

1. Les isotopes

• Le noyau d'un atome est symbolisé par : A_ZX où :

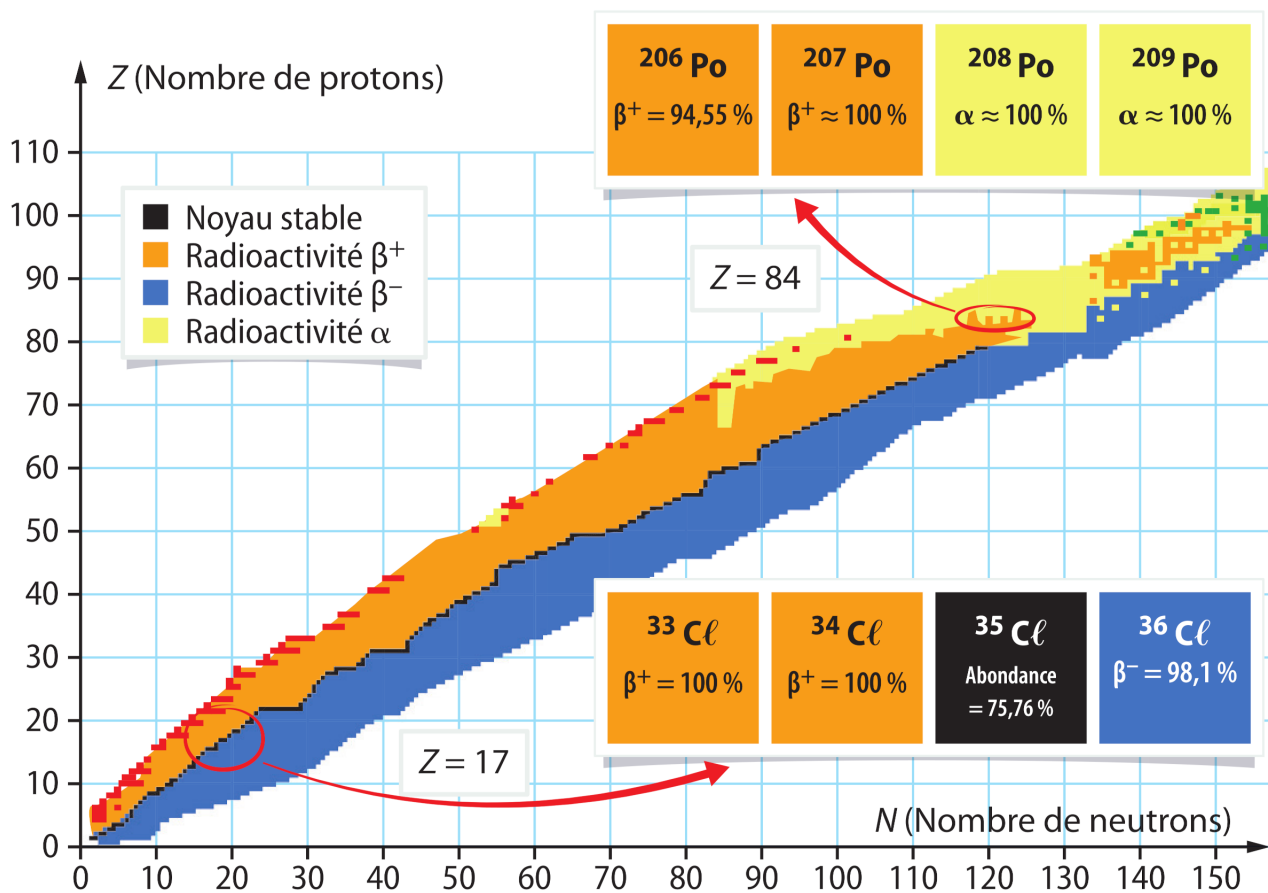
↳ A est le nombre de masse, c'est-à-dire le nombre de nucléons.

↳ Z le numéro atomique, ou nombre de protons.

