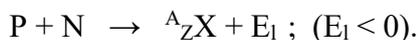


CHAPITRE III

I. STABILITE DES NOYAUX

I. ENERGIE DE LIAISON ET DE COHESION DES NOYAUX :

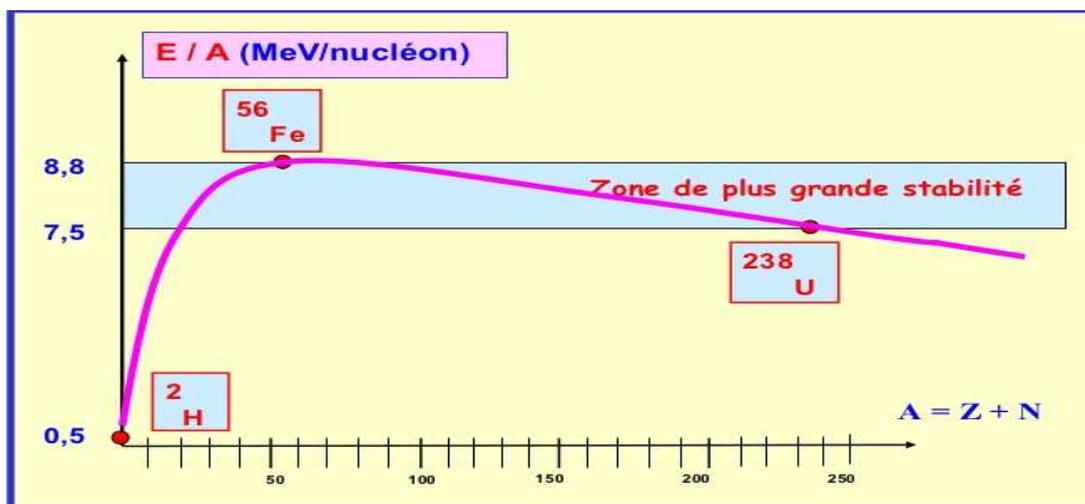
II.1. Energie de liaison (E_l) : Energie nécessaire à la formation d'un noyau quelconque à partir de ces nucléons (Protons (P) + Neutrons (N)). La formation du noyau est décrite par la réaction suivante :



La formation d'un noyau nécessite, en général, une énergie négative.

II.2. Energie de cohésion (E_{co}): Energie nécessaire à la destruction d'un noyau en ces constituants (N+P) selon la réaction : ${}^A_ZX + E_{co} \rightarrow P + N$, cette énergie est positive et on peut écrire : $E_{co} = -E_l$.

II.2.1. Energie de cohésion par nucléon : Si nous divisons l'énergie de cohésion d'un noyau par le nombre de nucléons ($A=N+P$), nous obtenons l'énergie de cohésion par nucléon. En générale l'énergie de cohésion par nucléon est inférieure à 8.8MeV quel que soit l'élément considéré. On peut porter sur un diagramme appelé **courbe d'Aston** la représentation graphique de cette énergie moyenne de cohésion en fonction du nombre de nucléons A.



Courbe d'Aston

Cette énergie de cohésion est de l'ordre du MeV/nucléon ($1\text{MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$). La courbe obtenue présente un maximum vers $A = 60$, les atomes correspondant étant les atomes les plus stables qui existent. La pente de la courbe d'Aston est très importante pour la zone des atomes "légers" de $A < 15$. Du côté des atomes "lourds" de $Z > 15$ cette pente est beaucoup plus douce. Les atomes légers et lourds (dont l'énergie de liaison moyenne est faible ($E / A < 7,5 \text{ MeV / nucléon}$), vont chercher à se stabiliser et à se rapprocher de la zone de stabilité maximale vers $Z = 60$. Deux processus différents sont possibles : La fusion pour les atomes légers et la fission (Désintégration) pour les atomes lourds.

