Datation radioactive

III) Décroissance radioactive :

Voir animation N°

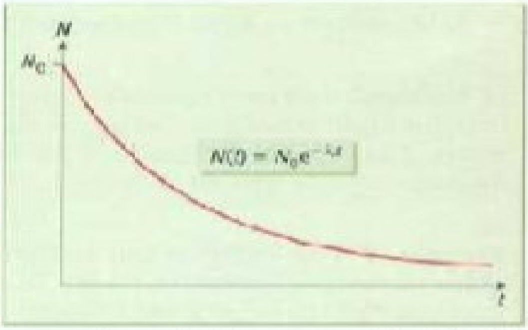
La radioactivité d'un noyau est aléatoire et non prévisible. Ce pendant la radioactivité d'un grand nombre de noyaux (1 mole = $6{,}02.10^{23}$ atomes) est prévisible et respecte des règles.

➢ ***Loi de décroissance exponentielle :***

On rappelle que la désintégration des noyaux radioactifs au **niveau microscopique est aléatoire**, mais au niveau **macroscopique**, le nombre moyen N de noyaux restants dans l'échantillon suit une **loi déterminée** : loi de ***décroissance exponentielle***

$$\boxed{N(t) = N_0 \times e^{-\lambda t}}$$

Voir l'Animation N° 5



. Le nombre de noyaux radioactifs d'un échantillon diminue au cours du temps, en suivant la loi de décroissance radioactive.

- $N(t)$: le nombre de noyaux radioactifs restants à l'instant t.
- N_0 : le nombre de noyaux radioactifs à l'instant t = 0.
- λ : la constante radioactive ou constante de désintégration elle dépend du noyau radioactif.

Pour connaître l'unité de cette constante, faisons une analyse dimensionnelle :

$$N(t) = N_0 \times e^{-\lambda t} \Rightarrow N(t) / N_0 = e^{-\lambda t} \textit{donc} \left[N(t) / N_0\right] = \left[e^{-\lambda t}\right]$$

$N(t) / N_0$ est un nombre sans unité donc $e^{-\lambda t}$ est aussi un nombre sans unité donc $\left[N(t) / N_0\right] = \left[e^{-\lambda t}\right] = 1$ d'où $[\lambda \times t] = 1 \Rightarrow [\lambda] \times [t] = 1$

$$[\lambda] = T^{-1}$$

➢ ***Constante de temps :*** ***voir animation N°6***

La constante de temps, notée τ est l'inverse de la constante radioactive :

$$\boxed{\tau = \frac{1}{\lambda}}$$

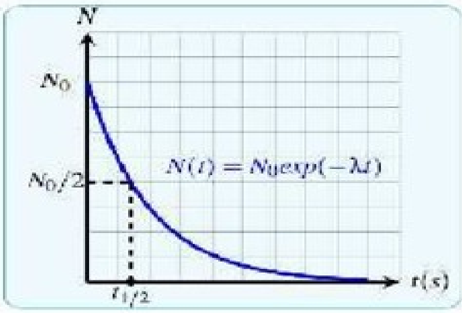
Expression de $t_{1/2}$ en fonction de la constante radioactive

Voir Doc sur les formules de la fonction logarithme népérien

A $t = t_{1/2}$ on a $N(t_{1/2}) = \dfrac{N_0}{2}$ et d'après la loi de décroissance radioactive : $\dfrac{N_0}{2} = N_0 \times e^{-\lambda t_{1/2}} \Rightarrow \dfrac{1}{2} = e^{-\lambda t_{1/2}}$

