Lycée Galilée Gennevilliers

La Décroissance radioactive

chap. 5

Jallu Laurent

I. « Mourir sans vieillir »

La désintégration des noyaux est aléatoire : il est impossible de savoir à quel moment se désintègre un noyau et combien de noyaux d'un échantillon se désintègrent.

Les noyaux radioactifs qui constituent une population étudiée ont tous la même probabilité de disparaître. Cette probabilité est constante et ne dépend pas du passé du noyau ni de la présence éventuelle d'autres noyaux.
Ils peuvent disparaître à chaque instant, indépendamment les uns des autres, ce phénomène est appelé « ***mourir sans vieillir*** ».

À partir d'un grand nombre de mesures, on peut cependant déterminer **le nombre moyen** $\bar{n}$ de désintégrations pendant l'intervalle de temps Δt :
$\bar{n} = |N(t+\Delta t) - N(t)| = -\Delta N(t)$ où $N(t)$ est le nombre de noyaux radioactifs présents à l'instant t.
Pendant la durée Δt, la variation $\Delta N(t)$ du nombre de noyaux est approximativement proportionnelle à Δt et à $N(t)$:

$$\boxed{\Delta N(t) \approx -\lambda\ N(t)\ \Delta t} \qquad (\lambda > 0)$$

Le réel λ ne dépendant pas du temps : c'est une mort sans vieillissement.

$\frac{\Delta N(t)}{\Delta t}$, « **la vitesse moyenne de variation du nombre d'atomes** » vérifie :

$$\frac{\Delta N(t)}{\Delta t} \approx -\lambda\ N(t)$$

En mathématiques on définit la dérivée de la fonction $N(t)$ à l'instant t par :

$$\lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta N(t)}{\Delta t} = N'(t) \qquad \text{ou} \qquad N'(t) = \frac{dN(t)}{dt}$$

C'est « **la vitesse instantanée** » de la variation du nombre d'atomes.

II. Évolution temporelle d'un échantillon d'atomes radioactifs

- ***Loi de décroissance radioactive***

On cherche une fonction $N(t)$ qui vérifie l'équation :

$$N'(t) = -\lambda\ N(t)$$

Elle donne une approximation satisfaisante du nombre d'atomes.

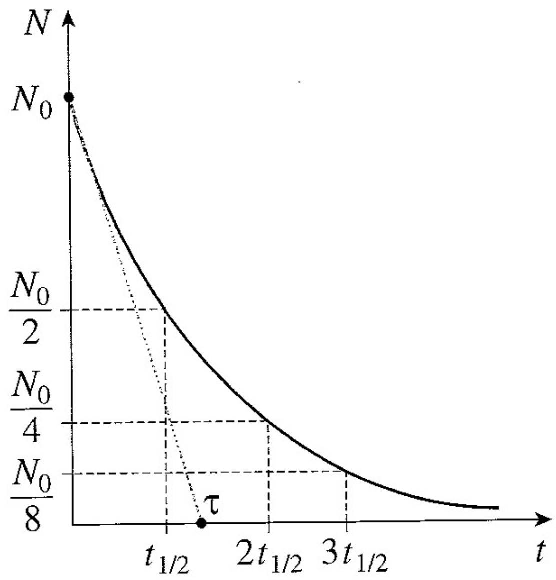
Ce nombre de noyaux radioactifs a donc une décroissance exponentielle :

$\boxed{N(t) = N_0\ e^{-\lambda t}}$, **Lois de probabilité exponentielles « mourir sans vieillir ».**

$N(t)$: nombre de noyaux radioactifs à l'instant t,
N_0 : nombre de noyaux radioactifs à l'instant $t = 0$,
t : temps (s),
λ : constante radioactive dont la valeur dépend de l'élément étudié (s^{-1}).

- ***Temps caractéristiques de décroissance***

☑ **La constante de temps $\tau = 1/\lambda$**



λ est la constante radioactive (s^{-1}).
Elle est obtenue par la tangente à la courbe à t = 0.
Au bout de t = 5τ, 99% des noyaux sont désintégrés.

☑ **Le temps de demi vie, noté $t_{1/2}$** ou période radioactive T

C'est le temps au bout duquel le nombre de noyaux radioactifs a diminué de moitié.

