

CHAPITRE III

Radioactivité

Chapitre III: Radioactivité

I- Historique:

- En 1896, Henri Becquerel découvre la radioactivité naturelle ; il observe que les minerais d'uranium émettent un rayonnement capable de noircir les plaques photographiques. Il obtint le prix Nobel de physique en 1903.
- En 1898, Pierre et Marie Curie isolent à partir de la pechblende (un minéral d'uranium) deux éléments hautement radioactifs : le radium (Ra) et le polonium (Po). ils obtinrent le prix Nobel de physique en 1903. En 1911, Marie Curie, obtint son deuxième prix Nobel en chimie.
- En 1899, Ernest Rutherford, découvre les rayonnements α et β .
- En 1902, Ernest Rutherford et Frederick Soddy, découvrent que la décomposition radioactive transforme un élément chimique en un autre (transmutation). En 1903, Ernest Rutherford découvre les rayons γ .

II- Introduction:

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.

La radioactivité naturelle d'une substance est spontanée. Elle résulte de l'instabilité du noyau et s'accompagne de **(Figure 1)** :

- ❖ 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.

Dans la nature, ils sont environ 300 nucléides différents, dont 25 radioactifs avec une période suffisamment longue et 35 d'autres eux ont une période beaucoup plus courte.

Chapitre III: Radioactivité

La radioactivité artificielle est induite par irradiation ou bombardement des noyaux des atomes. 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.

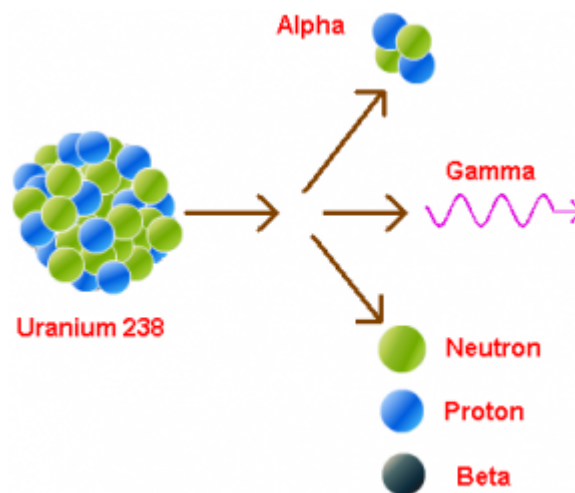


Figure III.1: Décomposition de l'uranium 238

III- Propriétés des différents rayonnements:

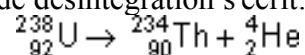
Les noyaux de certains éléments sont instables et se désintègrent pour donner de nouveaux éléments. Cette désintégration est accompagnée par l'émission de particules élémentaires α , β et rayonnement électromagnétique γ .

Tous les éléments qui contiennent plus que 83 protons sont radioactifs. Il est possible de synthétiser des radio-isotopes artificiels qui n'existent pas à l'état naturel.

1)- Emission α :

Les noyaux très lourds se désintègrent en noyaux plus légers. Cette désintégration s'accompagne par l'émission de particules α qui sont des noyaux d'hélium.

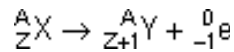
$${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 \text{He}$$
 Par exemple, l'uranium 238 est un radionucléide. Son équation de désintégration s'écrit:



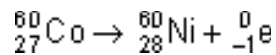
2)- Emission β^- :

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

Chapitre III: Radioactivité

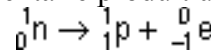


Par exemple, le cobalt 60 est un radionucléide β^- . Son équation de désintégration s'écrit:



Les radionucléides β^- sont des radionucléides qui possèdent beaucoup de neutrons par rapport aux nucléides stables de même nombre de masse A.

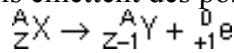
La transformation de ce neutron excédentaire produit un électron suivant le bilan:



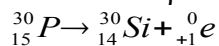
3)- Emission β^+ :

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

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

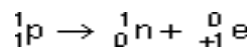


Par exemple, le phosphore 30 est un radioémetteur β^+ . Son équation de désintégration est:



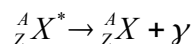
Les radionucléides β^+ sont des radionucléides qui possèdent beaucoup de protons par rapport aux nucléides stables de même nombre de masse A.

