Physique chimie terminale S
Datation carbone 14

Table des matières

Objectif d'apprentissage	Contenus
L'apprenant doit être capable de (d') : • Déterminer l'âge d'un objet ancien	• Datation d'un objet ancien avec le Carbone14 • Diminution exponentielle du nombre de noyaux radioactifs au cours du temps • Définition de la période radioactive et l'activité d'un nucléide

Chapitre II : Datation Carbone 14 (^{14}c)

I. Lois de décroissance radioactive :

1. Décroissance radioactive :

Soit un échantillon radioactif,

- N_0 le nombre de noyau radioactif présent à la date $t=0$
- N le nombre de noyau présent (non désintégrés) à la date t
- $N-\Delta N$ le nombre de noyaux radioactifs (non désintégrés) encore présents dans l'échantillon pendant Δt

Le nombre de noyaux désintégrés qui se désintègrent pendant Δt est donc

$$\frac{Nf - Ni = (N-\Delta N)-N}{\Delta t} = \frac{-\Delta N}{\Delta t}$$

ce nombre est proportionnel au nombre N de noyaux présents qui s'écrit $\frac{-\Delta N}{\Delta t} = \lambda N$

$$\int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = \int_0^t -\lambda dt \Rightarrow Ln\frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

$$\Rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

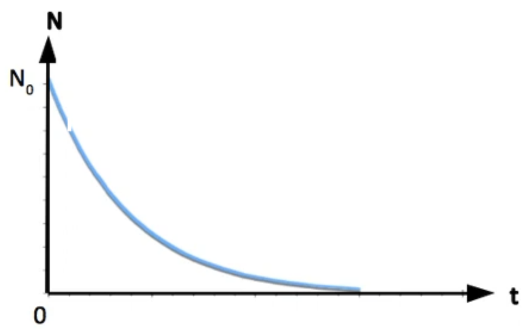
$$\Rightarrow N = N_0 e^{-\lambda t}$$

*λ : constante radioactive (**min^{-1}, h^{-1}, $jour^{-1}$** ou **an^{-1}**)*

Si $\Delta t \rightarrow 0$ alors l'expression devient $\frac{-dN}{dt} = \lambda N$ **c'est l'équation différentielle de la désintégration**

La solution de cette équation différentielle s'écrit $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$

Cela montre que la décroissance radioactive est une fonction exponentielle décroissante négative



Remarque : Un échantillon d'une substance radioactive de masse m(t) contient $N(t) = \frac{m(t)}{M} N_A$; N_A le nombre d'Avogadro et M la masse molaire de la substance.

On en déduit $\boldsymbol{m(t) = m_0 e^{-\lambda t}}$

Application :

1) Écrire la loi de décroissance radioactive, caractérisant l'évolution temporelle du nombre N de noyaux radioactifs contenus dans un échantillon.
   Montrer que l'évolution temporelle les quantités de matière n et de la masse m des noyaux radioactifs d'un échantillon est de la même forme
2) La demi-vie d'une source radioactive composée d'une masse m =100g de noyaux radioactifs est $t_{1/2}$= 2400h. Calculer la masse de noyaux radioactifs restants au bout d'un an.

Solution :

1) La loi de décroissance radioactive caractérisant N noyaux contenus dans un échantillon
   $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$

   Montrons que la masse **m** et les quantités de matière **n** suivent aussi la même loi.

   m= $\boldsymbol{\frac{M*N}{N_A}}$ donc N et m sont proportionnels donc m suit aussi la loi de décroissance exponentielle **m=m₀**$\boldsymbol{e^{-\lambda t}}$, **m₀ =** $\boldsymbol{\frac{M}{N_A}}$***N₀**

2) Masse du noyau restant au bout d'un an

   m = m₀$\boldsymbol{e^{-\lambda t}}$ avec $\boldsymbol{\lambda = \frac{ln2}{T}}$ **on a** **m= m₀**$\boldsymbol{e^{-\frac{ln2}{T}t}}$ **m = 70g**

2. Activité radioactive :

L'activité A d'une source est égale au nombre moyen de désintégration par seconde dans l'échantillon :

$$\boldsymbol{A = -\frac{\Delta N}{\Delta t}}$$

L'activité se mesure en becquerels (Bq). **1 Bq = 1 désintégration par seconde**.