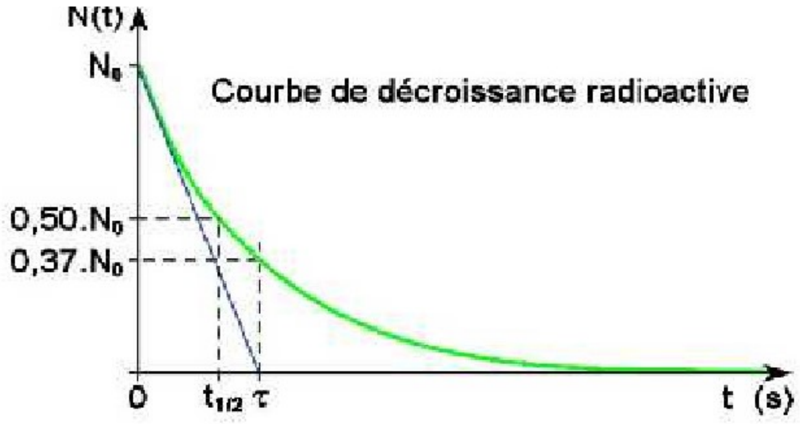
par application de la fonction logarithme népérien :

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = \ln\left(e^{-\lambda t_{1/2}}\right) \Rightarrow -\ln(2) = -\lambda \times t_{1/2}$$



La demi-vie **ne dépend donc que de** la constante radioactive **λ** (pas de N_0).

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

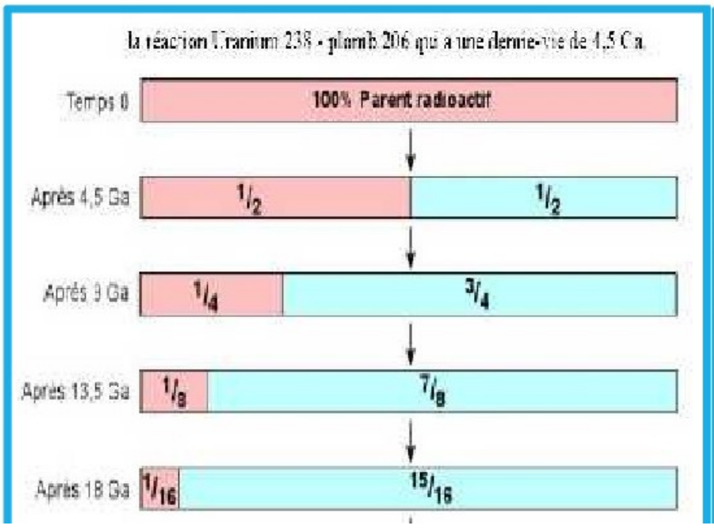


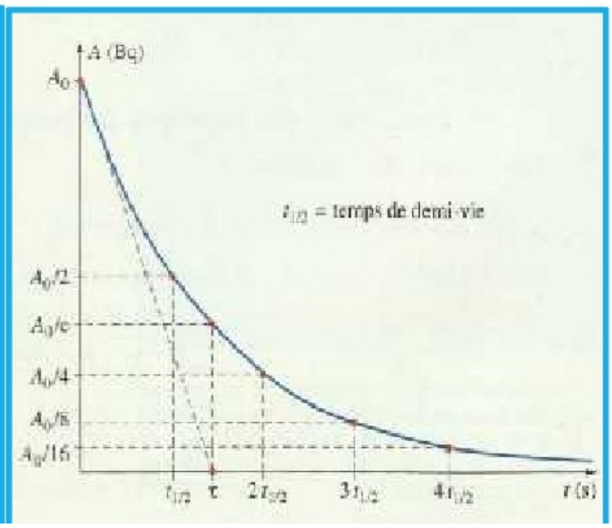
- ***Demi-vie radioactive :***

✓La durée de demi-vie $t_{1/2}$ d'un échantillon radioactif est égale à la durée nécessaire pour que pour que la population de noyau passe de N_0 à $N_0/2$.
✓C'est le temps qui caractéristique chaque décroissance radioactive.
✓La durée de demi-vie est homogène à un temps, elle s'exprimera en s ou plus souvent dans une unité plus adaptée.