La transformation de ce proton excédentaire produit un positon suivant le bilan:



4)- Rayonnement γ :

Les trois types de radioactivité décrits (α , β^- , β^+) sont souvent accompagnés par l'émission d'un rayonnement électromagnétique d'énergie très grande (supérieure à celle des rayons X), de très courte longueur d'onde (1Å à 10^{-4}Å), émis lors du passage d'un noyau d'un état excité à un état stable. Les rayonnements γ ont pour origine des réactions nucléaires, Une émission de rayonnement γ ne produit ni variation de A ni de Z, l'élément ne change pas, seule la masse atomique diminue d'une quantité équivalente à l'énergie $h\nu$ du rayonnement émis. Il s'agit simplement d'une réorganisation interne du noyau. Les rayonnements γ ont un pouvoir de pénétration bien plus important que celui des particules α et β , mais ils sont plus ionisants.



IV- Défaut de masse, Energie de liaison, Energie de Cohésion :

Au cours de la transformation radioactive d'un noyau, il y a conservation des nombres de masse ainsi que des nombres de charge (numéro atomique) ; ce sont les **lois de Soddy** :



Chapitre III: Radioactivité

Conservation du nombre de nucléons A : $A = A' + A''$

Conservation du nombre de charges Z : $Z = Z' + Z''$

1)- Défaut de masse :

Le défaut de masse est défini comme étant la différence entre la masse des nucléons et la masse du noyau. Il est noté Δm .

Pour un nucléide ${}^Z_A X$, le défaut de masse s'écrit donc:

$\Delta m =$ masse des nucléons qui constituent le noyau – masse du noyau.

$\Delta m = [Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n] - m_{\text{noyau}}$.

Ainsi, quel que soit le nucléide, on a toujours :

Masse nucléons qui constituent le noyau $>$ masse noyau. Le défaut de masse peut être positif ou négatif.

Exemple :

Considérons un noyau d'hélium formé par l'association de 2 protons et 2 neutrons :

La masse du noyau formé = 2 x masse de proton + 2 x masse du neutron.

La masse des 2 protons isolés : 2 x 1,0074 = 2,0148 u.m.a.

La masse des 2 neutrons isolés : 2 x 1,0086 = 2,0172 u.m.a.

La somme des masses des particules isolées = 4,032 u.m.a.

La masse réelle du noyau d'hélium (masse mesurée) = 4,002 u.m.a.

$\Delta m = 4,032 - 4,002 = 0,030$ u.m.a.

Cette masse perdue se transforme en énergie. Ainsi, la formation du noyau d'hélium est accompagnée d'un dégagement d'énergie, selon la relation d'Einstein.

D'après la théorie de la relativité restreinte d'Einstein, il y a équivalence entre l'énergie et la masse; on entend par là que la masse peut être transformée en énergie et inversement. La formule d'interconversion s'écrit : $E = m \cdot c^2$

$E =$ énergie (en joule) ; $m =$ masse (en kilogrammes) ; $c =$ célérité ou vitesse de la lumière
 $= 3 \cdot 10^8$ m/s

2)- Energie de liaison :

Elle définit l'énergie libérée lors de la formation d'un noyau à partir de protons et de neutrons :

Energie de liaison = (Masse produit – masse réactifs) $\cdot c^2 =$ (masse mesurée de l'atome- masse calculée) $\cdot c^2 = - \Delta m \cdot c^2$. **Cette énergie est négative.**

3)- Energie de cohésion:

C'est l'énergie qu'il faudrait apporter au noyau ${}^Z_A X$ pour le dissocier de ses protons et neutrons.

Chapitre III: Radioactivité

Energie de cohésion = (Masse produits – masse réactif). C^2 = (masse calculée de l'atome-masse mesurée). C^2 = $\Delta m \cdot C^2$. **Cette énergie est positive.**

4)- **Energie de cohésion par nucléon:**

Pour comparer la stabilité des noyaux, il est préférable de raisonner en terme d'énergie de cohésion par nucléon (ou énergie de liaison par nucléon). Cette énergie est définie comme étant le rapport d'énergie de cohésion par le nombre de nucléons A.

