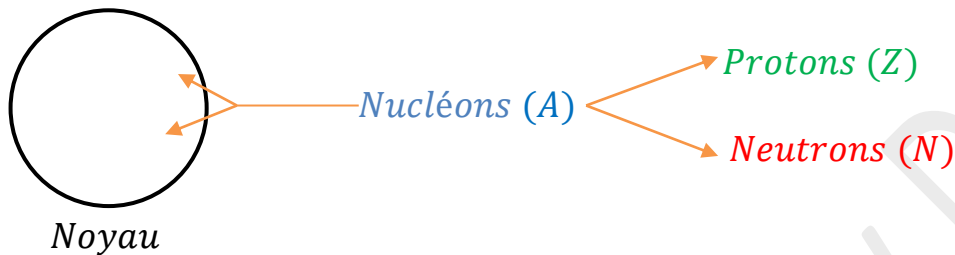


Décroissance radioactive

I- Le noyau:

1- Composition du noyau:



A : est appelé *le nombre de masse* ; il représente le nombre de nucléons (la somme des protons et neutrons dans le noyau).

Z : est appelé *le nombre de charge* ou *le numéro atomique* ; il représente le nombre de protons dans le noyau.

N : appelé le nombre de neutrons.

Remarque :

On représente le noyau d'un élément chimique X par le symbole : ${}^A_Z X$.

Avec : $A = Z + N \Leftrightarrow N = A - Z$

Exemple :

${}^{14}_6 C$: est le symbole du noyau de carbone(14) comportant 6 protons et $14 - 6 = 8$ neutrons.

Application n° ① : Exercice n° ① ; Série n° ③

Donner la composition des noyaux suivants :

${}^4_2 He$; ${}^{206}_{82} Pb$; ${}^{210}_{84} Po$; ${}^{238}_{92} U$.

Réponse :

- 1- Pour le noyau d'hélium ${}^4_2 He$:
 - Le nombre de protons : $Z = 2$.
 - Le nombre de neutrons : $N = 4 - 2 = 2$.
- 2-(Voir le tableau).....

Décroissance radioactive

.....
.....
.....
.....
.....

Remarque :

En physique nucléaire le noyau s'appelle aussi **Nucléide**.

On en connaît actuellement environ 1500 noyaux (nucléides) différents.

2- Isotopes : (A retenir)

On appelle **isotopes**; l'ensemble des nucléides (noyaux) qui ont le même nombre atomique Z et qui diffèrent par le nombre de masse A (c.-à-d. diffèrent par son nombre de neutrons N).

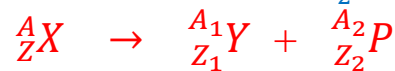
Exemples :

- $^{12}_6\text{C}$ et $^{14}_6\text{C}$: deux isotopes du carbone.
- $^{234}_{92}\text{U}$; $^{235}_{92}\text{U}$ et $^{238}_{92}\text{U}$: trois isotopes d'uranium.

II- Activité nucléaire (Radioactivité) :

1- Définition: (A retenir)

La radioactivité est une transformation nucléaire **spontanée**, imprévisible dans le temps, dans laquelle un noyau radioactif, appelé noyau père ^A_ZX , se désintègre en un autre noyau, appelé noyau fils $^{A_1}_{Z_1}\text{Y}$, et émet une particule $^{A_2}_{Z_2}\text{P}$; selon l'équation :



Remarque :

Cette définition reste valable pour définir le noyau radioactif.

2- Les lois de conservation : Lois de Soddy.

