Ces projectiles entrent en collision avec les atomes ou les molécules qui constituent la matière traversée.

Au cours du choc, la perte d'énergie cinétique provoque des ionisations ou même des réactions nucléaires. On peut définir le parcourt moyen d'un ensemble de particules dans une substance donnée comme la distance moyenne parcourue par ces particules avant d'être arrêtées. Ce parcours moyen dépend de la nature des particules, de leur énergie cinétique initiale et de la substance traversée.

A- Les particules a sont facilement arrêtées. On admet qu'une feuille de papier suffit à l'arrêter.

B- Légères, les particules β peuvent subir de nombreuses collisions successives avant d'être arrêtées; celles ci sont plus pénétrantes que les particules a, mais moins ionisantes. Leur parcours moyen est inversement proportionnel à la masse volumique de la substance traversée. Une feuille d'aluminium de 5 mm d'épaisseur permet d'arrêter les particules b, dont l'énergie cinétique est inférieure à 2 MeV.

C- Les rayons g sont très pénétrants. Plutôt qu'un parcours moyen, on détermine, pour un matériau donné, l'épaisseur de demi-absorption, c'est-à-dire l'épaisseur qui absorbe, en moyenne, la moitié des photons incidents. En TP nous avons vu que des rayons g peuvent traverser une épaisseur de 20 mm de plomb (et il en existe beaucoup plus énergétiques…)

D- Les neutrons sont très pénétrants. Ils interagissent plus ou moins avec les noyaux selon la substance traversée, provoquant d'autres réactions nucléaires et par des chocs avec des noyaux légers (noyaux d'Hydrogène, par exemple) que par des chocs avec des noyaux lourds. Ils ont en effet l'avantage d'être neutre, et donc de ne pas subir la répulsion du noyau lors de leur approche.

1) EFFETS BIOLOGIQUES

En traversant la matière vivante, les particules a et b et les rayonnements g provoquent des ionisations ou des excitations, d'atomes, susceptibles d'entraîner des réactions chimiques anormales.

réactions secondaires peuvent apparaître; des macromolécules fondamentales au niveau cellulaire (ARN, ADN) sont touchés. Des altérations morphologiques sont observées, notamment des effets génétiques; des cellules sont détruites ou leur processus de division altéré.

Lors de retombées radioactives, les nucléides sont absorbés par les plantes et se retrouvent ainsi dans la chaîne alimentaire. Les aliments ingérés véhiculent des radionucléides émetteurs a, b ou g, qui peuvent alors atteindre n'importe quelle cellule de l'organisme. C'est la raison du grand émoi suscité par la catastrophe de Tchernobyl du 25 avril 1986, où des quantités importantes d'isotopes radioactifs (iodes, cobalt, césium, …) furent émises puis véhiculées par les vents sur une grande partie de l'Europe occidentale.

EXERCICES

Exercice *1 :*

Le carbone 14 (^{14}C) est un isotope radioactif de période T = 5700 ans qui se désintègre par émission β^-. Dans l'atmosphère, le ^{14}C est continuellement en formation par l'action du rayonnement cosmique et la proportion $^{14}C/^{12}C$ est sensiblement constante, de telle sorte que la radioactvité d'un gramme de carbone est d'environ 13,9 désintégrations par minute (834 Bq). Le ^{14}C est assimilé par les organismes vivants. Après leur mort, le rapport $^{14}C/^{12}C$ décroit. La mesure de la quantité de ^{14}C résiduelle permet donc la datation de la matière organique.

Un échantillon de sarcophage égyptien a une radioactivité β^- égale à 9,1 désintégrations par minute et par gramme de carbone. Déterminer l'âge approximatif du sarcophage.

Exercice 2 :

Au cours d'une fouille archéologique, des restes d'objets en bois ont été découverts. L'analyse a montré qu'il contenait 8 fois moins de ^{14}C que le bois actuel. Quel est l'âge approximatif des restes archéologiques, sachant que la période du ^{14}C est de 5700 ans ?

Exercice 3:

Le phosphore 32 ($^{32}_{15}P$) est un isotope radioactif émetteur β^- (periode = 14 jours), utilisé en thérapeutique chez l'homme pour le traitement de certaines polyglobulités.