Energie de cohésion /A : est exprime en Mev/nucléon.

Remarque:

- Plus le rapport est grand, plus le noyau est stable.
- Il est plus commode d'utiliser une unité d'énergie plus petite que le joule à savoir l'électron volt (eV). Cette dernière est l'énergie acquise par un électron soumis à une différence de potentiel (ddp) égal à 1 volt avec :

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ joule.}$$

On utilise aussi le mégaélectronvolt : $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$.

$$1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ joule.}$$

5)- **Courbe d'Aston:**

L'énergie de liaison par nucléon représente l'énergie à dépenser en moyenne pour arracher un nucléon d'un noyau. C'est un étalon de la stabilité d'un noyau. Cette courbe de l'énergie de liaison en fonction du nombre de nucléons porte le nom du physicien anglais F.W.Aston, qui fut un des pionniers des mesures de masse des noyaux et obtint un prix Nobel en 1922. Un classique de la physique nucléaire, la courbe d'Aston montre que pour les noyaux naturels il faut dépenser environ 8 MeV pour arracher un nucléon et que l'énergie de liaison passe par un maximum de 8,8 MeV pour le nickel-62 et diminue ensuite lentement pour atteindre 7,6 MeV pour l'uranium.

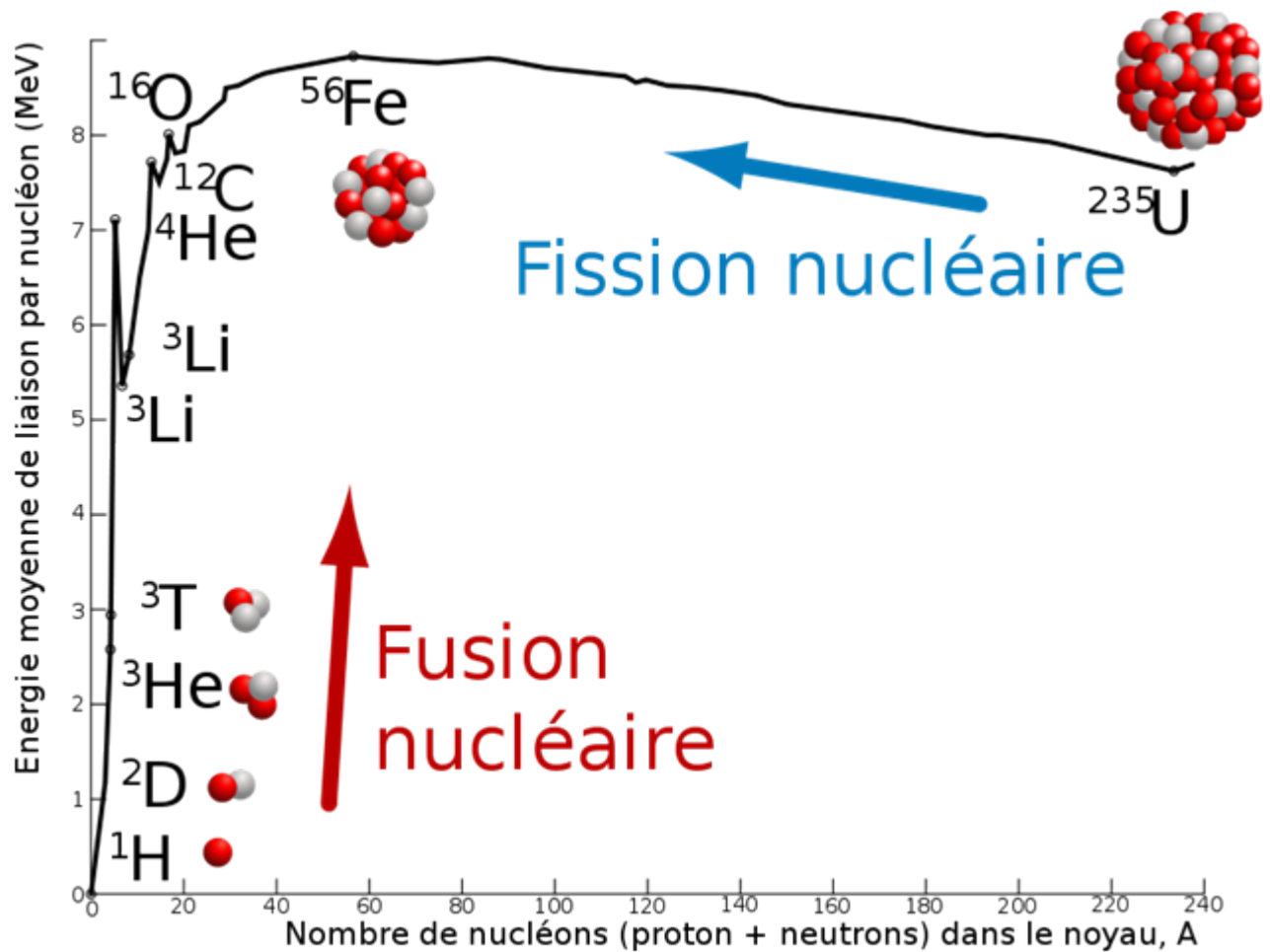
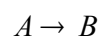


