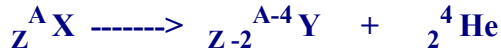


par Gilbert Gastebois

1. Différents types de désintégrations radioactives

1.1 Radioactivité α (Émission d'un noyau d'hélium 4)



Radioactivité spécifique des noyaux lourds.

1.2 Radioactivité β^- (Émission d'un électron et d'un antineutrino électronique)



Radioactivité des noyaux ayant trop de neutrons. Un neutron s'y transforme en proton :



1.3 Radioactivité β^+ (Émission d'un positron et d'un neutrino électronique)



Radioactivité des noyaux ayant trop de protons. Un proton s'y transforme en neutron :



1.4 Capture électronique (Émission d'un neutrino électronique)



Radioactivité des noyaux ayant trop de protons. Un proton capture un électron de la couche K :



1.5 Fission spontanée (Rupture spontanée du noyau avec émission de un, deux ou trois neutrons)



Radioactivité des noyaux lourds ($A > 230$). Cette forme de radioactivité est ultra minoritaire par rapport aux autres modes de désintégration des noyaux lourds, sauf pour les noyaux très lourds.

(${}^{235}\text{U}$: 2.10^{-7} % de fissions spontanées. ${}^{252}\text{Cf}$: 3,1 % de fissions spontanées).

Ce sont les fissions spontanées qui permettent le déclenchement de la réaction en chaîne.

Ces fissions étant extrêmement rares, on utilise actuellement une source externe de Cf pour déclencher les réactions de fission de ${}^{235}\text{U}$ ou de ${}^{239}\text{Pu}$)

1.6 Émission de protons (Émission de deux ou trois protons)



Radioactivité de noyaux exotiques ayant un très gros excès de protons. Cette forme de Radioactivité α été mise en évidence dans les années 2000

1.7 Radioactivité γ (Émission d'un photon par désexcitation d'un noyau excité)



Cette réaction se produit après une désintégration radioactive quand le noyau formé n'est pas dans son état fondamental.

1.8 Annihilation électron-positron (Émission de 2 photons γ de 0,511 MeV :

$$\lambda = 2,42.10^{-12} \text{ m}$$



Remarque :

La capture électronique et la désintégration β^+ donnent le même noyau fils. On peut se demander comment se fait le choix entre les deux modes et pourquoi plutôt l'un que l'autre. La différence est une question d'énergie de liaison des deux noyaux père et fils.

Pour la capture électronique $\Delta m_e = m_X + m_e - m_Y$, il faut donc : $m_X > m_Y - m_e$

Pour la désintégration β^+ $\Delta m_b = m_X - m_Y - m_e$, il faut donc : $m_X > m_Y + m_e$

$\Delta m_b = \Delta m_e + 2 m_e$. En pratique, on a une capture électronique si $m_X < m_Y + m_e$ et plutôt une désintégration β^+ dans le cas contraire.

De plus la désintégration β^+ demandant une grande perte de masse produit donc beaucoup d'énergie, ce qui va de pair avec une faible durée de vie, c'est pourquoi il n'existe pas sur Terre, de nucléide naturel qui soit émetteur β^+ et c'est pourquoi on a qualifié d'artificielle, cette forme de radioactivité. En réalité, elle est tout aussi naturelle que les autres.

2. Etude théorique

2.1 Activité d'un échantillon radioactif

Dans un échantillon contenant un très grand nombre d'atomes radioactifs, le nombre d'atomes qui se désintègrent ΔN pendant un petit intervalle de temps Δt est proportionnel au nombre N d'atomes présents et à Δt .