La dose thérapeutique est de 4 MBq/Kg ($\mp$ 10%). Une gélule de ($^{32}_{15}P$) ontient une activité de 0,4 GBq au jour 0 (J_0) qu'il est prévu d'administrer à un patient de 90 Kg ce jour J_0.

Le patient ne s'étant pas pr´senté à son rendez-vous, est –il possible d'utiliser cette gélule une semaine plus tard (J_7) pour traiter une patiente de 40 Kg.

Exercice 4 :

1. Il existe trois types de désintégrations radioactives : α, β^-, β^+. Quelle est la nature des particules émises dans chacune de ces désintégrations ?
2. Le potassium $^{40}_{19}K$ est radioactif et se désintègre en donnant de l'argon $^{40}_{18}Ar$. Ecrire l'équation de la désintégration en rappelant les règles utilisées.
   -Définir la demi-vie notée $t_{½}$.
   - La demi vie du potassium $^{40}_{19}K$ est $1,3\ 10^9$ ans. En déduire la valeur de sa constante radioactive λ.
   Dans certaines roches volcaniques, on décèle la présence de potassium $^{40}_{19}K$ radioactif. Lors d'une éruption volcanique, tout l'argon s'évapore sous l'effet des conditions de température et de pression : on dit que la lave se dégaze. A cette date, considérée comme instant initial t=0, la lave volcanique se solidifie et ne contient pas d'argon. Plus tard, à l'instant t, on effectue un prélèvement de roche sur le site volcanique ancien. Un spectrographe détermine la composition massique de ce prélèvement, qui contient, entre autre : m_K= 1,57 mg de $^{40}_{19}K$ et m_{Ar}= 82,0 µg de $^{40}_{18}Ar$

3. Déterminer le nombre d'atomes de potassium 40 (N_K) et le nombre d'atomes d'argon 40 (N_{Ar}) à la date t.

4. On note N_0 le nombre d'atomes de potassium 40 contenus à la date t=0 dans la roche prélevée à la date t. Justifier la realtion $N_0 = N_K + N_{Ar}$.
5. Exprimer le nombre d'atome $N_K(t)$ de potassium 40 en fonction de t, N_0, λ.
6. Déterminer la date approximative de l'éruption. M(K) voisin M(Ar) = 40,0 g/mol ; $N_A = 6{,}02\ 10^{23}\ mol^{-1}$.

Exercice 5 :

I. La période de désintégration β de l'élément ${}^{14}_{6}C$ est $5{,}7 .10^3$ ans.

1.1. Ecrivez la réaction de désintégration ${}^{0}_{-}\beta$.
1.2. Calculez sa constante radioactive.
1.3. Calculez le temps au bout duquel 90% de l'élément se sont désintégrés.
1.4. complétez les réactions radioactives suivantes :

${}^{14}_{7}N + ... \longrightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}H$

${}^{9}_{4}Be + {}^{4}_{2}He \longrightarrow ..... + {}^{1}_{0}n$

${}^{27}_{13}Al + {}^{4}_{2}He \longrightarrow {}^{30}_{15}P + ...$

II. Soient les nucléides suivants : ${}^{20}_{9}F$; ${}^{3}_{1}H$; ${}^{235}_{92}U$

1. quelle est la constitution du noyau ?
2. quel est le défaut de masse correspondant ? en déduire l'énergie de liaison par nucléon
3. comparer les stabilités.

Données :

m_p = 1,00758 uma ; masse du noyau : ^{20}F= 20,00165 uma ; m_n= 1,OO897 uma ;masse du noyau : ^{3}H = 3,0165 uma. masse du noyau : ^{235}U= 235,12 uma.

Exercice 6 :

Des sels contenant du phosphore radioactifs $({}^{32}_{15}P)$ ont une activité de 5 µCi au temps t. cette activité devient égale à 3,08 µCi dix jours plus tard.

1. Déterminer la constante radioactive et la période du phosphore radioactif.
2. t= 30 jours, déterminer l'activité initiale
3. en admettant qu'il s'agit des sels de phosphate de calcium $(Ca_3(PO_4)_2)$, calculer la masse qui correspond à la radioactivité initiale.