Lors d'une réaction nucléaire, il y a :

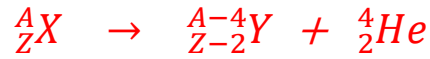
- Conservation de la masse (nombre de nucléons): $A = A_1 + A_2$
- Conservation de la charge électrique (nombre de protons) : $Z = Z_1 + Z_2$

Décroissance radioactive

3- Radioactivité α , β^- et β^+ :

a- Radioactivité α :

La radioactivité α correspond à l'émission d'un noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$ appelé *particule α* ; selon l'équation :

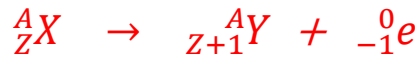


Remarque :

La radioactivité α est conservée au noyau lourds : $A \geq 200$.

b- Radioactivité β^- :

La radioactivité β^- correspond à l'émission d'un électron ${}_{-1}^0\text{e}$ appelé *particule β^-* ; selon l'équation :



Remarque :

Lors d'une désintégration β^- , un neutron ${}^1_0\text{n}$ se transforme au sein du noyau en un proton ${}^1_1\text{p}$ et un électron ${}_{-1}^0\text{e}$ qui est éjecté. La transformation peut donc se résumer, au sein du noyau par l'équation phénoménologique suivante :



\Rightarrow La désintégration β^- est une transforme, au sein du noyau, d'un neutron ${}^1_0\text{n}$ en un proton ${}^1_1\text{p}$ par éjection d'un électron ${}_{-1}^0\text{e}$

\triangleright La désintégration β^- concerne les noyaux présentant un excès de neutrons ($N > Z$).

c- Radioactivité β^+ :

La radioactivité β^+ correspond à l'émission d'un positron ${}_{+1}^0\text{e}$ appelé *particule β^+* ; selon l'équation :



Remarque :

Lors d'une désintégration β^+ , un proton ${}^1_1\text{p}$ se transforme au sein du noyau en un neutron ${}^1_0\text{n}$ et un positron ${}_{+1}^0\text{e}$ qui est éjecté. La transformation peut donc se résumer, a sein du noyau par l'équation phénoménologique suivante :



Décroissance radioactive

⇒ La désintégration β^+ est une transforme, au sein du noyau, d'un proton 1_1p en un neutron 1_0n par éjection d'un positron ${}^0_{-1}e$

➤ La désintégration β^+ concerne les noyaux présentant un excès de protons ($Z > N$).

Application n°(2) : Exercice n° (2) ; Série n° (3)

1- Le noyau du carbone 14 (${}^{14}_6C$) est un noyau radioactif, lors de sa désintégration spontanée donne le noyau d'azote 14 (${}^{14}_7N$).

Ecrire l'équation de la réaction de désintégration du carbone 14 en précisant la nature de la particule éjectée, ainsi que la nature de cette désintégration.

2- Le noyau du potassium 40 (${}^{40}_{19}K$) est un noyau radioactif, lors de sa désintégration spontanée donne le noyau d'argon 40 (${}^{40}_{18}Ar$).

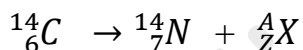
Ecrire l'équation de la réaction de désintégration du potassium 40 en précisant la nature de la particule éjectée, ainsi que la nature de cette désintégration.

3- Le noyau d'uranium 238 (${}^{238}_{92}U$) est un noyau radioactif, lors de sa désintégration spontanée donne le noyau de thorium 234 (${}^{234}_{90}Th$).

Ecrire l'équation de la réaction de désintégration d'uranium 238 en précisant la nature de la particule éjectée, ainsi que la nature de cette désintégration.

Réponse :

1- On a :

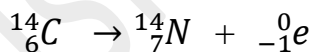


Et on a d'après les deux lois de conservation de Soddy :

$$\begin{cases} 14 = 14 + A \\ 6 = 7 + Z \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} A = 0 \\ Z = -1 \end{cases}$$

c.-à-d. : ${}^A_ZX \equiv {}^0_{-1}e$

donc :



⇒ Il s'agit alors de la désintégration β^- .

2-(Voir le tableau).....

.....

.....

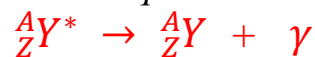
.....