$\Delta N = \lambda N \Delta t$ (λ est la constante radioactive de l'élément radioactif)

Si on fait tendre Δt vers 0, on a :

$dN = -\lambda N dt$ (le signe - vient du fait que N diminue, donc sa dérivée est négative)

$dN = -\lambda N dt \Rightarrow dN/dt = -\lambda N$

On appelle activité A la variation de N en fonction du temps

$A = -dN/dt = \lambda N$

$$A = \lambda N$$

2.2. Courbe de décroissance

$dN/dt = -\lambda N$ donc :

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

$A = \lambda N$, donc $A = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$

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

2.3. Demi-vie de l'élément

Par définition c'est le temps $t_{1/2} = T$ nécessaire pour que le nombre de noyaux restant soit la moitié du nombre initial ou que le nombre de noyaux disparus soit la moitié du nombre initial

$A t = T, N = N_0/2$

$N_0/2 = N_0 e^{-\lambda T} \Rightarrow 1/2 = e^{-\lambda T} \Rightarrow 2 = e^{\lambda T}$

$\text{Ln } 2 = \lambda T$

$t_{1/2} = \text{Ln } 2 / \lambda = \tau \text{ Ln } 2$ ($\tau = 1/\lambda$ est appelée constante de temps)

$$N = N_0 2^{-t/T} = N_0 e^{-t/\tau}$$

2.4 Activité massique d'un élément

L'activité d'un gramme de l'élément de masse molaire M est l'activité de $n = 1/M$ mole donc de

$$N = n N_A = N_A/M \text{ noyaux}$$

$$A = \lambda N = \lambda N_A/M \text{ ou } A = \ln 2 N_A/(M t_{1/2})$$

3. Famille radioactive

3.1. Définition - Exemples

Une famille radioactive est une suite de nucléides descendant d'un même noyau, le noyau père, par une suite de désintégrations successives jusqu'à l'obtention d'un noyau stable.

Les trois familles les plus connues sont celles de U_{238} , U_{235} et Th_{232} qui sont les noyaux pères naturels qui ont une demi-vie très longue.

U_{238} finit par donner Pb_{206} après 8 désintégrations α et 6 désintégrations β^-

Élément chimique	Mode de désintégration	Demi-vie
Uranium 238	Radioactivité α	4,5 milliards d'années
Thorium 234	Radioactivité β^-	24 j
Protactinium 234	Radioactivité β^-	1,2 min
Uranium 234	Radioactivité α	250000 ans
Thorium 230	Radioactivité α	75000 ans
Radium 226	Radioactivité α	1600 ans
Radon 222	Radioactivité α	3,8 j
Polonium 218	Radioactivité α	3 min
Plomb 214	Radioactivité β^-	27 min
Bismuth 214	Radioactivité β^-	20 min
Polonium 214	Radioactivité α	160 μ s
Plomb 210	Radioactivité β^-	22,3 ans
Bismuth 210	Radioactivité β^-	5 j
Polonium 210	Radioactivité α	138 j
Plomb 206	Stable	

U_{235} finit par donner Pb_{207} après 8 désintégrations α et 4 désintégrations β^-

Élément chimique	Mode de désintégration	Demi-vie
Uranium 235	Radioactivité α	704 millions d'années
Thorium 231	Radioactivité β^-	25,2 h
Protactinium 231	Radioactivité α	32 700 ans
Actinium 227	Radioactivité β^-	21,8 ans
Thorium 227	Radioactivité α	18,72 j
Radium 223	Radioactivité α	11,43 j
Radon 219	Radioactivité α	3,96 s
Polonium 215	Radioactivité α	1,78 ms
Plomb 211	Radioactivité β^-	36,1 min
Bismuth 211	Radioactivité α	2,15 min
Thallium 207	Radioactivité β^-	4,77 min
Plomb 207	stable	

et Th_{232} finit par donner Pb_{208} après 6 désintégrations α et 4 désintégrations β^-

Élément chimique	Mode de désintégration	Demi-vie
Thorium 232	Radioactivité α	14,05 milliards d'années
Radium 228	Radioactivité β^-	5,75 ans
Actinium 228	Radioactivité β^-	6,15 heures
Thorium 228	Radioactivité α	1,19 an
Radium 224	Radioactivité α	3,63 jours
Radon 220	Radioactivité α	55,6 s
Polonium 216	Radioactivité α	0,145 s
Plomb 212	Radioactivité β^-	10,64 h
Bismuth 212	Radioactivité β^-	60,55 min
Polonium 212	Radioactivité α	0,3 μs
Plomb 208	Stable	

3.2. Détermination du nombre de noyaux du premier fils au cours du temps

Le nombre de noyaux du fils est N_1 et celui du père N_0 .