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

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

- ***Activité d'un échantillon***

Un noyau ne se désintègre qu'une seul fois, mais le nombre de noyaux d'un échantillon est considérable (une mole = 6,02.10 ^{23} atomes). L'émission radioactive s'étale donc dans le temps.

L'activité de l'échantillon est le **nombre moyen de désintégrations par seconde** :

$$A = \frac{\bar{n}}{\Delta t} = \frac{-\Delta N}{\Delta t}.$$ Soit pour un temps très court dt :

$$A(t) = -\frac{dN}{dt} \Rightarrow A(t) = -N_0.(-\lambda).e^{-\lambda t} = +\lambda\, N_0.e^{-\lambda t}$$

donc $A(t) = \lambda.N(t)$ et $A_0 = -\lambda N_0$

A : activité en becquerel (Bq),
N(t) : nombre de noyaux radioactifs à l'instant t,
dN/dt : la dérivée de N par rapport au temps (c'est le coefficient directeur de la droite tangente à la courbe N = f(t).

- ***Décroissance de l'activité radioactive***

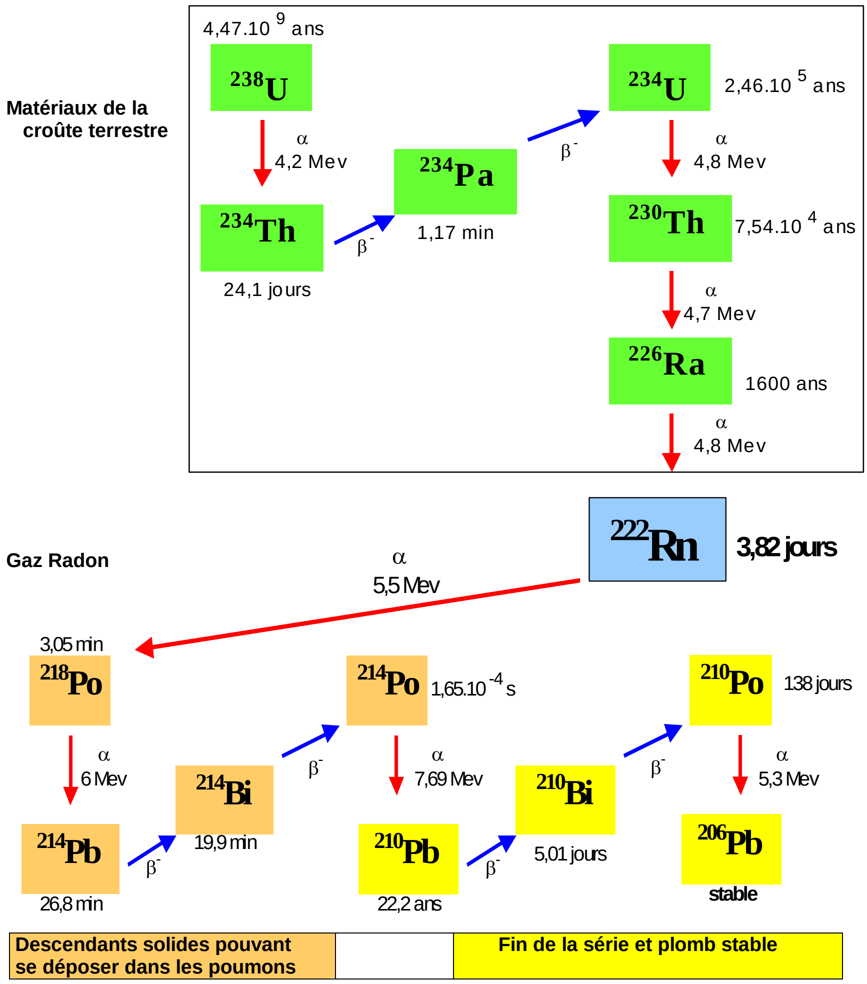
$$A(t) = A_0\, e^{-\lambda t}$$

A(t) : activité à l'instant t (Bq),
A_0 : l'activité à l'instant t = 0 (Bq),
t : temps (s),
λ : constante radioactive dont la valeur dépend de l'élément étudié (s^{-1}).