II. Calcul de l'énergie de liaison E_l ou de cohésion E_{co} des noyaux : Théorie de la relativité (Equation d'EINSTEIN) :

Les notions de masse et d'énergie reste toujours en adéquation : disparition de masse => ajout d'énergie ou disparition d'énergie. D'où : $E = m \cdot C^2$; (C : célérité ou la vitesse de la lumière ; $C = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$).

Remarque : La masse du noyau est toujours inférieure à la somme des masses de ces constituants, Il y a une perte de masse Δm qui se transforme en énergie avec : $\Delta E = \Delta m \cdot C^2$;

Δm = disparition de masse = défaut de masse.

D'après la réaction de la formation d'un noyau : $Z + N \rightarrow {}^A_ZX + \Delta E_l$;

$\Delta m = [\text{masse noyau } ({}^A_ZX) - (Z \cdot \text{masse proton} + N \cdot \text{masse neutron})] < 0$; Lorsque l'on crée un noyau, Δm est négative, alors on parle de l'énergie de liaison ($\Delta E_l < 0$).

Lorsque l'on décompose (détruit) le noyau en ces nucléons : ${}^A_ZX + \Delta E_{co} \rightarrow Z + N$

$\Delta m = [(Z \cdot \text{masse proton} + N \cdot \text{masse neutron}) - \text{masse noyau } ({}^A_ZX)] > 0$, Δm est positive, On parle alors de l'énergie de cohésion ($\Delta E_{co} < 0$).

➤ **Plus l'énergie de cohésion par nucléon (ou liaison par nucléon) est grande, plus le noyau est stable.**

Donc pour comparer la stabilité de deux noyaux, il faut comparer l'énergie de cohésion par nucléon (ou liaison par nucléon) des deux noyaux, le plus stable aura donc la plus grande énergie de cohésion par nucléon (ou liaison par nucléon).

II.1. Définition de l'électron volt : L'électron volt (eV) est l'énergie acquise par un électron accéléré par une différence de potentiel (d.d.p) de 1 volt.

D'où : **$1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Coulomb (c)} \cdot 1 \text{ Volt (V)} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ joule (J)}$.**

II.2. Energie d'un u.m.a (1 u.m.a)

$\Delta E = \Delta m \cdot C^2$, $\Delta m = 1 \text{ u.m.a} = 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \Rightarrow \Delta E = 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \text{ (m/s)}^2 \Rightarrow$

$\Delta E = 14.94 \cdot 10^{-11} \text{ J}$.

$1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \Rightarrow \Delta E = (14.94 \cdot 10^{-11}) / (1.6 \cdot 10^{-19}) = 933 \cdot 10^6 \text{ eV} \Rightarrow \Delta E = 933 \text{ MeV}$,

D'où : **1 u.m.a représente 933 MeV .**

Exercice :

- 1- Déterminer le nombre de protons, neutrons et d'électrons du noyau de deutérium.
- 2- Déterminer l'énergie de cohésion du noyau de deutérium par MeV/noyau, par MeV/mole d'atome et par MeV/nucléon.

On donne : $m_n=1.008665$ u.m.a, $m_p=1.007277$ u.m.a et $m_{\text{noyau}}= 2.014102$ u.m.a

Solution :

1- Deutérium (${}^2_1\text{H}$: $Z=P=1$, $A=2 \Rightarrow N=A-Z = 2-1 =1$).

2- $\Delta E_{\text{co}} = \Delta m * C^2$; ${}^2_1\text{H} + \Delta E_{\text{co}} \rightarrow 1\text{P} + 1\text{N}$

$$\Delta m = (Z * m_{\text{proton}} + N * m_{\text{neutron}}) - m_{\text{noyau}} \Rightarrow \Delta E_{\text{co}} = [(Z * m_{\text{proton}} + N * m_{\text{neutron}}) - m_{\text{noyau}}] * C^2$$

• Par (MeV/atome (noyau))

$$\Delta E_{\text{co}} = [(1.007277 + 1.008665) - 2.014102] * 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} * 9 \cdot 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2 = 2.75 \cdot 10^{-13} \text{ J/noyau} = (2.75 \cdot 10^{-13}) / (1.6 \cdot 10^{-19}) = 1.72 \cdot 10^6 \text{ eV} = 1.72 \text{ MeV/noyau.}$$