Le nombre initial de noyaux du père est N_i

Pendant dt , N_1 varie de $dN_1 = -\lambda_1 N_1 dt + \lambda_0 N_0 dt$ (il en disparaît $\lambda_1 N_1 dt$ à cause des désintégrations du fils et il en apparaît $\lambda_0 N_0 dt$ à cause des désintégrations du père qui produisent des noyaux du fils)

$N_0 = N_i \exp(-\lambda_0 t)$ donc

$dN_1/dt + \lambda_1 N_1 = \lambda_0 N_i \exp(-\lambda_0 t)$ Equation différentielle dont la solution est la somme d'une solution particulière avec le second membre et de la solution générale sans second membre qui est $N_1 = N_a \exp(-\lambda_1 t)$

La solution particulière est de la forme $N_1 = A \exp(-\lambda_0 t)$. En reportant dans l'équation, on obtient :

$$-\lambda_0 A + \lambda_1 A = \lambda_0 N_i \quad \text{donc} \quad A = \lambda_0 N_i / (\lambda_1 - \lambda_0).$$

A $t = 0$, il n'y a pas de noyaux fils donc $N_1 = 0 = A + N_a$ donc $N_a = -A$ et

$$N_1 = \lambda_0 N_i (\exp(-\lambda_0 t) - \exp(-\lambda_1 t)) / (\lambda_1 - \lambda_0)$$

Remarque : si $\lambda_1 = \lambda_0$, l'expression se simplifie en $N_1 = \lambda_0 N_i t \exp(-\lambda_1 t)$

Si $\lambda_1 \gg \lambda_0$, le fils se désintègre beaucoup plus vite que le père,

$$N_1 = N_i \lambda_0 / \lambda_1 (1 - \exp(-\lambda_1 t))$$

Si $\lambda_1 \ll \lambda_0$, le père se désintègre beaucoup plus vite que le fils, $N_1 = N_i (1 - \exp(-\lambda_0 t))$

3.3. Détermination du nombre de noyaux du deuxième fils au cours du temps

Le nombre de noyaux du deuxième fils est N_2 et celui du premier fils est N_1 . Le nombre initial de noyaux du père est N_i

Pendant dt , N_2 varie de $dN_2 = -\lambda_2 N_2 dt + \lambda_1 N_1 dt$ (il en disparaît $\lambda_2 N_2 dt$ à cause des désintégrations du deuxième fils et il en apparaît $\lambda_1 N_1 dt$ à cause des désintégrations du premier fils)

$$N_1 = \lambda_0 N_i / (\lambda_1 - \lambda_0) (\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_0 t))$$

$dN_2/dt + \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_i / (\lambda_1 - \lambda_0) (\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_0 t))$ Équation différentielle dont la solution est la somme d'une solution particulière avec le second membre et de la solution générale sans second membre qui est $N_2 = Na \exp(-\lambda_2 t)$

La solution particulière est de la forme $N_2 = A \exp(-\lambda_1 t) + B \exp(-\lambda_0 t)$. En reportant dans l'équation, on obtient :

$$-\lambda_1 A \exp(-\lambda_1 t) - \lambda_0 B \exp(-\lambda_0 t) + \lambda_2 A \exp(-\lambda_1 t) + \lambda_2 B \exp(-\lambda_0 t) =$$

$$\lambda_1 N_i / (\lambda_1 - \lambda_0) (\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_0 t)) \text{ donc}$$

$$-\lambda_1 A + \lambda_2 A = \lambda_1 \lambda_0 N_i / (\lambda_1 - \lambda_0)$$

$$-\lambda_0 B + \lambda_2 B = -\lambda_1 \lambda_0 N_i / (\lambda_1 - \lambda_0)$$

$$\text{donc } A = \lambda_0 \lambda_1 N_i / ((\lambda_1 - \lambda_0)(\lambda_2 - \lambda_1)) \text{ et } B = \lambda_0 \lambda_1 N_i / ((\lambda_1 - \lambda_0)(\lambda_2 - \lambda_0))$$