Figure III.2: Courbe d'Aston

V-Loi de décroissance radioactive :

La désintégration radioactive ne dépend ni de la température, ni des combinaisons chimiques dans lesquelles les atomes sont engagés. Par contre, dans un échantillon donné, le nombre d'atomes radioactifs varie avec le temps. On suppose que le nucléide formé n'est pas radioactif.

Soit une substance radioactive A :



Chapitre III: Radioactivité

Si à l'instant $t = 0$ on a N_0 noyaux radioactifs en A, on aura après un certain temps (t) un nombre $N(t) < N_0$. Expérimentalement, on peut compter le nombre de particules émises par

unité de temps, ce nombre est égal à $-\frac{dN}{dt}$ avec:

N = le nombre de noyaux radioactifs à l'instant t .

dN = variation du nombre de noyaux radioactifs A.

dt = variation du temps t .

La loi relative à l'activité représente une cinétique d'ordre un, donc la variation

$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$ en fonction de N est une droite linéaire. C'est un signe moins, car c'est une diminution du nombre de noyaux A au cours du temps.

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

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

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

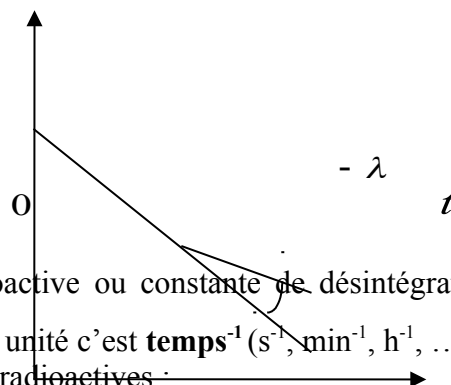
$$\Rightarrow \ln \left[\frac{N}{N_0} \right] = -\lambda t$$

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

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

Si on trace $\ln N$ en fonction de t , c'est une droite ou N décroît exponentiellement avec le temps.

$\ln N$



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} , ...ect).

Exemples de constantes radioactives :

Chapitre III: Radioactivité

Noyau radioactif	uranium 238	carbone 14	césium 137	iode 131
Constante radioactive λ	$1,5 \cdot 10^{-10} \text{ an}^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-4} \text{ an}^{-1}$	$2,3 \cdot 10^{-2} \text{ an}^{-1}$	$8,5 \cdot 10^{-2} \text{ jour}^{-1}$

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

Elle est égale à la durée nécessaire pour que la moitié des noyaux radioactifs présents initialement dans l'échantillon se désintègre, ou pour que la moitié reste.

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

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

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

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

2)- Activité d'une source radioactive (ou vitesse de désintégration):

L'activité A d'une source radioactive est égale au nombre moyen de désintégrations par seconde dans l'échantillon. Elle s'exprime en Becquerels dont le symbole est Bq (1Bq =1 désintégration par seconde). Le curie (Ci) est une autre unité de mesure d'activité utilisée, il correspond à l'activité de 1,0g de radium et vaut $3,7 \times 10^{10}$ Bq.