Autre unité de mesure :
1 Ci = 37 GBq = 37 . 10^9 Bq
1 mCi= 37 MBq = 37. 10^6 Bq
1 µCi= 37 kBq= 37. 10^3 Bq

Expression :

D' après la relation$-\Delta N = \lambda N \Delta t$, l'activité $A = -\frac{\Delta N}{\Delta t}$ peut s'écrire : $A = \lambda N$

L'activité A et le nombre N de noyaux sont proportionnels à chaque instant.
L'activité suit aussi une loi de décroissance radioactive exponentielle.

Comme$\boldsymbol{N(t) = N_0 e^{-\lambda t}}$, on peut écrire en posant $\boldsymbol{A_0 = \lambda N_0}$

D'où $\boldsymbol{A = A_0 e^{-\lambda t}}$

Appl2 :

1) Définir l'activité A d'une source radioactive. Quel est le lien entre A(t) et le nombre de noyaux radioactifs à l'instant t considéré ? Exprimer A(t).

2) Une source radioactive de demi-vie t = 65,0 ans comporte 1,256.10^{21} noyaux radioactifs à un instant t. Calculer l'activité de cette source à l'instant t.

Solution :

1) Lien entre A et N : A=λN

   Expression de l'activité A : $A = A_0 e^{-\lambda t}$

2) L'activité de la source radioactive à l'instant t :

A=λN avec λ=$\frac{ln2}{t}$ donc A=$\frac{ln2}{t}$N A= 424,70.10^9Bq

3. Demi-vie radioactive ou période

C'est la durée nécessaire pour que statistiquement la moitié des noyaux de l'échantillon présents à la date t soient désintégrés à la date ($t + t_{1/2}$). Donc à ($t + t_{1/2}$), $N(t + t_{1/2})=\frac{N(t)}{2}$

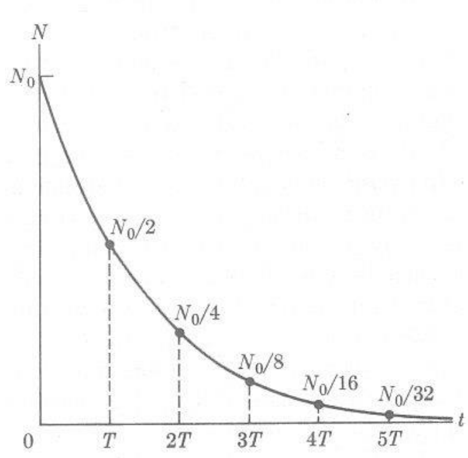
Expression :

- $N(t + t_{\frac{1}{2}})= \frac{N_0 e^{-\lambda t}}{2}$

•$N_0 e^{-\lambda(t+t_{\frac{1}{2}})} = \frac{N_0 e^{-\lambda t}}{2}$

En simplifiant, on obtient $e^{-\lambda t_{1/2}}=\frac{1}{2}$ D'où $T = t_{1/2}=\frac{\ln 2}{\lambda}$

La demi-vie radioactive $t_{1/2}$est une caractéristique de chaque type de noyau radioactif. Elle ne dépend que de la constante radioactive λ.



<u>Exemples de demi-vie radioactive de quelques noyaux radioactifs :</u>

Noyau radioactif	**Demi-vie $t_{1/2}$**
Uranium 238	4,5 .10^9 ans
Carbone 14	5730 ans
Radium	1620 ans
Césium 137	30 ans
Iode 131	8,1 jours
Polonium 212	3. 10^{-7} s

II. Datation :

1. Origine du carbone 14 dans l'atmosphère :

Le carbone 14 provient des désintégrations des noyaux d'azote dans la haute atmosphère causée par les rayons cosmiques.

2. Période et constante radioactive du carbone 14:

Période du carbone 14 : $t_{1/2} = 5730$ans

Constante radioactive : $\lambda = \frac{ln2}{t} = 1{,}210.10^{-4}$ ans^{-1}

3. Principe :

Utiliser un échantillon radioactif en tant qu'horloge, c'est lui demander de nous donner une date t.

Mathématique, la date t peut être trouvée par deux méthodes :

1ère méthode : détermination par la proportion de carbone 14 dans l'échantillon à dater

On utilise le rapport du carbone 14 et du carbone 12 dans l'échantillon qui est donné par la spectrométrie de masse qu'on note

$$r = \frac{{}^{14}C_{échantillon}}{{}^{12}C_{échantillon}}$$

Le carbone 12 est constant au cours du temps donc ${}^{12}C_{echantillon} = {}^{12}C_{actuel}$