• Par (MeV/mole d'atome)

$$\Delta E_{\text{co}} = 1.72 \text{ MeV/noyau} * 6,023 \cdot 10^{23} \text{ noyaux (1 mole = } 6,023 \cdot 10^{23} \text{ noyaux (atomes))} \\ = 10.35 \cdot 10^{23} \text{ MeV/mole d'atome.}$$

Vérification :

1 atome (noyau) \longrightarrow 1.72 MeV

6.023 10²³ atomes \longrightarrow ΔE_{co}

et donc $E_{\text{co}}/\text{mole d'atome} = 1.72 * 6,023 \cdot 10^{23} = 10.35 \cdot 10^{23} \text{ MeV/mole d'atome}$

• Par (MeV/nucléon)

$$\Delta E_{\text{co}}/\text{nucléon} = \Delta E_{\text{co}} / A = 1,72 \text{ MeV}/2 = 0,86 \text{ MeV/nucléon}$$

III. STABILITE DU NOYAU :

L'atome est constitué principalement, d'après Rutherford, de vide et toute sa masse est concentrée dans un volume infiniment petit « noyau ».

On peut expliquer simplement ce fait en considérant que les protons chargés positivement se repoussent, l'ajout de neutrons stabilise les nucléides par un effet de "**dilution**" des charges positives qui en étant plus éloignées les unes des autres auront tendance à moins se repousser. Notons que le fait que les noyaux des atomes soient stables implique obligatoirement l'existence de forces d'intensité plus grandes que celle de la force électrostatique de Coulomb qui, si elle était seule, détruirait le noyau. Le rapport entre le nombre de proton et le nombre de neutron est le facteur principal qui va fixer la stabilité ou l'instabilité d'un nucléide donné.

II. RADIOACTIVITE – REACTIONS NUCLEAIRES

II.1. RADIOACTIVITE :

La radioactivité a été découverte par Becquerel en 1886. Il découvrit que le sulfate d'uranyle et de potassium $K_2UO_2(SO_4)_2$ émettait un rayonnement capable d'impressionner une plaque photographique.

Les noyaux de certains atomes sont susceptibles d'être le siège de transformations, appelées transmutations qui peuvent être spontanées (naturelles) ou provoquées (réactions nucléaires).

Parmi la centaine d'éléments connus, seul les 83 premiers (à l'exception du Technétium ($Z=43$) et du Prométhium ($Z=61$)) possèdent au moins un isotope stable.

A partir du Polonium ($Z=84$) il n'existe plus de nucléides stables, ils sont tous radioactifs.

Pour les premiers éléments de $Z < 30$ on constate que les isotopes stables contiennent un nombre de neutrons sensiblement égal à celui des protons. $Z = N$.

Au-delà de $Z = 30$ les isotopes stables contiennent un nombre de neutrons plus élevé que celui des protons : $N > Z$.

Plus le nombre de protons augmente et plus le nombre de neutrons devra augmenter pour que le nucléide soit stable.

Le rapport entre le nombre de proton et le nombre de neutron est le facteur principal qui va fixer la stabilité ou l'instabilité d'un nucléide donné.

Donc, dans la nature il existe des noyaux stables et d'autre instables et donc radioactifs.

La radioactivité est définie comme étant la propriété qu'ont certains noyaux d'atomes de se désintégrer de manière naturelle et d'émettre spontanément des particules (alpha, bêta, neutrons), ou des rayonnements électromagnétiques (gamma) ou les deux à la fois en raison de leur structure interne. La radioactivité peut être naturelle ou artificielle.

On appelle **radioactivité naturelle** la propriété de certains éléments de se désintégrer spontanément en émettant diverses radiations.

Un élément chimique manifeste une radioactivité naturelle si le rapport $\frac{A-Z}{Z} \geq 1.5$

Cependant, il reste des atomes radioactifs qui ne vérifient pas cette condition tels que :

(^{60}Co , ^{24}Na et ^{30}P) car se sont en fait des isotopes du (Co , Na et P).