$A =$ vitesse de la désintégration = $\lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$. $A > 0$ avec $A_0 = \lambda N_0$

Pour mesurer la vitesse à laquelle un noyau se désintègre, on utilise les compteurs Geiger et les compteurs à scintillations tels que chaque clic d'un compteur Geiger ou chaque éclair d'un luminophore d'un compteur à scintillation indique qu'une désintégration a été effectuée.

3)- Application de la loi de désintégration :

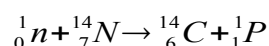
Parmi les applications de la loi de désintégration, nous citons :

- L'application de cette loi à la datation au carbone 14 nous permet de déterminer l'âge de certains objets principalement en archéologie.

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \frac{A}{A_0} = e^{-\lambda t} \Rightarrow \ln \frac{A}{A_0} = -\lambda t \Rightarrow t = \frac{\ln \frac{A_0}{A}}{\lambda}$$

Si on connaît le radioélément contenu dans l'objet et si on connaît l'activité initiale A_0 de l'échantillon ainsi que A on pourra connaître précisément sa date à l'aide du carbone 14.

Cet isotope du carbone possède une période radioactive de 5730 ans et il est produit en permanence dans la haute atmosphère par la réaction nucléaire entre l'azote (il compose le $\frac{3}{4}$ de l'atmosphère) et des neutrons provenant du rayonnement cosmique suivant la réaction :



Chapitre III: Radioactivité

Exemple (1) :

Un échantillon de carbone de 1g d'un bois trouvé dans un site archéologique en Arizona a subi $7,9 \cdot 10^3$ désintégrations de carbone-14 sur une période de 20h. Dans la même période, 1g de carbone d'une source moderne a subi $1,84 \cdot 10^4$ désintégrations. Calculez l'âge de l'échantillon sachant que la demi-vie de ^{14}C est de $5,73 \cdot 10^3$ ans.

On sait que $A/A_0 = N/N_0$

Donc $N = N_0 e^{-\lambda t}$ $t = (-1/\lambda) \ln N/N_0$ et $t_{1/2} = \ln 2 / \lambda$ donc $t = (-t_{1/2} / \ln 2) \ln N/N_0$

$t = 7000$ ans, donc il y a environs 7000 ans qui se sont écoulés depuis que le morceau de bois a été coupé d'un arbre vivant.

- L'une des raisons pour laquelle les armes thermonucléaires doivent être révisées régulièrement est la désintégration nucléaire du tritium qu'elles contiennent.

Exemple(2) :

Supposez qu'on ait stocké un échantillon de tritium de 1g. Quelle est la masse de cet isotope qui restera après 5ans. La constante de désintégration du tritium est de $0,0564 \text{ an}^{-1}$.

On a que $m = m_0 e^{-\lambda t}$, $m = 1 \cdot e^{-0,0564 \times 5} = 0,75\text{g}$

Il restera donc 0,75g de l'isotope après 5ans.

VI- Types de réactions nucléaires artificielles:

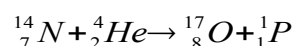
Les réactions nucléaires se produisent lorsqu'on bombarde des noyaux à l'aide des particules subatomiques telles que les protons, neutrons, électrons.

1)- Les transmutations nucléaires :

Ces réactions produisent des nucléides de nombre de masse égal ou très voisin de celui des nucléides qui ont servi de cibles. Les nucléides formés sont stables ou radioactifs.

Exemple(1):

Rutherford a réalisé la première transmutation en 1919

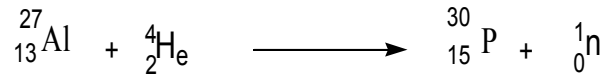


Ces transformations sont écrites en général sous la forme : ${}^{14}_7\text{N}(\alpha, p){}^{17}_8\text{O}$

Exemple(2):

On cible l'aluminium par une particule α

Chapitre III: Radioactivité



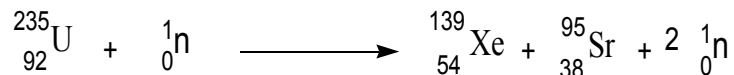
Ce qui donne : ${}_{13}^{27}\text{Al}(\alpha, n){}_{15}^{30}\text{P}$

2)-La fission nucléaire :

C'est le phénomène par lequel le noyau d'un atome lourd tel que l'uranium est bombardé par des neutrons pour être divisé en plusieurs nucléides plus légers. Il y a libération d'une très grande énergie.