Données : $N = 6{,}023.10^{23}$, $1\ Ci = 3{,}7\ .10^{10}\ d.p.s$

Exercice 7 :

I. La période de désintégration β de l'élément ${}^{14}_{6}C$ est $5{,}7 .10^3$ ans.

1.5. Ecrivez la réaction de désintégration ${}^{0}_{-}\beta$.
1.6. Calculez sa constante radioactive.
1.7. Calculez le temps au bout duquel 90% de l'élément se sont désintégrés.
1.8. complétez les réactions radioactives suivantes :

${}^{14}_{7}N + ... \longrightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}H$

$^{9}_{4}Be + {}^{4}_{2}He \longrightarrow ..... + {}^{1}_{0}n$

$^{27}_{13}Al + {}^{4}_{2}He \longrightarrow {}^{30}_{15}P + ...$

II. Soient les nucléides suivants : $^{20}_{9}F$; $^{3}_{1}H$; $^{235}_{92}U$

4. quelle est la constitution du noyau ?
5. quel est le défaut de masse correspondant ? en déduire l'énergie de liaison par nucléon
6. comparer les stabilités.

Données :

m_p = 1,00758 uma ; masse du noyau : ^{20}F= 20,00165 uma ; m_n= 1,OO897 uma ; masse du noyau : ^{3}H = 3,0165 uma ;masse du noyau : ^{235}U= 235,12 uma.

Exercice 8 :

Les masses du proton, du neutron et de l'électron sont respectivement de $1{,}6723842.10^{-24}$g, $1{,}6746887.10^{-24}$g et $9{,}109534.10^{-28}$g.

1. Définir l'unité de masse atomique (u.m.a). Donner sa valeur en g avec les mêmes chiffres significatifs que les masses des particules du même ordre de grandeur.

2. Calculer en u.m.a. et à 10^{-4} près, les masses du proton, du neutron et de l'électron.

3. Calculer d'après la relation d'Einstein (équivalence masse-énergie), le contenu énergétique d'une u.m.a exprimé en MeV. (1eV=1,6.10-19 Joules)

Exercice 9

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

1. On peut porter des indications chiffrées dans les trois positions A, Z et q au symbole X d'un élément. Que signifie précisément chacune d'elle ?

2. Quel est le nombre de protons, de neutrons et d'électrons présents dans chacun des atomes ou ions suivants : $^{19}_{9}F$; $^{24}_{12}Mg^{2+}$; $^{79}_{34}Se^{2-}$

3. Quatre nucléides A, B, C et D ont des noyaux constitués comme indiquée ci-dessous :

	A	B	C	D
Nombre de protons	21	22	22	20
Nombre de neutrons	26	25	27	27
Nombre de masses	47	47	49	47

Y a t-il des isotopes parmi ces quatre nucléides ?

Exercice 9

1. Le noyau de l'atome d'azote N (Z=7) est formé de 7 neutrons et 7 protons. Calculer en u.m.a la masse théorique de ce noyau. La comparer à sa valeur réelle de 14,007515u.m.a. Calculer l'énergie de cohésion de ce noyau en J et en MeV.

Données:

$mp = 1{,}007277\,u.m.a.$; $m_n = 1{,}008665\,u.m.a.$; $me = 9{,}109534\,10^{-31}kg$;

$N = 6{,}023.10^{23}$; $R_H = 1{,}097.10^{7}\,m^{-1}$; $h = 6.62\,.10^{-34}\,J.s$; $c = 3.10^{8}\,m/s$

2. Calculer la masse atomique de l'azote naturel sachant que :

^{14}N a une masse de 14,007515u.m.a et une abondance isotopique de 99,635%
^{15}N a une masse de 15,004863u.m.a et une abondance isotopique de 0,365%

Exercice 10 :

Considérons l'élément phosphore P (Z=15) (iso-topiquement pur, nucléide $^{31}_{15}P$):
1. Déterminer, en u.m.a et avec la même précision que l'exercice précédant, la masse du noyau, puis celle de l'atome de phosphore.
2. Est-il raisonnable de considérer que la masse de l'atome est localisée dans le noyau ?
3. Calculer la masse atomique molaire de cet élément.
4. La valeur réelle est de 30,9738 g. mol-1. Que peut-on en conclure ?

Exercice 11 :

I. Mesure du volume sanguin d'un animal

On injecte 1 cm^3 d'une solution radioactive de tritium qui donne $2.10^6\ dps$ dans la circulation sanguine d'un animal. Au bout d'un temps suffisant pour que le tritium ait diffusé dans tout l'appareil sanguin est de $1{,}5.10^4\ dps$. Quel est, en cm^3, le volume sanguin total de cet animal (la période radioactive du tritium est voisine de 12 ans).