Décroissance radioactive

4- Désexcitation γ : (rayonnement γ).

À la suite d'une désintégration α , β^- ou β^+ , le noyau fils Y peut être dans un état plus énergétique que son état fondamental stable. Il se trouve alors dans un état dit excité noté Y^* .

Le noyau ne pouvant perdurer dans cet état excité, va se désexciter en perdant de l'énergie sous forme d'un rayonnement électromagnétique, appelé rayonnement γ , afin d'atteindre son état fondamental ; selon l'équation :



Remarque :

La désexcitation γ est une onde électromagnétique, de plus haute énergie, qui se produit lors de retour d'un noyau de l'état excité à l'état fondamental par l'intermédiaire d'une particule appelée photon γ .

Décroissance radioactive

6- Diagramme (N,Z) : Diagramme de Segré

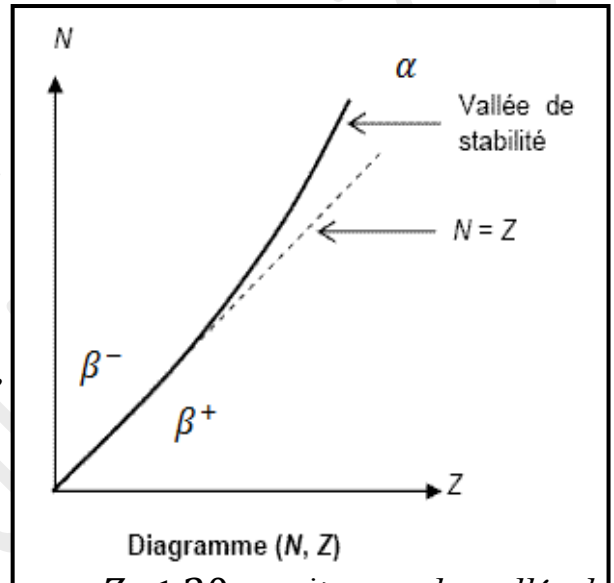
➤ Le diagramme de Segré permet d'étudier la stabilité des noyaux atomiques en fonction de leur nombre de protons et de neutrons.

✓ On voit que pour $Z \leq 20$, les noyaux stables se situent sur la diagonale, appelée vallée de stabilité (autant de protons que de neutrons).

✓ Les noyaux très lourds ($A \geq 200$) ils ont un excédent de nucléons et ont tendance, afin de se rapprocher de la vallée de stabilité, à se désintégrer en émettant des noyaux d'hélium ${}^4_2\text{He}$ appelés particules α : on dit que ces noyaux sont *radioactif α* .

✓ Les noyaux situés au-dessus de la vallée de stabilité ($N > Z$), ils ont tendance à émettre des électrons, appelés particules β^- : on dit que ces noyaux sont *radioactif β^-* .

✓ Les noyaux situés au-dessous de la vallée de stabilité ($Z > N$), ils ont tendance à émettre des positrons, appelés particules β^+ : on dit que ces noyaux sont *radioactif β^+* .



Remarque :

Selon le diagramme de Segré, les noyaux stables pour $Z \leq 20$, se situent sur la vallée de stabilité c.-à-d. se trouvent sur la droite d'équation $N = Z$ (autant de protons que de neutrons), on peut donc symboliser ces noyaux par le symbole : ${}^Z_Z\text{X}$.

Application n° ⑤ : Exercice n° ⑤ ; Série n° ③

1- On considère les deux isotopes du carbone : ${}^{12}_6\text{C}$ et ${}^{14}_6\text{C}$.

a) Quel est l'isotope stable et l'isotope instable (radioactif) parmi ces deux isotopes ? Justifier votre réponse.

b) Quelle est la nature de la radioactivité de l'isotope radioactif ? Justifier.

