

ACQUIS INDISPENSABLES

1- Le noyau d'un atome contient **A nucléons**, **Z protons** (donc **Z électrons**) et **N neutrons** avec $N = A - Z$. Un noyau nommé **X** a pour symbole A_ZX . **A** est appelé **nombre de masse** et **Z** **nombre de charge**.

Exemples : l'hélium ${}^4_2\text{He}$ possède 4 nucléons dont 2 protons, il aura donc 2 neutrons ; le carbone ${}^{12}_6\text{C}$ possède 12 nucléons dont 6 protons, il aura donc 6 neutrons.

2- Des noyaux **isotopes** appartiennent au même élément chimique mais leur masse est différente. Ils ont donc le même nombre de protons et des nombres de neutrons différents.

Exemples : le ${}^{12}_6\text{C}$, le ${}^{13}_6\text{C}$ et le ${}^{14}_6\text{C}$ sont trois isotopes du carbone ; le ${}^{14}_6\text{C}$ est radioactif contrairement aux deux autres.

3- La **radioactivité** est l'expression de la désintégration spontanée et aléatoire de noyaux instables.

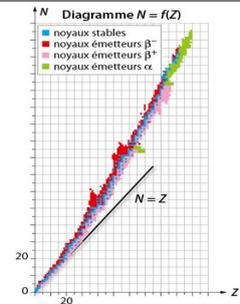
4- Le **temps de demi-vie** d'un noyau radioactif, noté $t_{1/2}$ (en s, min, années, etc.), représente la durée pour laquelle la moitié des noyaux d'un échantillon radioactif s'est désintégrée.

Exemples : le temps de demi-vie de l'iode 131 est d'environ 8 jours celui du carbone 14 est de 5 730 ans, celui du plutonium 242 est de 373 300 ans.

COURS

5- Le **diagramme (N,Z)** permet de repérer les noyaux instables. Cette instabilité résulte d'un excès de nucléons ou d'une proportion neutrons/protons déséquilibrée.

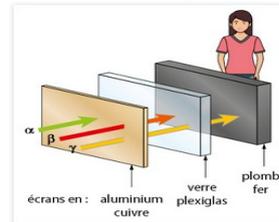
☞ Stabilité des isotopes : https://physique.ostralo.net/diagramme_NZ



6- Les noyaux instables, dits **radioactifs**, se transforment spontanément en d'autres noyaux plus stables lors de désintégrations en émettant des rayonnements sous forme de particules chargées.

Exemple : protection contre les rayonnements.

Source radioactive	Pénétration des tissus	Effet sur l'organisme
particules α	arrêtées par la peau	aucun
particules β	traversent l'épiderme	lésions cutanées
rayons γ	très pénétrants	tissus ou organes atteints



7- L'**équation de réaction nucléaire** doit respecter les lois de conservation du **nombre de charges** et du **nombre de masses**.

Exemples : la fusion du deutérium et du tritium donnant un hélium et un neutron s'écrit ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$.

8- Un noyau lourd contenant trop de nucléons peut subir une **désintégration alpha** (α) en libérant un noyau d'hélium.

Exemples : la désintégration α du radium s'écrit ${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^4_2\text{He}$, il y a donc libération d'un noyau d'hélium.

9- Un noyau qui possède un excès de neutrons par rapport aux protons peut subir une **désintégration bêta moins** (β^-) en libérant un électron et un anti-neutrino.

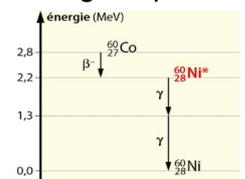
Exemples : la désintégration β^- du carbone 14 s'écrit ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}\text{e} + \bar{\nu}_e$, il y a donc libération d'un électron.

10- Inversement, un noyau qui possède en excès de protons par rapport aux neutrons peut subir une **désintégration bêta plus** (β^+) en libérant un positon et un neutrino.

Exemples : la désintégration β^+ du sodium 22 s'écrit ${}^{22}_{11}\text{Na} \rightarrow {}^{22}_{10}\text{Ne} + {}^0_1\text{e} + \nu_e$, il y a donc libération d'un positon.

11- Les noyaux fils obtenus par désintégration se désexcitent en émettant une onde électromagnétique de très courte longueur d'onde appelé **rayon gamma** (γ) ou **radioactivité gamma**.