Exemple :

Noyau radioactif	Symbole	Demi-vie $t_{1/2}$	Origine
Rubidium 87	${}^{87}_{37}Ru$	$4,85 \cdot 10^{10}$ ans	Certaines roches
Uranium 238	${}^{238}_{92}U$	$4,46 \cdot 10^{9}$ ans	Certaines roches
Uranium 235	${}^{235}_{92}U$	$7,04 \cdot 10^{8}$ ans	Certaines roches
Radium	${}^{226}_{88}Ra$	1 600 ans	Roches terrestres riches en uranium
Carbone 14	${}^{14}_{6}C$	5 730 ans	Atmosphère et composés carbonés
Césium 137	${}^{137}_{55}Cs$	30,2 ans	Produits des réacteurs nucléaires
Radon 222	${}^{222}_{86}Rn$	3,8 jours	Gaz provenant de roches granitiques





IV) Activité d'une source radioactive :

4-1/ Définition :

L'activité **a(t)** d'une source radioactive est le nombre de noyaux radioactifs se désintégrant par seconde. C'est aussi le nombre de particule ou de photons émis par unité de temps.

Si dans un intervalle de temps dt, - dN nucléides se sont désintégré, l'activité vaut :

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

Unité : becquerel « 1 Bq = 1 s^{-1} »

A l'aide de la loi de désintégration non obtient :

$$a(t)=\frac{-dN(t)}{dt}=\frac{-d\left(N_0\times e^{-\lambda t}\right)}{dt}=\lambda\times N_0\times e^{-\lambda t}$$

Donc : $$\boxed{a(t)=\lambda\times N(t)}$$

Avec $a_0=\lambda\times N_0$ on obtient $$\boxed{a(t)=a_0\times e^{-\lambda t}}$$

Remarque :

On peut aussi exprimer la loi de décroissance radioactive par la masse m ; en fonction de m_0 la masse initiale d'un échantillon radioactif :

$$\boxed{m(t)=m_0\times e^{-\lambda t}}$$

Ou par la quantité de matière n(t) en fonction de la quantité initiale d'un échantillon : $n(t)=n_0\,e^{-\lambda t}$

$$\boxed{n(t)=n_0\times e^{-\lambda t}}$$

V) Comment dater un événement grâce à la radioactivité ?

La radioactivité, en tant que phénomène dépendant du temps, permet de dater de nombreux objets (éléments du système solaire, roches, corail, nappe d'eau emprisonnée, objets, ...).

Pour dater un objet, on mesure l'activité des éléments radioactifs qu'il contient. Divers noyaux radioactifs sont utilisés selon l'ordre de grandeur de l'âge à mesurer.

Désintégration du carbone 14

Les organismes vivants (végétaux ou animaux) échangent à chaque instant du carbone avec l'atmosphère (respiration, photosynthèse) ainsi qu'avec des composés organiques (nutrition)

L'élément carbone comporte essentiellement deux isotopes : ${}^{12}_{6}C$ stable et ${}^{14}_{6}C$ en très petite proportion, radioactif et émetteur β^-. La valeur de la demi-vie de ce dernier est 5570 ans

Tant que l'organisme est vivant, les échanges avec le milieu extérieur maintiennent constante sa teneur en carbone 14, égale à celle de l'atmosphère.

Lorsque l'organisme meurt, le carbone 14 n'est plus renouvelé. Il se désintègre alors selon la loi de décroissance radioactive : ${}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e$

$$a(t)=a_0 \times e^{-\lambda t} \text{ et } \lambda=\frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \Rightarrow \frac{a(t)}{a_0}=e^{-\lambda t} \text{ d'où } -\lambda \times t=\ln\left(\frac{a(t)}{a_0}\right) \Rightarrow t=\frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \times \ln\left(\frac{a_0}{a(t)}\right)$$

Donc pour dater un échantillon archéologique, il faut :

☞ mesurer l'activité d'une masse connue de cet échantillon a(t)

☞ mesurer l'activité a_0 de la ***<u>même masse</u>*** d'un échantillon actuelle du même matériau.

Donc l'âge ***t*** de l'échantillon est donné par la relation :

$$\boxed{t=\frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \times \ln\left(\frac{a_0}{a(t)}\right)}$$

Exemple :

Activité **a(t)** d'un gramme de charbon ancien, trouvé dans un foyer préhistorique est $4{,}0.10^{-2}$ Bq. L'activité a_0 d'un gramme de charbon récent est 0,23 Bq. Quel est l'âge du foyer préhistorique ?

On donne : $t_{1/2}$ = 5570 ans.