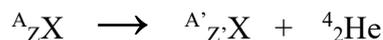
La radioactivité naturelle résulte de l'instabilité du noyau, la désintégration de ce noyau s'accompagne de :

- ❖ L'apparition d'un nouveau noyau, stable ou instable.
- ❖ L'émission d'une particule notée : α , β^+ ou β^- .
- ❖ L'émission d'un rayonnement électromagnétique noté (γ). Cette émission de rayonnement n'est pas systématique mais extrêmement fréquente.

La radioactivité artificielle est induite par irradiation ou bombardement des noyaux des atomes instables. Quantitativement, la radioactivité est un phénomène statistique. Pour cette raison, il est nécessaire d'évaluer le comportement observé d'un ensemble de noyaux de la même espèce.

II.1.1. LOI DE SODDY ET FAJANS :

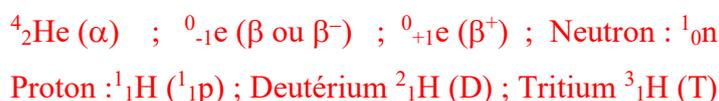
Dans une transformation radioactive il y a conservation du nombre total de nucléons et de la charge globale.



1- Conservation du nombre total de nucléons : $A=A' + 4 \Rightarrow A'=A-4$

2- Conservation de la charge : $Z=Z' + 2 \Rightarrow Z'=Z-2$

Les symboles des radiations utilisés pour équilibrer les réactions nucléaires ou de désintégration :



II.1.2. FAMILLES RADIOACTIVES NATURELLES :

Au cours d'une désintégration, le noyau obtenu peut être radioactif, il y a une série de nucléide qui apparaissent l'un après l'autre et l'ensemble constitue une famille radioactive. Il existe trois (3) familles radioactives naturelles principales : isotope générateur \rightarrow isotope final.

1- Celle de l'Uranium 238 : ${}^{238}_{92}\text{U} \longrightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb}$
séries de transmutations

2 - Celle de l'Uranium 235 : ${}^{235}_{92}\text{U} \longrightarrow {}^{207}_{82}\text{Pb}$
séries de transmutations

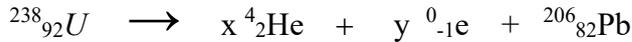
3 - Celle du Thorium 232 : ${}^{232}_{90}\text{Th} \longrightarrow {}^{208}_{82}\text{Pb}$
séries de transmutations

Exemple:

Déterminer le nombre de désintégrations α et β dans la famille radioactive de l'Uranium 238.

Solution :

- Soit la réaction globale suivante :



- Application de la loi de Soddy et Fajans :

1- Conservation du nombre de nucléons :

$$238 = 4x + 0y + 206 \Rightarrow x = (238 - 206)/4 \Rightarrow x = 8 \text{ désintégrations } \alpha$$

2- Conservation de la charge :

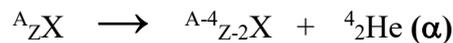
$$92 = 2x - y + 82 \Rightarrow y = -92 + 82 + 16 \Rightarrow y = 6 \text{ désintégrations } \beta^-$$

II.1.3. TYPES DE RAYONNEMENTS ET LEURS PROPRIETES (RADIOACTIVITES) :

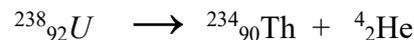
Les noyaux de certains éléments sont instables et se désintègrent pour donner de nouveaux éléments stables ou instables. Cette désintégration est accompagnée par l'émission de particules élémentaires α , β (β^-), β^+ et rayonnement électromagnétique γ .

1- Rayonnement α :

Cette forme de radioactivité concerne essentiellement les éléments "lourds" de numéro atomique $Z > 83$, ils se désintègrent en noyaux plus légers. Cette désintégration s'accompagne par l'émission de particules α qui sont des noyaux d'hélium.