$$N_2 = A \exp(-\lambda_1 t) + B \exp(-\lambda_0 t) + Na \exp(-\lambda_2 t)$$

A $t = 0$, il n'y a pas de noyaux fils donc $N_1 = 0 = A + B + Na$ donc $Na = -(A + B)$ et en regroupant les termes,

$$N_2 = \lambda_0 \lambda_1 N_i (\exp(-\lambda_0 t) - \exp(-\lambda_2 t)) / ((\lambda_1 - \lambda_0)(\lambda_2 - \lambda_0)) + \lambda_0 \lambda_1 N_i (\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t)) / ((\lambda_0 - \lambda_1)(\lambda_2 - \lambda_1))$$

Remarque : si $\lambda_2 = \lambda_1$, on remplace $(\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t)) / (\lambda_2 - \lambda_1)$ par $t \exp(-\lambda_2 t)$

Si $\lambda_1 = \lambda_0$, on obtient

$$N_2 = N_i (\lambda_0^2 t / (\lambda_2 - \lambda_0) + \lambda_0^2 (\exp(-\lambda_2 t) - \exp(-\lambda_0 t)) / (\lambda_2 - \lambda_0)^2)$$

$$\text{Si } \lambda_2 = \lambda_1 = \lambda_0, \text{ on obtient } N_2 = 1/2 N_i \lambda_0^2 t^2 \exp(-\lambda_0 t)$$

3.4. Expression générale

En analysant la manière dont on passe du fils au petit-fils, on en déduit l'expression générale pour le descendant n

(le père correspondant à $n = 0$)

$$N_n = N_i \prod_{i=0}^{n-1} \lambda_i \sum_{j=0}^{n-1} \prod_{i=0(i < j)}^{n-1} (\exp(-\lambda_j t) - \exp(-\lambda_n t)) / \prod_{i=0(i < j)}^n (\lambda_i - \lambda_j)$$

Remarque : si deux des λ sont égaux, cette formule ne convient plus, il faut alors tout recalculer en en tenant compte, ce qui peut être un travail considérable ou alors, si on est plus malin, on modifie imperceptiblement l'un des deux λ et le tour est joué.

3.5. Activité de l'échantillon

L'activité totale de l'échantillon est la somme des activités des n_f différents membres de la famille :

$$A = \sum_{j=0}^{n_f} (\lambda_j N_j)$$

4. Datations

4.1. Datation radioactive par le C_{14}

C_{14} est radioactif β^- . C_{14} est formé en permanence dans la haute atmosphère par action des neutrons formés par les chocs des particules solaires (essentiellement des protons) dans l'atmosphère, sur les noyaux d'azote : ${}_0^1n + {}_7^{14}N \rightarrow {}_6^{14}C + {}_1^1p$

Cette production liée à la désintégration de C_{14} produit un équilibre qui dépend du taux de production qui dépend, lui, de l'activité solaire et du champ magnétique terrestre qui dévie les protons. Activité et champ magnétique qui fluctuent un peu au cours des âges.

Le C_{14} s'intègre au CO_2 atmosphérique et passe ainsi dans la chaîne alimentaire. Son taux dans la matière vivante est donc identique au taux atmosphérique.

A sa mort, l'organisme n'intègre plus de C_{14} et le taux de C_{14} diminue par désintégration. On peut donc dater la mort en mesurant le taux restant. On mesure le nombre N de C_{14} restant dans un échantillon de carbone ancien et on compare au nombre N_0 de C_{14} contenus dans un échantillon de même masse actuel. On suppose que la proportion de C_{14} dans le carbone n'a pas varié au cours des temps géologiques, ce qui, nous l'avons dit, n'est pas tout à fait le cas, il faut donc "recalibrer" les mesures de manière empirique en comparant les résultats de cette méthode avec ceux obtenus par d'autres méthodes de datation. Cette méthode est maintenant bien maîtrisée.