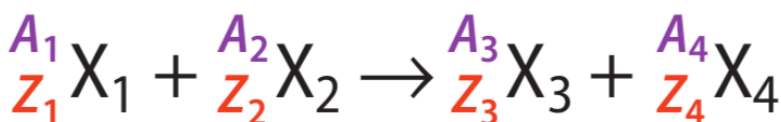
• Des atomes d'un même élément chimique de numéro atomique Z, dont le noyau diffère par le nombre de neutrons A - Z sont des isotopes de cet élément.

• La nature propose 300 isotopes stables et environ 10 000 isotopes instables, qui se désintègrent spontanément pour former le noyau d'un autre élément. Ces noyaux instables sont dits radioactifs.

↳ Le diagramme (N, Z) répertorie tous les isotopes connus.



• Lors d'une réaction nucléaire, il y a conservation du nombre de masse A et du nombre de charge Z :



Conservation de la masse :

$$A_1 + A_2 = A_3 + A_4$$

Conservation de la charge :

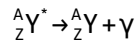
$$Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$$

2.1. Différents types de radioactivité

Radioactivité α	Radioactivité β^-	Radioactivité β^+
Un noyau trop gros se désintègre spontanément et émet une particule α , qui n'est autre qu'un noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$.	Un noyau possédant trop de neutrons se désintègre et émet une particule β^- qui n'est autre qu'un électron ${}^0_{-1}\text{e}$.	Un noyau possédant trop de protons se désintègre et émet une particule β^+ qui s'appelle le positron ${}^0_1\text{e}$.
${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y} + {}^4_2\text{He}$	${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^A_{Z+1}\text{Y} + {}^0_{-1}\text{e}$	${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^A_{Z-1}\text{Y} + {}^0_1\text{e}$
Exemple de l'uranium 238 : ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$	Exemple du tritium : ${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^0_{-1}\text{e}$	Exemple du fluor 18 : ${}^{18}_9\text{F} \rightarrow {}^{18}_8\text{O} + {}^0_1\text{e}$

2.2. Désexcitation γ

• La plupart des noyaux issus d'une désintégration radioactive sont dans un état excité noté par une étoile, indiquant un excès d'énergie. Le retour à l'état fondamental s'accompagne de l'émission d'un photon γ :



• Le rayonnement γ est une onde électromagnétique dont la longueur d'onde est inférieure à 1 picomètre soit 1.10^{-12} m. Ses photons sont de haute énergie puisque $E = h \cdot \nu$.

3.1. Activité d'une source

• Les désintégrations des noyaux instables sont spontanées, aléatoires et inéluctables.

• L'activité d'une source est le nombre de désintégrations par unité de temps. Elle se mesure à l'aide d'un compteur Geiger en Becquerel (Bq)

↳ Exemples d'activités

Corps humain : $120 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$. Radium : $1,6 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$.

• D'après sa définition, l'activité d'une source est donc également le nombre de noyaux disparus par unité de temps. Si l'on note $N(t)$ le nombre de noyau de la source à l'instant t , l'activité moyenne d'un échantillon radioactif est : $A_{\text{moyenne}} = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{\Delta t}$.

↳ Et du coup, en prenant la limite pour $\Delta t \rightarrow 0$, l'activité est l'opposé de la dérivée par rapport au temps du nombre de noyaux de la source :

$$A(t) = -\frac{dN}{dt}$$

3.2. Expression de l'activité d'une source

• On considère généralement que l'activité d'une source radioactive est proportionnelle au nombre de noyaux radioactifs qu'elle contient.

$$A(t) = \lambda \cdot N(t)$$

où λ est la constante radioactive du noyau qui ne dépend que du type de noyau. λ s'exprime en s^{-1} .

↳ Les constantes radioactives des noyaux radioactifs prennent des valeurs très diverses.