Par exemple, l'uranium 238 est un radionucléide. Son équation de désintégration s'écrit :

**2)- Rayonnement β ou β^- :**

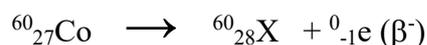
Cette forme de radioactivité concerne les isotopes instables qui possèdent un excès de neutrons. De tels noyaux chercheront à se stabiliser en augmentant Z et en diminuant N . On peut considérer que pour de

tels nucléides un neutron se transforme en proton : ${}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^1_1\text{p} + {}^0_{-1}\text{e} (\beta^-)$

Des noyaux sont dits radioactifs β^- s'ils émettent des électrons notés ${}^0_{-1}\text{e}$, appelés négatons.



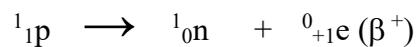
Par exemple, le cobalt 60 est un radionucléide β^- . Son équation de désintégration s'écrit :



3)- Rayonnement β^+ :

Cette radioactivité ne concerne que **des noyaux artificiels**, c'est-à-dire des noyaux engendrés par des réactions nucléaires réalisées par l'homme.

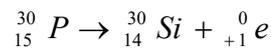
Cette forme de radioactivité concerne les isotopes instables qui possèdent un excès de protons. De tels noyaux chercheront à se stabiliser en augmentant N et en diminuant Z. On peut considérer que pour de tels nucléides un proton se transforme en neutron. Simultanément un positron est éjecté du noyau.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



Des noyaux sont dits radioactifs β^+ s'ils émettent des positons ${}^0_{+1}\text{e}$



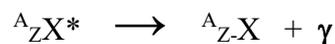
Par exemple, le phosphore 30 est un radio-émetteur β^+ . Son équation de désintégration est :



4)- Rayonnement γ :

Chaque noyau est caractérisé par un état énergétique fondamental. En général lorsqu'un noyau est formé lors d'une désintégration α ou β , il n'atteint pas immédiatement son état fondamental, il se trouve dans un état excité (état instable). Le retour à l'état fondamental (état stable) libère un photon de nature de rayonnement γ : rayonnement électromagnétique d'énergie très grande (supérieure à celle des rayons X), de très courte longueur d'onde (1Å° à 10^{-4}Å°),

Une émission de rayonnement γ ne produit ni variation de **A** ni de **Z**, l'élément ne change pas. Il s'agit simplement d'une réorganisation interne du noyau.



II.2 ASPECTS QUANTITATIFS DES DESINTEGRATIONS RADIOACTIVES :

II.2.1. Aspect énergétique :

Dans la radioactivité, il y a conservation du nombre total de nucléons et de la charge globale. Ceci n'implique aucunement la conservation de la masse, au contraire les transmutations radioactives s'accompagnent toujours d'une perte de masse Δm correspondant à la libération de la quantité d'énergie donnée par la relation d'Einstein : $\Delta E = \Delta m * C^2$ avec $\Delta m = \sum \text{masse des produits} - \sum \text{masse des réactifs}$.

$\Delta m > 0$: absorption d'énergie $\rightarrow \Delta E > 0$

$\Delta m < 0$: énergie libérée ou cédée $\rightarrow \Delta E < 0$

Exemple :

Calculer l'énergie libérée par la réaction nucléaire suivante en joule et en MeV:



On donne : $m(\text{Th}) = 230.1047 \text{ uma}$; $m(\text{He}) = 4.0039 \text{ uma}$; $m(\text{Ra}) = 226.0957 \text{ uma}$ et $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$;
 $N_A = 6.023 \cdot 10^{23}$

Solution :

La quantité d'énergie est calculée en utilisant la relation d'Einstein : $\Delta E = \Delta m * C^2$

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

$\Delta m = (226.0957 + 4.0039) - 230.1047 = -0.0051 \text{ uma} < 0 \rightarrow$ une énergie libérée

L'énergie libérée E est calculée en joule : $\Delta E = -0.0051 * 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} * 9 \cdot 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2 = -0.076194 \cdot 10^{-11} \text{ J}$ /

atome puis en MeV : $\Delta E = -0.076194 \cdot 10^{-11} / 1.6 \cdot 10^{-13} \text{ eV}$ ($1 \text{ MeV} = 1.6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$) ; $\Delta E = -4.76 \text{ MeV / atome}$.