II. ***Etude de la circulation dans un organe***

On injecte un traceur radioactif dans l'organe étudié et on détermine la radioactivité de cet organe en fonction du temps. Dans l'expérience relatée ci-dessous, on a injecté 2 cm^3 d'une solution de Krypton radioactif $\left(^{85}kr\right)$, dont la période est de 10,3 années, dans un avant bras et on mesure la radioactivité pendant 30 minutes.

Dans le tableau ci-dessous, (t) est le temps en minute et (N) est le nombre de coups par minute donné par un compteur :

t	0	5	10	15	20	25	30
N	$3{,}89.10^3$	$3{,}22.10^3$	$2{,}77.10^3$	$2{,}33.10^3$	$1{,}94.10^3$	$1{,}66.10^3$	$1{,}39.10^3$
Ln N							

Tracer :

a. La courbe N = f(t)
b. La courbe ln N = f(t). Quelle conclusion tirez-vous de ces courbes ? au bout de combien du temps la radioactivité du bras tombe – t- elle à la moitié de sa valeur initiale ?

Exercice 12

La scintigraphie est une technique d'investigation médicale qui permet l'observation de la glande thyroïde. Un patient ingère pour cette observation une masse m=1,31ng de l'isotope $(^{131}_{53}I)$ de l'iode qui est radioactif de type (β^-) $\left(t_{1/2} = 8{,}1\ jours = 7.10^5\ s\right)$.
1. Ecrire l'équation de la réaction de désintégration en justifiant.
2. Déterminer le nombre d'atomes radioactifs dans la dose ingérée.

3. On note (N_0) le nombre de noyaux radioactifs à la date t=0. On note (N) le nombre de noyaux radioactifs à la date t. Etablir la relation entre la constante radioactive λ et le temps de demi-vie $(t_{1/2})$, en précisant la signification de la demi-vie.
4. Définir l'activité d'un échantillon radioactif et établir la relation entre l'activité et N.
5. Calculer l'activité initiale de la dose ingérée.
6. Calculer le temps au bout duquel l'activité résiduelle est égale à 1,5 % de l'activité initiale.
Données : M (iode 131) = 131 g/mol ; N_A = 6.1023 mol^{-1} ; $_{51}$Sb ; $_{52}$Te ; $_{54}$Xe ; $_{55}$Cs ; $_{56}$Ba.
Aide aux calculs : (ln2)/7 = 0,1 ; ln 0,015 = - 4,2 ; 4,2 / ln2 = 6

Exercice 13
La glande thyroïde produit des hormones essentielles à différentes fonctions de l'organisme à partir de l'iode alimentaire. Pour vérifier la forme ou le fonctionnement de cette glande, on procède à une scintigraphie thyroïdienne en utilisant les isotopes $(^{131}_{53}I)$ ou $(^{123}_{53}I)$de l'iode. L'iode 131 (Z = 53) est émetteur (β^-) et sa demi-vie $t_{1/2}$vaut 8,1 $jours$. Le 25 août 2007, un centre hospitalier reçoit un colis d'iode radioactif d'activité A = 2,6.109 Bq
1. Ecrire l'équation de la désintégration
2. Quels sont les rayonnements émis par l'iode radioactif dans le corps humain ?
3. Tracer la courbe représentative de l'activité A(t) pour 0 < t < 60 jours après la réception
4. Calculer la masse d'iode radioactif contenu dans le colis à la date du 25 août 2007
5. En utilisant la courbe tracée précédemment, déterminer l'activité du colis d'iode non encore utilisé 30 jours après réception ; retrouver la valeur exacte par le calcul.
6. Lors d'un examen médical, on injecte à un patient une quantité d'iode radioactif d'activité voisine de 4.106 Bq. Combien d'injections peut-on réaliser à partir de l'échantillon non encore utilisé, le 25 septembre 2007 ?
7. Quelle activité, due à l'iode 131, reste-t-il dans le corps du patient un an après l'injection ? que peut-on conclure du résultat observé ?
8. La conclusion de la question précédente serait-elle identique si le traceur utilisé avait une demi-vie égale à 90 jours ?
Données : masse molaire atomique M_I de l'iode : M_I = 131 g/mol ; N_A = 6,02.$10^{23}$$mol^{-1}$;:
Tellure ($_{52}$Te) ; Iode ($_{53}$I) ; Xénon ($_{54}$Xe) ; Césium ($_{55}$Cs)