Au bout de t = 5τ, 99% des noyaux sont désintégrés ce qui correspond à une baisse de 99% de l'activité.
$t_{1/2}$ est le temps au bout duquel l'activité, comme le nombre de noyaux radioactifs, a diminué de moitié

- ***Famille radioactive***

Exemple de la famille radioactive de l'uranium 238 :
« Parce que sa période radioactive ou demi-vie est proche de 4,5 milliards d'années, l'uranium 238 est toujours présent sur Terre. Il continue donc de produire l'uranium 234, lui-même source du thorium 230 qui, par le biais d'une émission a, se transforme en radium, dont la période radioactive avoisine les 1600 ans. Un processus similaire crée le radon, divers isotopes du polonium, du bismuth et enfin du plomb, dont les périodes radioactives sont toujours plus courtes. Parce qu'il est particulièrement stable, le plomb 206 constitue le dernier maillon de cette chaîne radioactive. Il est donc présent en grandes quantités sur notre planète. La mesure de la teneur en plomb des roches contenant de l'uranium a d'ailleurs permis d'en fixer l'âge à 4,6 milliards d'années. Des milliards d'années durant lesquelles notre planète s'est transformée, sous les effets combinés de séismes et d'éruptions volcaniques. Autant d'activités telluriques dont l'origine est à attribuer au phénomène de radioactivité. C'est que ces émissions a, b et g s'accompagnent d'un fort dégagement de chaleur en effet, qui entretient la chaleur interne de notre planète. »



III. Applications

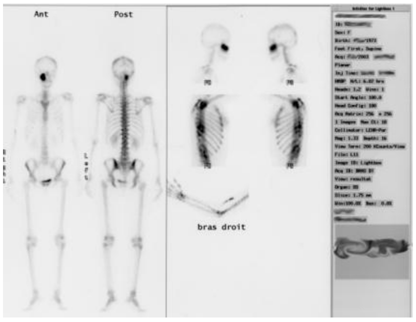
- ***Les dangers***

Ils dépendent de l'activité, de la nature du rayonnement, de la proximité et de la durée de l'exposition au rayonnement radioactif. La nocivité $\gamma > \beta > \alpha$. L'homme vit dans un milieu radioactif : la terre 500 à 5000 Bq, le lait 80 $Bq.L^{-1}$, l'homme 130 $Bq.kg^{-1}$, les engrais au phosphates 10^5 Bq par sac de 50 kg.

- ***Médecine***

Scintigraphie, stérilisation, destruction des tumeurs.

Gamma caméras permettant la captation des rayonnements émis.



Scintigraphie osseuse

- ***Datation***

La méthode de datation au carbone 14 permet de mesurer l'âge des momies avec une précision de quelques décennies.

La méthode de datation au carbone 14, mise au point il y a une cinquantaine d'années, a complètement bouleversé l'archéologie. Grâce à elle, on a pu dater plus précisément les sites et les dessins rupestres des peuples primitifs européens, à Stonehenge et Lascaux, par exemple.

Cette méthode est utilisée essentiellement pour dater les objets de moins de 40 000 ans, date au-delà de laquelle la détection du carbone 14 devient difficile.

Son principe repose sur l'hypothèse selon laquelle le rapport $^{14}C/^{12}C$ dans l'atmosphère est, en première approximation, indépendant du temps. En effet, la quantité de ^{14}C produite (par différentes familles radioactives) est égale à la quantité de ^{14}C désintégrée pendant des durées identiques.

Les organismes fixant le carbone de l'atmosphère lors de leur métabolisme contiennent donc les deux isotopes dans les proportions de celles de l'atmosphère.

Si l'organisme meurt, son métabolisme cesse et le rapport $^{14}C/^{12}C$ diminue à cause de la décroissance radioactive du ^{14}C.

Une mesure précise de l'activité de l'échantillon permet donc, par comparaison avec un échantillon de référence, de remonter à l'âge de l'organisme.

A_0 activité est l'activité du ^{14}C dans les organismes vivants. L'activité est fixe car le ^{14}C est renouvelé constamment dans l'organisme. À la mort il n'y a plus de renouvellement du ^{14}C, donc N (^{14}C) diminue et l'activité aussi. La mesure de A permet de déterminer t par la relation $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$.