Cette énergie sert à accélérer les particules α émises.

II.2.2. Aspect cinétique :

II.2.2.1. Loi de décroissance radioactive :

Dans un échantillon donné, le nombre d'atomes radioactifs varie avec le temps. Chaque radio-isotope possède une vitesse de désintégration qui lui est propre.

Soit la désintégration suivante : $A \rightarrow B + \alpha$ ou β où B n'est pas radioactif.



t=0 N_0 0 0

t≠0 N_t N'_t N''_t

N_0 : le nombre de noyaux initial en A, à l'instant t=0.

N_t : le nombre de noyaux A restants, non désintégrés à l'instant t.

N'_t : le nombre de noyaux transformés (désintégrés) à l'instant t ; $N'_t = N_0 - N_t$

L'expérience montre que le nombre de particules du noyau radioactif A désintégrés par unité de temps ($-\frac{dN}{dt}$) est proportionnel au nombre d'atomes N présent à l'instant t. La représentation ($-\frac{dN}{dt}$) = f(N) est une droite linéaire ; d'où $A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$; Le signe moins (-) signifie une diminution du nombre de noyaux A au cours du temps.

- On définit l'**activité (A)** par la vitesse de désintégration : le nombre de particules désintégrés par unité de temps : $A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$
- **Unités de l'Activité (A)** : Elle s'exprime en Becquerels (Bq) avec 1Bq =1 désintégration par seconde (d.p.s), en d.p.m (désintégration par minutes) et en curie (Ci) qui correspond à l'activité de 1,0g de radium et **1 Ci=3,7 10¹⁰ Bq (d.p.s)**.
- λ est la **constante radioactive** ou **constante de désintégration**, elle varie avec la nature de l'atome radioactif et son unité c'est **temps⁻¹** (s⁻¹, min⁻¹, h⁻¹, ...etc).

Par intégration de l'équation $A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$ et en considérant :

à t=0 on a N=N₀ et à t≠0 on a N=N_t =>, on obtient :

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt$$

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt \Rightarrow [\ln(N)]_{N_0}^N = -\lambda [t]_0^t$$

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

$$\Rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

$$\Rightarrow N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\longrightarrow N_t = N_0 e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(1)$$

avec N₀ : le nombre de noyaux initial en A, à l'instant t=0.

N_t : le nombre de noyaux A restants, non désintégrés à l'instant t.

t : temps de désintégration.

λ : la constante radioactive.

Relation de l'activité en fonction du temps :

En multipliant la relation (1) par λ , on obtient : $\lambda N t = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$

$$\mathbf{A_t = A_0 e^{-\lambda t}} \quad \text{avec } A_0 = \lambda N_0$$

Relation de la masse en fonction du temps :

En remplaçant $N = \frac{m}{M} \cdot NA$ dans l'équation (1), on obtient : $\frac{m t}{M} \cdot NA = \frac{m_0}{M} \cdot NA e^{-\lambda t} \rightarrow \mathbf{m_t = m_0 e^{-\lambda t}}$

II.2.2.2. Période radioactive T (ou temps de demi-vie radioactive $t_{1/2}$) :

Le temps **T** nécessaires pour que ce nombre N_0 diminue de moitié s'appelle période (ou temps de demi-vie $t_{1/2}$).

Soit **T** le temps nécessaire pour que $N_0/2$ soit désintégrés

$$\mathbf{N t = N_0 e^{-\lambda t}} \quad \dots\dots(1)$$

A $t = T$ ou $t_{1/2}$, on a que $N(t_{1/2}) = N_0/2$

alors en remplaçant dans la relation (1), on obtient :

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

$$\text{On trouve } \mathbf{T = t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}}$$

La demi-vie radioactive est une caractéristique de chaque type de noyau radioactif, elle ne dépend que de la constante radioactive λ .