Si cette réaction en chaîne est incontrôlée, c'est la bombe atomique (bombe A), par contre si cette réaction est contrôlée grâce à des ralentisseurs de neutrons, on appellera cela le réacteur nucléaire.

Exemple : bombe A.

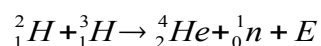


Ainsi, 1g d'uranium libère une énergie de $7,3 \cdot 10^{10}$ joule, ce qui est 1,3 millions de fois plus grand que l'énergie libérée par la combustion de 1g de méthane, le composant principal de gaz naturel.

3)-Fusion nucléaire :

Dans la fusion, des noyaux légers vont fusionner pour former des noyaux lourds avec émission d'un neutron ou proton, et un dégagement de chaleur.

Exemple: bombe H = bombe hydrogène



L'énergie dégagée par cette réaction est de $E=17,6 \text{ MeV/He}$

Remarque :

- Les réactions nucléaires telles que la fusion et la fission sont assimilables à des sources d'énergie.

Chapitre III: Radioactivité

- Les réactions de fusions libèrent des quantités d'énergie 3 à 4 fois plus grandes que l'énergie fournie par les réactions de fission.

VII-Applications de la radioactivité :

Depuis la découverte de la radioactivité artificielle, plusieurs applications lui sont attribuées parmi lesquelles :

1)- Traceurs en médecine :

En biologie et médecine nucléaire, les traceurs sont généralement des produits radiopharmaceutiques qui incorporent dans leur formule un atome dont le noyau est radioactif, un marqueur. C'est l'émission par cet atome d'un rayonnement qui permet de suivre à la trace le parcours dans le vivant de ce traceur. Il arrive que le traceur se réduise à un atome radioactif. C'est le cas des gaz nobles utilisés pour les scintigraphies pulmonaires : krypton-81m ou xénon-133. A l'opposé, le marqueur peut être attaché à des objets autres que des molécules comme des microsphères d'albumine pour d'autres examens pulmonaires. Les produits « radiopharmaceutiques » contenant des molécules marquées par un isotope radioactif sont généralement administrés par voie intraveineuse, mais ils peuvent l'être aussi par inhalation (par exemple l'examen de la ventilation pulmonaire) ou dans le liquide céphalo-rachidien.

L'examen consiste à administrer au patient un traceur radioactif, choisi en fonction de sa capacité à suivre un métabolisme ou à fournir un diagnostic sur le fonctionnement d'un organe donné. Le traceur peut être un atome seul (iode 123), une molécule marquée (diphosphate marqué au technétium 99m), une hormone marquée ou encore un anticorps marqué par un isotope. Cet isotope doit être fixé chimiquement sur la molécule d'intérêt, sans modifier les propriétés de celle-ci. La liaison doit être solide de façon à ce que l'élément radioactif ne se perde pas en cours de route.

2)-Armes nucléaires :

Chapitre III: Radioactivité

Il existe deux types de bombes, les **bombes A** ou atomiques et les **bombes H** ou à hydrogène ou encore thermonucléaires. Les bombes atomiques ont été les premières armes nucléaires à avoir été développées à la fin de la seconde guerre mondiale. Le cœur d'une bombe atomique contient une quantité de matière fissile suffisante pour le développement d'une réaction en chaîne explosive (uranium-235 ou plutonium-239 à plus de 90 %). Les bombes H beaucoup plus puissantes sont basées sur le principe de la fusion nucléaire. Les réactions de fusion sont amorcées par la chaleur dégagée par des fissions.

La puissance des bombes est calculée en kilotonnes ou mégatonnes (millions de tonnes) de trinitrotoluène ou TNT, un explosif classique. Lors de l'explosion et durant quelques secondes, les rayonnements à distance, composés de [gamma](#) et de neutrons, sont très intenses. Le rayonnement gamma l'emporte pour les bombes puissantes. Les neutrons prédominent dans les petites bombes et les bombes à neutrons.

