Fiche réalisée par P.Bourton

Chap 05 – Décroissance radioactive

I) Loi de décroissance radioactive :

1) Nombre de désintégrations pendant une durée Δt :

On considère un échantillon contenant N noyaux radioactifs (non désintégrés) à un instant t .
Ce nombre est noté N_0 à l'instant t_0 = 0s pris comme instant initial.

Pendant une durée Δt très brève, un certain nombre de noyaux radioactifs se sont désintégrés.

Soit $N+\Delta N$ le nombre de noyaux radioactifs non désintégrés à la date $t+\Delta t$.

($\Delta N < 0$ car N diminue)

Le nombre moyen (phénomène aléatoire) de noyaux désintégrés pendant la durée Δt est :

$N_t - N_{t+\Delta t} = N - (N + \Delta N) = - \Delta N > 0$

Ce nombre moyen de désintégrations pendant la durée Δt est proportionnel:

- Au nombre N de noyaux radioactifs présents dans l'échantillon à la date t.
- A la durée Δt. (Si Δt est petit par rapport à t, si Δt double alors le nombre de désintégrations qui se produisent, double aussi).

On a donc : $- \Delta N = \lambda.N.\Delta t$ où λ est la constante radioactive, caractéristique d'un radioélément.

$- \Delta N = \lambda.N.\Delta t \quad \Rightarrow \quad - \Delta N / N = \lambda.\Delta t$

Analyse dimensionnelle : $[\lambda]= [- \Delta N /(N. \Delta t)] = [T]^{-1}$

λ s'exprime en s^{-1}, min^{-1}, h^{-1}, $jour^{-1}$ ou an^{-1}.

noyau radioactif	uranium 238	carbone 14	césium 137	iode 131
constante radioactive λ	$1{,}5.10^{-10}$ an^{-1}	$1{,}2.10^{-4}$ an^{-1}	$2{,}3.10^{-2}$ an^{-1}	$8{,}5.10^{-2}$ $jour^{-1}$

L'inverse de la constante radioactive est homogène à une durée .
On définit aussi $\tau = 1 / \lambda$ où τ est appelée constante de temps.

2) Décroissance exponentielle :

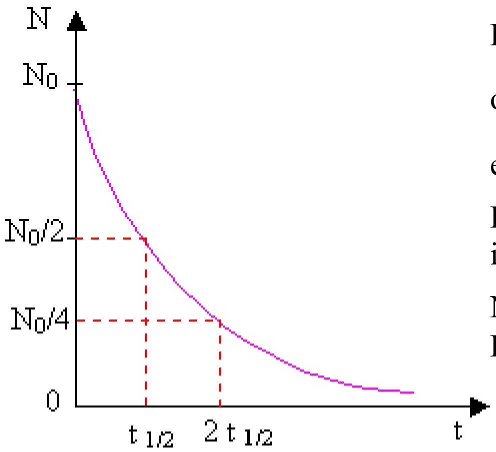
L'évolution du nombre de noyaux radioactifs présents dans un échantillon au cours du temps est donnée par : $- \Delta N / N = \lambda.\Delta t$

(Par définition, la dérivée de la fonction N(t) par rapport au temps est : $N'(t) = \lim_{(\Delta t \to 0)} \Delta N / \Delta t$.)

Si Δt tend vers 0, la relation devient $- dN/N = \lambda.dt$

(en prenant l'intégrale, on obtient : $\int_{No}^{N} dN / N = - \lambda. \int_{0}^{t} dt \Rightarrow \ln(N/N_0) = - \lambda.t \Rightarrow N / N_0 = e^{-\lambda.t}$

$\Rightarrow N = N_0.e^{-\lambda.t}$. Rappel : $y = e^{a.x}$, $y' = a.e^{a.x}$, $y' = a.y$)



La fonction N(t) qui vérifie cette propriété est : $N = N_0 \, e^{-\lambda.t}$

où N_0 est le nombre de noyaux radioactifs à l'instant initial

et λ est la constante radioactive.

D'après cette fonction, la durée de désintégration totale est infinie.

N est une fonction décroissante du temps
Plus λ est grande, plus la décroissance de N est rapide

3) Demi-vie radioactive :

a) Définition :

La demi-vie radioactive, notée t ½ , d'un échantillon de noyaux radioactifs est égale à la durée nécessaire pour que, statistiquement, la moitié des noyaux radioactifs présents dans l'échantillon se désintègrent. $N(t + t_{½}) = N(t) / 2$

b) Calcul de la demi-vie t ½ :

$N(t + t_{½}) = N(t) / 2 \Rightarrow N_0.e^{-\lambda(t+ t_{½})} = N_0.e^{-\lambda t} / 2 \Rightarrow e^{-\lambda t_{½}} = 1 / 2$

$\Rightarrow - \lambda.t_{½} = \ln ½ = - \ln 2 \Rightarrow t_{½} = \ln 2 / \lambda = \tau.\ln 2$

II) Activité radioactive :

1) Définition :

L'activité A radioactive est égale au nombre moyen de désintégrations par seconde .

$A = N_{désint.} / \Delta t = - \Delta N / \Delta t$ ($A > 0$)
Elle s'exprime en becquerels dont le symbole est Bq (1 Bq = 1 désintégration par seconde).

(Le curie (Ci) est aussi une unité d'activité . Il vaut $3{,}7.10^{10}$ Bq.)

$A = - \Delta N / \Delta t = \lambda.N = \lambda.N_0.e^{-\lambda.t} = A_0.e^{-\lambda.t}$

L'activité suit la même loi de décroissance exponentielle que N.

source	1 L d'eau	1 kg granit	homme (70kg)	1 kg d'uranium	1 g plutonium
activité (en Bq)	10	1 000	10 000	25.10^6	2.10^9

2) Dangerosité et effet biologique :

Plus l'activité d'une source est grande, plus elle est dangereuse.
L'action sur les tissus vivants dépend de plusieurs paramètres, du nombre de particules reçues par seconde, qui dépend de l'activité A et de la distance de la source; de l'énergie et de la nature des particules ; du fractionnement de la dose reçue et de la nature des tissus touchés.

Cela peut provoquer des réactions chimiques et des modifications de l'ADN .

III) Datation :

1) Principe :

$A = A_0.e^{-\lambda t} \Rightarrow A / A_0 = e^{-\lambda t} \Rightarrow \ln(A/A_0) = -\lambda.t \Rightarrow t = \ln(A_0/A) / \lambda$

En connaissant un radioélément contenu dans l'objet , on détermine sa constante λ .

On peut mesurer A, si l'on connaît l'activité A_0 de l'échantillon ,alors on peut connaître la date d'origine t de l'objet.

2) Datation au carbone 14

La proportion de carbone 14 par rapport à l'isotope 12 abondant est de l'ordre de 10^{-12} , elle est à peu près constante car il est régénéré dans l'atmosphère. Il en est de même dans le dioxyde de carbone de l'atmosphère. Or tous les organismes vivants échangent du CO_2 avec l'atmosphère soit par photosynthèse , soit par l'alimentation. Les tissus fixent l'élément carbone. La proportion de carbone 14 dans les tissus est donc identique à celle de l'atmosphère tant que l'organisme est en vie. A leur mort, la quantité de carbone 14 diminue selon la loi de décroissance radioactive.

$t_{1/2}$ (^{14}C) ≈ 5570 ans

Fiche réalisée par P.Bourton