Exemples de Période et constantes radioactives :

Noyau radioactif	Uranium 238	Carbone 14	Césium 137	Iode 131
Constante radioactive λ	$1,5 \cdot 10^{-10} \text{ an}^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-4} \text{ an}^{-1}$	$2,3 \cdot 10^{-2} \text{ an}^{-1}$	$8,5 \cdot 10^{-2} \text{ jour}^{-1}$
Période T	$4,62 \cdot 10^9$ années	5776,2 années	30 années	8 jours

II. 3. Radioactivité Artificielle : Réactions nucléaires :

Les réactions nucléaires sont obtenues en bombardant les noyaux de certains atomes à l'aide de particules convenables tel que : les protons, les neutrons, les hélions, les électrons ...etc.

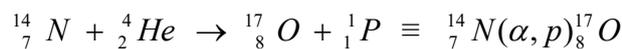
L'ensemble de ces réactions nucléaires dites artificielles peuvent être divisées en trois groupes : les transmutations, les réactions de fission et les réactions de fusion.

II.3.1. Les transmutations nucléaires :

Ces réactions produisent des nucléides de nombre de masse égal ou très voisin de celui du nucléide qui a servi de cible. Les nucléides formés sont stables ou radioactifs.

Exemples :

Rutherford a réalisé la première transmutation en 1919, cette réaction nucléaire a permis de découvrir le proton :



On peut utiliser une écriture simplifiée ou abrégée pour cette réaction nucléaire : ${}^{14}_7 N(\alpha, p){}^{17}_8 O$

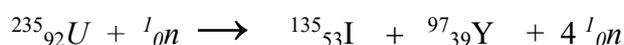
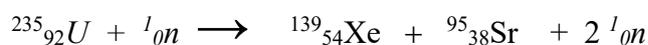
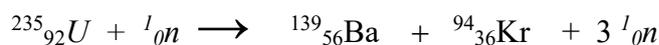
On bombarde le soufre par des neutrons :



II.3.2. La fission nucléaire :

Les atomes lourds de nombre de masse très élevés tel que l'Uranium 235 ou le plutonium 239 qui sont bombardés par des neutrons peuvent subir une cassure produisant des atomes plus légers et des neutrons. Les neutrons émis peuvent à leur tour provoquer la fission d'atomes voisins, on a une réaction en chaîne explosive. Lors du processus il se produit une perte de masse et un important dégagement d'énergie. Ce type de réaction en chaîne quand il n'est pas contrôlé, est à la base de la bombe atomique (Bombe A). On peut néanmoins contrôler le processus pour obtenir une libération d'énergie régulière, on a alors une centrale nucléaire. L'énergie libérée par ce type de réaction est énorme de l'ordre de 200 Mev /atome ($2 \cdot 10^{13}$ J/mole).

Exemples de réactions de fission :

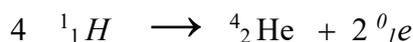
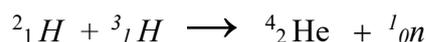


Remarque : le numéro atomique Z des noyaux formés est compris entre 35 et 60, en revanche le nombre de masse A est compris entre 72 et 162. Le nombre de masse des noyaux cibles est supérieur à 200.

II.3.3. La fusion nucléaire :

Les atomes légers vont chercher à se stabiliser par une réaction de fusion. Au cours de ce type de réactions, deux ou plusieurs noyaux légers vont fusionner pour donner un atome plus lourd et diverses particules. Au cours de ce processus il va y avoir une perte de masse et important dégagement d'énergie. Cette sorte de réaction est à l'origine de l'énergie des étoiles. C'est aussi la réaction utilisée dans les bombes H.

Exemples de réactions de fusion :



Remarques :

- Les réactions nucléaires telles que la fusion et la fission sont assimilables à des sources d'énergie.
- Les réactions de fusions libèrent des quantités d'énergie 3 à 4 fois plus grandes que l'énergie fournie par les réactions de fission.