2- L'ytterbium ${}^{152}_{70}\text{Yb}$ est un noyau radioactif.

a) Quelle est la nature de la désintégration du noyau ${}^{152}_{70}\text{Yb}$? Justifier.

b) Ecrire l'équation de cette désintégration sachant que le noyau fils est le lutétium ${}^A_Z\text{Lu}$.

Réponse : (Voir le tableau)

Décroissance radioactive

II-La décroissance radioactive :

1-Loi de la décroissance radioactive :

La loi de la décroissance radioactive, en fonction de nombre de noyau d'un échantillon radioactif, est donnée par :

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

Avec :

N_0 : Le nombre de noyaux radioactifs présents dans l'échantillon à l'instant $t = 0$;

$N(t)$: Le nombre de noyaux radioactifs restant dans l'échantillon à l'instant t ;

λ : La constante radioactive (ou constante de désintégration), elle caractérise le noyau radioactif.

Remarque : l'unité de λ (dimension de λ)

Le produit $\lambda \cdot t$ n'a pas de dimension, c.-à-d. que :

$$[\lambda] \cdot [t] = 1 \Rightarrow [\lambda] = \frac{1}{[t]} ; \text{ donc la dimension de } \lambda \text{ est } T^{-1}$$

D'où : l'unité de λ est : s^{-1} .

2-La constante de temps τ :

On définit la constante de temps τ par la relation :

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (s)$$

Remarque :

On a d'après la loi de la décroissance radioactive :

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} = N_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Décroissance radioactive

A l'instant $t = \tau$, $N(t)$ devient :

$$N(\tau) = N_0 \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau}} = N_0 \cdot e^{-1} = \frac{N_0}{e} = 0,37N_0 = 37\% \cdot N_0$$

⇒

3- La demi-vie $t_{1/2}$: (A retenir)

La demi-vie $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs, initialement présents dans l'échantillon, s'est désintégrée :

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

Remarque :

La demi-vie $t_{1/2}$ est une constante caractéristique d'un élément radioactif.

***) Expression de $t_{1/2}$:**

On a d'après la définition de $t_{1/2}$:

$$N(t = t_{1/2}) = \frac{N_0}{2} \quad (1)$$

Et on a d'après la loi de la décroissance radioactive :

$$N(t = t_{1/2}) = N_0 \cdot e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (2)$$

De (1) et (2) on en déduit que : $\frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda t_{1/2}}$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{1/2}} \quad \text{c.-à-d. que : } \ln \frac{1}{2} = -\lambda t_{1/2} \Rightarrow -\ln 2 = -\lambda t_{1/2}$$

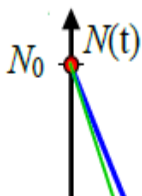
D'où :

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

4-Courbe de la décroissance radioactive :

- A $t=0$; on a $N(t=0) = N_0$.
- A $t=t_{1/2}$; on a $N(t=t_{1/2}) = \frac{N_0}{2} = \frac{N_0}{2^1}$.
- A $t=2t_{1/2}$; on a $N(t=2t_{1/2}) = \frac{N_0}{4} = \frac{N_0}{2^2}$.
- A $t=3t_{1/2}$; on a $N(t=3t_{1/2}) = \frac{N_0}{8} = \frac{N_0}{2^3}$.

- A $t=nt_{1/2}$; on a $N(t=nt_{1/2}) = \frac{N_0}{2^n}$.



Décroissance radioactive

Remarque :

Graphiquement, la tangente à $t = 0$ de la courbe $N(t)$ coupe l'axe des abscisses à l'instant $t = \tau$.