On a :

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

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

$$t = 1/\lambda \text{ Ln } N_0/N$$

$$t = t_{1/2} \text{ Ln } (N_0/N) / \text{Ln } 2$$

$$t_{1/2} = 5730 \text{ ans}$$

Rq : La valeur de $t_{1/2}$ limite la méthode à des échantillons d'âge inférieur à 50000 ans

La valeur utilisée de $t_{1/2}$ a longtemps été de 5568 ans, ce qui entraîne une légère erreur pour les datations.

D'autre part les essais nucléaires dans l'atmosphère, en libérant des neutrons, ont pratiquement doublé le taux de C_{14} dans l'atmosphère actuelle.

On utilise donc un taux officiel obtenu à partir d'un échantillon de bois datant de 1850.

4.2. Datation radioactive par le couple Potassium₄₀ / Argon₄₀

Le K_{40} radioactif se désintègre par capture électronique en Ar_{40} qui est un gaz qui reste piégé dans la roche contenant le potassium. Ar étant un gaz inerte ne s'intègre pas dans les minéraux au moment de la formation de la roche et ainsi tout l'argon provient de la désintégration du K_{40} .

En analysant un échantillon de la roche on peut mesurer la quantité de K_{40} et de Ar_{40} et en déduire l'âge de formation de la roche.

Le problème de la méthode est que le K_{40} se transforme aussi par désintégration β^- en Ca_{40} ,

élément banal et omniprésent, ce qui complique quelque peu la méthode...

La capture électronique a une constante radioactive $\lambda_e = 5,81 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$

La désintégration β^- a une constante radioactive $\lambda_b = 48,47 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$

Pendant une durée dt , le nombre de noyaux N_k de potassium varie de dN_k . Une partie $\lambda_e N_k dt$ est devenue de l'argon Ar et le reste $\lambda_b N_k dt$ est devenue du calcium, donc

$$dN_k = -(\lambda_e N_k dt + \lambda_b N_k dt) \quad \text{ou} \quad dN_k/dt + (\lambda_e + \lambda_b) N_k = 0$$

d'où, $N_k = N_0 e^{-\lambda t}$ avec N_0 le nombre initial de K et $\lambda = \lambda_e + \lambda_b = 54,28 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$ est la constante radioactive effective du K_{40} qui permet de calculer sa demi-vie :

$$t_{1/2} = \ln 2/\lambda = 1,277 \cdot 10^9 \text{ ans.}$$

Pendant dt , $N_A = \lambda_e N_k dt$ d'Ar et $N_C = \lambda_b N_k dt$ de Ca apparaissent et donc

$$N_{K\text{disparus}} = \lambda_e N_k dt + \lambda_b N_k dt = \lambda N_k dt \quad \text{de K disparaissent.}$$

$$\text{donc } N_A = \lambda_e/\lambda N_{K\text{disparus}}$$

Soit N_K le nombre d'atomes de K restant dans l'échantillon et N_A le nombre d'atomes de Ar produits dans l'échantillon.

$$N_K = N_0 e^{-\lambda t}, \text{ donc } N_{K\text{disparus}} = N_0 - N_K = N_0 - N_0 e^{-\lambda t} = N_0 (1 - e^{-\lambda t}) \text{ et}$$

$$N_{K\text{disparus}} = \lambda/\lambda_e N_A$$

$$\text{donc } \lambda/\lambda_e N_A = N_0 (1 - e^{-\lambda t}) \text{ et } N_0 = N_K e^{\lambda t}$$

$$\lambda/\lambda_e N_A = N_K e^{\lambda t} (1 - e^{-\lambda t}) = N_K (e^{\lambda t} - 1) \text{ donc}$$

$$e^{\lambda t} = 1 + \lambda/\lambda_e N_A/N_K \quad \text{donc}$$

$$\lambda t = \ln (1 + \lambda/\lambda_e N_A/N_K)$$

$$t = 1/\lambda \ln (1 + \lambda/\lambda_e N_A/N_K) = 1,842 \cdot 10^9 \ln (1 + 9,342 N_A/N_K) \quad (\text{en années})$$

Remarque : Si $t \ll t_{1/2}$, $N_A \ll N_K$ (Pour $t = 100 \cdot 10^6$ années, $N_A/N_K = 0,006$) donc

$$\ln (1 + \lambda/\lambda_e N_A/N_K) = \lambda/\lambda_e N_A/N_K, \text{ et}$$

$$t = 1/\lambda_e N_A/N_K = 1,721 \cdot 10^{10} N_A/N_K \quad (\text{en années})$$

La grande valeur de $t_{1/2}$ permet de dater des roches ayant l'âge de la Terre.