Exercice 14 :
L'isotope le plus abondant du fer correspond au nucléide $^{56}_{28}Fe$. La masse d'un noyau vaut 55,9207 u.
1. Calculer le défaut de masse en u.m.a puis en kilogrammes du noyau de fer
2. Calculer l'énergie de liaison du noyau de fer $^{56}_{28}Fe$, en J puis en MeV
3. Calculer l'énergie de liaison par nucléon du noyau de fer $^{56}_{28}Fe$
4. Reprendre les questions précédentes avec le noyau d' $^{235}_{92}U$ m ($^{235}_{92}U$)= 234,9935 uma
5. Comparer alors la stabilité du $^{56}_{28}Fe$ et de l'$^{235}_{92}U$

Exercice 15
1. Dans une centrale nucléaire le combustible utilisé est de l'uranium enrichi en $^{235}_{92}U$. Un noyau $^{235}_{92}U$ peut absorber un neutron.
Parmi les réactions nucléaires qui peuvent se produire on observe la réaction d'équation :

$$^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{139}_{x}Xe + {}^{94}_{38}Sr + y\,{}^{1}_{0}n$$

a) Préciser s'il s'agit d'une réaction de fission ou de fusion.

b) Compléter l'équation en calculant x et y.

c) Calculer en MeV, l'énergie libérée par cette réaction.

d) Sous quelle forme peut se retrouver l'énergie ainsi libérée ?

2. Une tranche de la centrale fournit une puissance électrique de 900 MW.

On considère que 33 % de l'énergie libérée par les réactions nucléaires est transformée en énergie électrique.

a) Calculer en MeV l'énergie libérée par les réactions nucléaires en une journée.

b) En supposant qu'en moyenne chaque noyau d'uranium libère une énergie de 200 MeV, calculer le nombre de réactions qui ont lieu chaque jour.

c) En déduire la masse journalière d'uranium 235 consommée dans cette tranche de la centrale.

$$Données : m(^{235}_{92}U) = 3{,}902.10^{-25}\ kg;\ m(^{139}_{x}Xe) = 2{,}3062.10^{-25}\ kg;\ m(^{94}_{38}Sr) = 1{,}559.10^{-25}\ kg;\ m(^{1}_{0}n) = 1{,}675.10^{-27}\ kg$$

Exercice 16 :

Dans un réacteur nucléaire les noyaux d'uranium 235 subissent la fission sous le choc d'un neutron lent. On considérera la réaction suivante :

$$^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{139}_{x}Xe + {}^{94}_{38}Sr + y\,{}^{1}_{0}n$$

Données :

$$m_n = 1.00866\ uma; m(^{235}_{92}U) = 234{,}99332\ uma;\ m(^{94}_{x}Sr) = 93{,}89446\ uma;\ m(^{140}_{54}Xe) = 139{,}89194\ uma; 1\ uma = 1{,}66054.10^{-27}\ kg; c = 3.10^{8}\frac{m}{s}; 1\ eV = 1.6022.10^{-19} J; N_A = 6{,}022.10^{23}\ mol^{-1}.$$

Pouvoir calorifique du pétrole . $P = 43\frac{MJ}{Kg}; masse\ molaire\ de\ l'uranium\ M = 235\ g/mol$

Un réacteur nucléaire fournit une puissance électrique moyenne de 950 MW. On suppose que cette puissance électrique fournie par le réacteur est constante dans le temps. Le rendement de la transformation énergie nucléaire en énergie électrique est de 35 %.

a) Après avoir équilibré l'équation bilan précédente, donner les valeurs de x et de y.

b) Calculer l'énergie libérée par la fission d'un noyau d'uranium 235 suivant la réaction proposée.

c) On admettra que toutes les réactions de fission produisent la même énergie que la précédente ; déterminer la masse (en kg) d'uranium 235 consommée par le réacteur en une journée.

d) Déterminer la masse de pétrole (en tonnes) qu'il faudrait brûler pour produire la même énergie qu'un kg d'uranium.

e) Calculer la durée Dt (en heures et en minutes) nécessaire pour consommer un kilogramme d'uranium 235 dans ce réacteur.