Le pouvoir destructeur des armes nucléaires tient plus à l'effet de souffle et de boule de feu au moment de l'explosion, qu'à la radioactivité qui se trouve éclipcée. Celle-ci se manifeste plus tard par des retombées à proximité du point de tir responsables de fortes contaminations. La majeure partie des poussières radioactives se retrouve injectée dans la stratosphère où elle demeure plusieurs années.

3)- Datation :

Nos ancêtres mesuraient le temps avec des sabliers et comme la nature ne dispose pas de montres modernes, elle utilise le sablier que lui offre la radioactivité. Le haut du sablier qui se vide, ce sont les noyaux radioactifs qui se désintègrent. Le bas qui se remplit, ce sont les noyaux issus des désintégrations.

Ces sabliers radioactifs sont utilisés pour dater des vestiges de l'histoire ou de la préhistoire, surtout grâce à la datation au carbone-14 qui est la méthode la plus connue pour dater les vestiges. Ils sont aussi utilisés pour dater l'âge de roches aussi anciennes que la terre, les coraux, les laves volcaniques. Les durées à mesurer vont de la centaine d'années à quelques milliards d'années. Heureusement, l'archéologue, le géologue, le physicien disposent de toute une panoplie d'isotopes dont les périodes sont adaptées. La détermination de l'âge se fait en

Chapitre III: Radioactivité

comparant la teneur en carbone-14 de l'échantillon ancien (le sablier en partie vidé) et la teneur d'un végétal actuel (le sablier plein). Plus le vestige est ancien, plus sa teneur en carbone-14 est faible.

L'âge fourni par la datation au carbone-14 nécessite d'être corrigé en raison de facteurs dont le plus important est la variation du champ magnétique terrestre qui sert de bouclier pour le rayonnement cosmique. D'autres méthodes de datation (uranium-thorium) permettent d'évaluer cette correction qui, peu importante pour les temps historiques, atteint trois mille ans pour des âges de l'ordre de 20000 ans (sans cette correction les âges réels sont plus anciens que les âges en carbone-14).

II : Danger 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.

1)-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.

Chapitre III: Radioactivité

2)- Grandeurs utilisées en radioprotection


Par définition, la dose absorbée est la quantité d'énergie que cède un rayonnement pour 1 kilogramme de matière exposée, notamment les tissus biologiques. L'effet des rayonnements dépend en premier lieu de cette dose, qui se retrouve en grande partie sous forme de chaleur. L'unité de dose est le **gray** (*symbole* : Gy); elle correspond à une énergie absorbée de 1 joule par kilogramme. On utilise parfois le **rad** avec la correspondance :

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$



Les effets biologiques des rayonnements, à dose égale, dépendent de la nature du rayonnement. Pour tenir compte de cette donnée, on introduit pour chaque type de rayonnement des facteurs correctifs, ou facteurs de qualité E.B.R. (Efficacité Biologique Relative). On définit alors l'équivalence de dose, dont l'unité est le **sievert** (*symbole* : Sv) :

$$\text{équivalence-dose (Sv)} = \text{dose (Gy)} * \text{E.B.R.}$$

Le tableau suivant nous donne les conséquences sur le corps humains en fonction des dosées d'expositions :

	doses (Sv)	effets biologiques
	à partir de 0,05	<ul style="list-style-type: none">• modification de la formule sanguine
	1,5 à 1	<ul style="list-style-type: none">• troubles digestifs légers• fatigabilité persistante (plusieurs mois)• augmentation significative des cas de cancers• stérilité permanente chez la femme• stérilité pendant 2 à 3 ans chez l'homme

Chapitre III: Radioactivité

	2	<ul style="list-style-type: none"> • 10 % de mortalité dans les mois qui suivent
	2,5 à 4	<ul style="list-style-type: none"> • nausées, vomissements, vertiges dès la fin de l'irradiation • modification de la formule sanguine • risques mortels élevés en cas d'infection
	6	<ul style="list-style-type: none"> • troubles sanguins et digestifs graves • diarrhées et vomissements • risques de perforations intestinales
	7	<ul style="list-style-type: none"> • 90 % de mortalité dans les mois qui suivent
	10	<ul style="list-style-type: none"> • mort dans les mois qui suivent
	100	<ul style="list-style-type: none"> • mort dans les heures qui suivent
	1000	<ul style="list-style-type: none"> • mort dans les minutes qui suivent