D'où $r = \frac{{}^{14}C_{échantillon}}{{}^{12}C_{actuel}}$

Le ratio initial des carbones 14 et 12 est $r_0 = \frac{{}^{14}C_{actuel}}{{}^{12}C_{actuel}}$ car le ratio est constant dans le temps

$$r = r_0 e^{-\lambda t}$$

$$e^{-\lambda t} = \frac{r}{r_0}$$

$$\lambda t = \ln\left(\frac{r_0}{r}\right)$$

$$t = \frac{1}{\lambda}\ln\left(\frac{r_0}{r}\right)$$

2ère méthode : détermination par la radioactivité de l'échantillon

La date $\boldsymbol{t}$ peut être aussi déterminée par l'activité de l'échantillon qui est obtenu par le compteur de Geiger

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

$$\boldsymbol{t} = \frac{1}{\lambda}\ln\frac{A_0}{A}$$

(pour la démonstration revoir cours loi de désintégration)

L'activité peut être exprimée en (dpm par g) ou en (dps= Bq par g)

Application :

La mesure de la radioactivité du carbone 14 dans des bois carbonisés lors d'une éruption volcanique dans le Massif Central donne en moyenne 4,8 désintégrations par gramme et par minute (dpm) alors qu'un bois vivant donne 13.5 dpm en moyenne.

Evaluer la date de l'éruption volcanique.

Donnée : constante radioactive du $^{14}C : \lambda = 1.24.10^{-4}$ *année*$^{-1}$

Solution

L'éruption volcanique coïncide avec la mort du bois. Sa teneur en carbone 14 décroit suivant la loi de désintégration: $N = N_0 e^{-\lambda t}$, de même que son activité A. On a donc $A = A_0 e^{-\lambda t}$ avec A en dpm et t en *années*

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \Longrightarrow t = -\frac{1}{\lambda}\ln\frac{A}{A_0}$$

$$\boldsymbol{AN:} t = -\frac{1}{1.24.10^{-4}}\ln\frac{4.8}{13.5} \approx 8{,}3\,.\,10^3 années$$

III. Exercices :

Exercice 1 :

Le polonium se désintègre en émettant des particules α. La réaction nucléaire correspondante a pour équation-bilan :

$$^{239}_{94}Po \rightarrow {}^{206}_{82}Pb + {}^{4}_{2}He$$

1) A la date t = 0, on considère une masse m_0= 1 g de polonium.
   Quelle est, à la date t' = 277 jours, la masse d'hélium obtenue ?

2) Quelle masse de polonium reste-t-il au bout de deux ans ?

Données : Masse de la particule $\alpha \approx 4$ g.mol^{-1}; M(Po) $\approx$ 210g.mol^{-1} ; $t_{1/2}$ (Po) = 138,5 jours ; 1 année = 365,25 jours ; $N_A = 6{,}02.10^{23}$ mol^{-1}

Exercice 2 :

Le thorium $^{227}_{90}Th$ est un émetteur radioactif α.

1) Ecrire l'équation-bilan de sa désintégration radioactive sachant qu'elle mène au radium Ra.

2) Déterminer l'activité de 1 mg de thorium Th.

Données : $t_{1/2}$ (Th) = 18,3 jours ; $N_A = 6{,}02 .10^{23}$ mol^{-1} ; M(Th) $\approx$ 227 g.mol^{-1}

Datation carbone 14

Exercice 3:

Un tronc fossilisé présent une radioactivité de 8,56 désintégrations par minute et par gramme. La radioactivité naturelle du bois est de 13,56 désintégrations par minute et par gramme. Retrouver l'âge du tronc d'arbre fossilisé.

Exercice 4 :

Lors d'explosion volcaniques récentes en Auvergne, des forets ont été enfouies sous les cendres. On peut aujourd'hui dater ces éruptions en déterminant le quotient du nombre d'atomes de carbone 14 par le nombre d'atome de carbone 12 dans les bois fossilisés :

Lieu de gisement en Auvergne	**Quotient** $^{14}C_{ech} / ^{12}C_{actuel}$
Montcyneire	$5{,}0.10^{-13}$
Lassolas	$3{,}8.10^{-13}$

Retrouver l'âge des éruptions.

Exercice 5: Datation carbone 14

Sur un nouveau site archéologique, un scientifique découvre un morceau de bois fossilisé, qu'il décide de dater au carbone 14 ($t_{1/2}$=5730ans).

Il a au laboratoire un échantillon de bois vivant qui donne 96.5 désintégrations pour 10,0 grammes de carbone en une minute.

Le bois fossilisé pèse 64,5g et donne 288 désintégrations en une minute.

Calculer l'âge de ce bois et dites s'il date du paléolithique (de -2millions à 10000ans) ; du mésolithique (de -10000 à 6000ans) ou du néolithique (de -6000 à 2000ans).