4.3. Datation radioactive par la méthode du Rubidium₈₇ / Strontium₈₇

Le ^{87}Rb radioactif se désintègre par désintégration β^- en ^{87}Sr stable qui reste piégé dans la roche. Le problème est qu'on ignore totalement les quantités de ces deux nucléides présentes dans la roche au moment de sa formation.

On peut seulement dire que $^{87}\text{Rb} = ^{87}\text{Rb}_{\text{initial}} e^{-\lambda t}$ et

$$^{87}\text{Sr} = ^{87}\text{Sr}_{\text{initial}} + ^{87}\text{Sr}_{\text{produit}} = ^{87}\text{Sr}_{\text{initial}} + (^{87}\text{Rb}_{\text{initial}} - ^{87}\text{Rb})$$

$$^{87}\text{Sr} = ^{87}\text{Sr}_{\text{initial}} + (^{87}\text{Rb} e^{\lambda t} - ^{87}\text{Rb}) = ^{87}\text{Sr}_{\text{initial}} + ^{87}\text{Rb} (e^{\lambda t} - 1)$$

On peut mesurer les valeurs de ^{87}Sr et de ^{87}Rb , mais comme on ne connaît pas $^{87}\text{Sr}_{\text{initial}}$, on ne peut pas calculer t .

L'idée est qu'au moment de la formation d'une roche, les différents minéraux intègrent le Strontium en différentes quantités, mais que la proportion des différents isotopes du Strontium est identique dans tous les minéraux. Notamment $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ est fixe pour tous les minéraux au moment de la formation de la roche qui les contient.

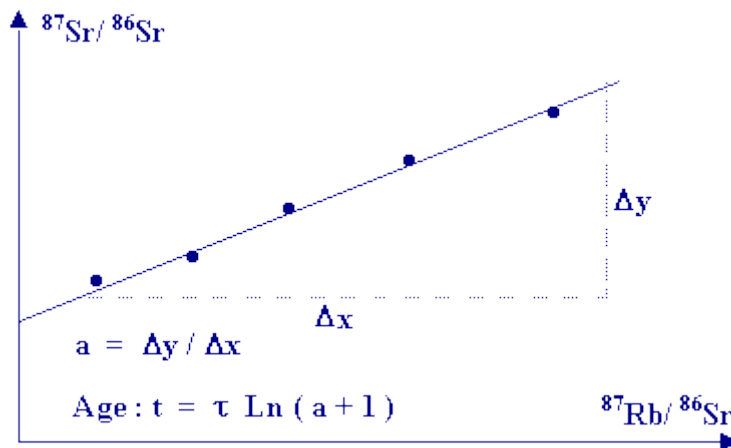
On divise donc par la quantité de ^{86}Sr , on obtient :

$$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = ^{87}\text{Sr}_{\text{initial}}/^{86}\text{Sr} + ^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr} (e^{\lambda t} - 1)$$

On mesure donc les quantités de ^{87}Sr , de ^{86}Sr et de ^{87}Rb , puis on trace $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction de $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ pour les différents minéraux de la roche et on obtient une fonction affine de coefficient directeur : $a = (e^{\lambda t} - 1)$. On a alors $a + 1 = e^{\lambda t}$ donc $\text{Ln}(a + 1) = \lambda t$

$$t = \text{Ln}(a + 1) / \lambda = \tau \text{Ln}(a + 1) = t_{1/2} \text{Ln}(a + 1) / \text{Ln} 2 \quad t_{1/2} = 47,5 \cdot 10^9 \text{ ans},$$

$$\lambda = 1,46 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1} \quad \text{et} \quad \tau = 68,5 \cdot 10^9 \text{ ans}$$