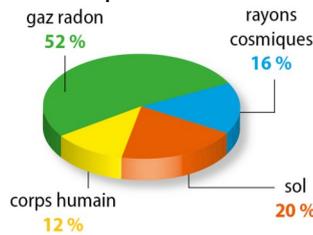
Exemple : le noyau de nickel formé par radioactivité β^- selon l'équation ${}^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow {}^{60}_{28}\text{Ni}^* + {}^0_{-1}\text{e} + \bar{\nu}_e$, est instable (d'où l'astérisque) ; il se stabilise en émettant 2 photons ${}^{60}_{28}\text{Ni}^* \rightarrow {}^{60}_{28}\text{Ni} + 2\gamma$.



 COURS

12- L'être humain est soumis à une **radioactivité naturelle** provenant à la fois de la Terre et de l'espace.

Exemples : sources de radioactivité naturelle sur Terre.



13- La **variation du nombre de noyaux** $\Delta N = N(t) - N_0$ est proportionnelle au **nombre de noyau** $N(t)$ et à la **durée de mesure** Δt (en s).

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

λ (en s^{-1}) est appelé **constante radioactive**. Elle est caractéristique de chaque isotope.

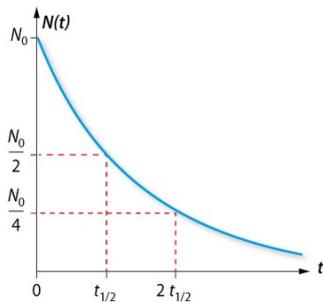
14- La solution de l'équation différentielle $\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t)$ est $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$.

Justification : Pour résoudre cette équation, il faut trouver une fonction dont la dérivée est proportionnelle à elle-même. Or la dérivée de la fonction exponentielle est une exponentielle telle que $(e^u)' = u' e^u$. En particulier $(e^{ax+b})'_x = a e^{ax+b}$. La fonction e^{ax+b} peut être écrite $e^b e^{ax} = C e^{ax}$. Ici $a = -\lambda$ et $C = N_0$ et la variable est $x = t$.

15- Le **temps de demi-vie** $t_{1/2}$ est la durée nécessaire à la désintégration de la moitié des noyaux d'un échantillon radioactif. Il est caractéristique du noyau radioactif et inversement proportionnel à la **constante radioactive**.

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

Preuve : la loi d'évolution temporelle d'une population de noyaux radioactifs est une courbe décroissante, elle permet de déterminer graphiquement le temps de demi-vie.



Si $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$, alors $\ln(N(t)) = \ln(N_0) - \lambda t$

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

Or $t_{1/2}$ correspond à $N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$

$$\text{d'où } t_{1/2} = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{N_0}{\frac{N_0}{2}}\right) = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

16- L'**activité A** (en Bq) d'un échantillon radioactif est le nombre moyen de désintégrations s'y produisant par seconde. L'activité peut être mesurée à l'aide d'un compteur de radioactivité appelé compteur Geiger-Müller. Un **Becquerel** (Bq) correspond à une désintégration par seconde. L'activité suit la même loi de décroissance que la population de noyaux radioactifs.

$$A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = \lambda N(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$$

Exemples : l'activité radioactive dépend de la quantité et donc de la masse d'isotope. Ainsi pour 1 g, l'iode 131 a une activité de $4,6 \cdot 10^{15}$ Bq, le césium 137 a une activité de $3,204 \cdot 10^{12}$ Bq, le plutonium 239 a une activité de $2,276 \cdot 10^9$ Bq et l'uranium 238 a une activité de $1,243 \cdot 10^4$ Bq.

17- La loi de décroissance radioactive permet de dater un échantillon si on connaît le nombre initial N_0 de noyaux radioactifs en mesurant l'activité $A(t)$ de l'échantillon ou le nombre $N(t)$ de noyaux restants à la date t .

Exemple : la **datation au carbone 14** est utilisée pour estimer l'âge de différents objets ou de matière autrefois vivante.

18- La radioactivité est un phénomène naturel, mais des éléments radioactifs artificiels sont régulièrement synthétisés soit pour les utiliser en radiothérapie, en imagerie médicale ou comme marqueurs par exemple, soit comme déchets dans les centrales nucléaires en particulier.