II.4. APPLICATIONS DE LA RADIOACTIVITÉ

Depuis la découverte de la radioactivité au XIXe siècle, l'homme a appris à domestiquer ce phénomène et à le recréer artificiellement pour satisfaire de nombreux besoins quotidiens. La radioactivité est employée notamment à travers des applications médicales, scientifiques ou industrielles. Quelques exemples d'application de la radioactivité...

II.4.1. Soigner, connaître le vivant :

Depuis 1934, la radioactivité artificielle permet de créer à volonté des atomes radioactifs. Cette découverte a ouvert de nouvelles possibilités d'**analyses** et de **traitements médicaux** :

- **Diagnostics des cancers** par le biais de scintigraphies et tomographies, autorisant des examens poussés d'organes en fonctionnement (cœur, cerveau, poumons, os, reins) ;
- Traitement des tumeurs grâce à la **radiothérapie**, qui emploie les rayonnements des radionucléides pour détruire les cellules cancéreuses.

La radioactivité fait aussi progresser la recherche scientifique, notamment par l'usage des "**traceurs**". En suivant le parcours de ces radionucléides injectés dans l'organisme, on comprend le métabolisme des organes et on teste de nouveaux médicaments.

II.4.2. Explorer la Terre et son histoire :

Les radionucléides possèdent de nombreux usages en **géologie**, **océanographie** ou **climatologie**. Ils ont notamment permis de déterminer l'âge de la Terre et de découvrir l'histoire du climat. La radioactivité est aussi un moyen de prévoir les éruptions volcaniques et les séismes, et de suivre à la trace les courants océaniques.

II.4.3. Produire de l'énergie nucléaire :

Aujourd'hui, **les trois-quarts de l'électricité française** sont produits dans des **centrales nucléaires** qui fonctionnent grâce à la particularité de certains atomes radioactifs. Ces derniers dégagent une forte chaleur en se désintégrant. C'est le cas de l'uranium et du plutonium, utilisés comme combustibles dans nos centrales, qui se désintègrent par fission nucléaire. Découvert en 1938, ce principe fournit une énergie abondante à partir d'une petite quantité de combustible.

II.4.4. Protéger le patrimoine :

La muséographie exploite les propriétés des atomes radioactifs pour **identifier, dater et traiter** toutes sortes de pièces et de vestiges. Elle permet entre autres

- L'authentification des œuvres et de leur provenance,
- La datation des pièces grâce au carbone 14 et à la thermoluminescence,
- La consolidation des objets fragiles par irradiation,
- L'identification des techniques et matériaux caractérisant les œuvres,
- La désinfection des sites ou pièces attaqués par des parasites.

II.4.5. Les usages agricoles et industriels :

Dans les secteurs agricole et agroalimentaire, la radioactivité est utilisée par exemple pour la protection des cultures contre les insectes ou la conservation des aliments. Dans l'industrie, on l'utilise pour des tâches variées (contrôle des soudures, détection de fuites ou d'incendies, etc.).

II.5. Dangers de la radioactivité :

L'homme peut être exposé à la radioactivité de manière externe ou interne, pour une durée plus ou moins longue et de manière plus ou moins forte. Les risques encourus lors d'une exposition à la radioactivité dépendent de tous ces facteurs mais aussi de la radiosensibilité de chaque individu, du type de rayonnement et des radionucléides mis en cause. Ainsi, selon la dose reçue, une exposition peut provoquer des effets immédiats tels que des brûlures et des nausées, ou des effets aléatoires à long terme tels que certains cancers.

Dangers biologiques :

En traversant la matière vivante, les particules alpha, beta et les rayonnements gamma provoquent des ionisations, ou des excitations d'atomes qui entraînent des réactions chimiques anormales.

Quelques heures ou même quelques années après une exposition au rayonnement, des réactions secondaires peuvent apparaître ; des macromolécules fondamentales au niveau cellulaire (ARN, ADN) sont touchées. 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. C'est la raison du grand émoi suscité par la catastrophe de Tchernobyl du 25 avril 1986, où des quantités importantes d'isotopes radioactifs (iode, cobalt, césium,...) furent émises puis véhiculées par les vents sur une grande partie de l'Europe.