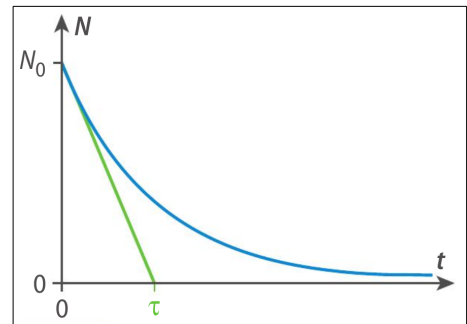
3.3. Évolution d'une population radioactive

• La définition et l'expression de l'activité d'un échantillon radioactif permettent d'établir l'équation différentielle vérifiée par la population $N(t)$: $\frac{dN}{dt} + \lambda N = 0$.

↳ La solution générale de cette équation est $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ N_0 étant la population de l'échantillon à l'instant $t = 0$.

• Comme dans les autres cas déjà étudiés (cinétique chimique d'ordre 1, loi de Newton, dipôle RC) une constante de temps que l'on peut noter τ apparaît qui vaut : $\tau = \frac{1}{\lambda}$: $\frac{dN}{dt} + \frac{1}{\tau} N = 0$

↳ L'équation de la tangente à la courbe $N(t)$ à $t = 0$ est : $N(t) = -\lambda N_0 \times t + N_0$. Cette tangente intercepte la droite $N = 0$ pour $t = \tau$, ce qui permet de le déterminer.



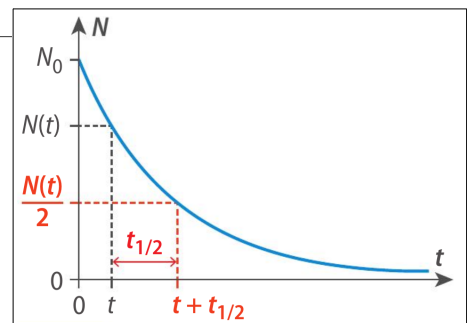
• Enfin, on remarque que, comme $A(t) = \lambda \cdot N(t)$, alors $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$ où $A_0 = \lambda N_0$.

3.4. Demi-vie radioactive

• La demi-vie $t_{1/2}$ est caractéristique d'un type de noyaux radioactifs. Elle est définie comme la durée nécessaire à la désintégration de la moitié des noyaux radioactifs présents à une date donnée.

↳ On peut montrer que la demi-vie $t_{1/2}$ d'un type de noyaux radioactifs est liée à la constante radioactive λ par la relation :

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



4.1. Datation

• Une radiodatation consiste à déterminer l'âge t d'un échantillon radioactif. Elle nécessite de connaître la constante radioactive du noyau radioactif considéré et de mesurer l'activité ou le nombre de noyaux radioactifs à la date t .

↳ L'atmosphère terrestre contient du plomb 210 radioactif, dont l'activité dans l'atmosphère est connue et constante. Elle est notée A_0 . Par ailleurs, la demi-vie $t_{1/2}$ du plomb 210 est de 22,2 ans.

Lorsqu'il neige, le plomb 210 de l'atmosphère est ramené au sol et son activité décroît. La mesure de cette activité $A(t)$ permet de déterminer l'âge de la neige étudiée.

Comme $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$, il vient $\ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right) = -\lambda t$. Puis avec $t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$, on a finalement : $t = -\frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right)$.

4.2. Applications médicales de la radioactivité

• Des noyaux radioactifs de courte durée de vie sont utilisés en médecine pour l'investigation (radiographie, scintigraphie, scanner, etc....) ou pour la stérilisation du matériel médical.

↳ Par exemple, l'iode 131 est utilisé pour réaliser des images de la thyroïde (scintigraphie)

• Ces mêmes noyaux sont également utilisés à des fins thérapeutiques, principalement par radiothérapie, interne (brachythérapie ou curiethérapie) ou externe.

En radiothérapie, les rayonnements ionisants sont utilisés pour le traitement de tumeurs bénignes et malignes. La radiothérapie peut aussi exceptionnellement servir à soigner d'autres maladies.

4.3. Risques et radioprotection