Les 5 points représentent les proportions des isotopes pour 5 minéraux différents de la roche

4.4. Datation radioactive par le couple Uranium₂₃₈ / Plomb₂₀₆

U_{238} radioactif α , se désintègre en plusieurs étapes en Pb_{206} qui reste piégé dans la roche contenant l'uranium. On suppose que tout le Pb_{206} présent dans la roche, provient de la désintégration de U_{238} . Naturellement, la méthode est caduque si cette hypothèse n'est pas vérifiée, ce qui peut arriver. Ce n'est donc une méthode à utiliser que si aucune autre n'est utilisable.

La très grande demi-vie de l'uranium 238, $t_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$ ans, permet de dater des roches très anciennes comme celles contenues dans les météorites qui peuvent provenir de l'époque de formation du système solaire.

En analysant un échantillon de la roche, on peut mesurer la quantité de U_{238} et de Pb_{206} et en déduire l'âge de sa formation.

Si tous les noyaux de Pb proviennent de la désintégration de U , on en déduit que le nombre initial de noyaux de U était égal à $N_0 = N_U + N_P$

$$N_U = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$N_U / (N_U + N_P) = e^{-\lambda t} \Rightarrow \lambda t = \text{Ln}((N_U + N_P) / N_U)$$

$$t = 1/\lambda \text{Ln}((N_U + N_P) / N_U)$$

$$t = t_{1/2} \text{Ln}((N_U + N_P) / N_U) \quad t_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ ans}$$

4.5. Datation radioactive par le couple Uranium₂₃₄ / Thorium₂₃₀

La technique de datation à l'uranium-thorium permet de mesurer l'âge de formations carbonatées obtenues par précipitation comme les coraux ou la calcite des grottes.

L'uranium 234 se désintègre en thorium 230 par désintégration α . L'uranium 234 est soluble dans l'eau alors que le thorium est insoluble, ainsi quand le carbonate de calcium précipite, il intègre un peu d'uranium 234, mais pas de thorium puisqu'il n'y en a pas dans l'eau.

A partir du moment où la roche est formée, l'uranium 234 se désintègre et du thorium 230 apparaît dans la roche. Le rapport de la quantité de thorium à la quantité d'uranium permet de mesurer le temps écoulé.

$$U_{234} : t_{1/2} = 245500 \text{ ans} \quad \text{et} \quad \lambda_0 = 4,073 \cdot 10^{-6} \text{ an}^{-1}$$

$$Th_{230} : t_{1/2} = 75380 \text{ ans} \quad \text{et} \quad \lambda_1 = 1,327 \cdot 10^{-5} \text{ an}^{-1}$$

$$N_U = N_i \exp(-\lambda_0 t) \quad (\text{Cf : 2.2})$$

$$N_{Th} = \lambda_0 N_i (\exp(-\lambda_0 t) - \exp(-\lambda_1 t)) / (\lambda_1 - \lambda_0) \quad (\text{Cf : 3.2})$$

$$N_{Th} / N_U = \lambda_0 (1 - \exp((\lambda_0 - \lambda_1) t)) / (\lambda_1 - \lambda_0)$$

$$1 - \exp((\lambda_0 - \lambda_1) t) = (\lambda_1 / \lambda_0 - 1) N_{Th} / N_U$$

$$\exp((\lambda_0 - \lambda_1) t) = 1 - (\lambda_1 / \lambda_0 - 1) N_{Th} / N_U$$

$$t = 1 / (\lambda_0 - \lambda_1) \ln(1 - (\lambda_1 / \lambda_0 - 1) N_{Th} / N_U) = - 1,09 \cdot 10^5 \ln(1 - 2,258 N_{Th} / N_U) \text{ en années}$$

$$\text{Si } N_{Th} \ll N_U, \quad t = 2,455 \cdot 10^5 N_{Th} / N_U \quad (\text{en années})$$