5- L'activité d'un échantillon radioactif :

On définit l'activité $a(t)$ d'un échantillon radioactif, par la relation :

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

**) Loi de la décroissance radioactive en fonction de l'activité $a(t)$:*

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

Et on sait que: $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$

$$\Rightarrow a(t) = -(-\lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda t}) = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

Donc : $a(t) = \lambda \cdot N(t)$

et

$$a_0 = \lambda \cdot N_0$$

D'où :

$$a(t) = a_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

Remarque :

Décroissance radioactive

Et comme : $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$

D'où :

$$t = -\frac{t_{1/2}}{\ln 2} \cdot \ln \frac{a(t)}{a_0}$$

Avec :

$a(t)$: l'activité de l'échantillon radioactif à l'instant t (mesurée par le compteur Geiger pour 1g de l'échantillon).

a_0 : l'activité de l'échantillon radioactif à l'instant $t = 0$ (c.à.d. l'instant de « la mort » de l'échantillon)

Remarque :

On détermine a_0 pour un échantillon témoin semblable au matériau (échantillon) mort et qui est vivant.

1) La datation au carbone 14 :

L'élément de carbone présent dans la nature sous forme de deux isotopes :

- Le carbone 12 (majoritaire) qui est stable.
- Le carbone 14 (minoritaire) qui est instable (radioactif) ; de demi-vie 5570ans il est continuellement produit dans la haute atmosphère grâce à des réactions nucléaires entre les noyaux des atomes d'azote 14 de l'air et des neutrons d'origine cosmique. Ces réactions maintiennent une teneur constante en carbone 14 dans l'atmosphère.

Le carbone 14 formé réagit rapidement avec le dioxygène de l'air pour former du dioxyde de carbone CO_2 .

Tous les organismes vivant échangent du carbone par la respiration et l'alimentation ils fixent le carbone 14 dans leurs tissus jusqu'à leur mort, à une teneur égale à celle de l'atmosphère. A leur mort, la quantité de carbone 14 décroît par radioactivité.

Il est alors possible de déterminer la date de la mort en mesurant la quantité de carbone 14 restant dans l'échantillon à étudier et en le comparant à la quantité de carbone 14 présent dans un échantillon de même nature, mais vivant.

Remarque :

Grâce à la méthode de datation au carbone 14, on peut déterminer l'âge des matériaux organiques mort. Elle permet de dater des matériaux datant de moins de 40000ans

Décroissance radioactive

Application n° ⑦ : Exercice n° ⑦ ; Série n° ③

Le carbone ($Z = 6$) possède, entre autres, deux isotopes de nombre de masse 12 et 14

1- Donner la composition de chacun des noyaux.

2- La réaction d'un neutron (1_0n) sur un noyau d'azote (${}^{14}_7N$) donne naissance à du carbone 14 (${}^{14}_6C$) et à une autre particule X.

2.1- Écrire l'équation de cette réaction nucléaire.

2.2- En rappelant les lois de conservation, identifier la particule X.

3- Le carbone 14 est radioactif β^- de demi-vie $t_{1/2} = 5570$ ans.

3.1- Écrire l'équation de la réaction de désintégration du carbone 14 en précisant la nature de la particule β^- et en identifiant le noyau fils.

3.2- On appelle $N(t)$ le nombre de noyaux non désintégrés à l'instant t , N_0 étant le nombre de noyaux initial, à l'instant $t = 0$. Donner l'expression littérale de la loi de décroissance radioactive.

3.3- Donner la définition de demi-vie $t_{1/2}$ d'un élément radioactif. Exprimer la demi-vie $t_{1/2}$ en fonction de la constante radioactive λ .

3.4- Dans un échantillon de bois ancien, mort, on constate que la teneur en carbone 14 est 8 fois plus faible que dans un échantillon de bois vivant de même masse. Déterminer l'âge de ce morceau de bois.

Réponse : (Voir le tableau)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Décroissance radioactive

2) La datation par d'autres méthodes :

Pour dater des échantillons plus vieux (roches par exemple), on utilise des noyaux de demi-vie plus longue comme l'uranium 238 ou le potassium 40.

Remarque :

L'utilisation de l'uranium 238 de demi-vie $4,468.10^9$ ans a permis d'estimer l'âge de la Terre à 4,55 milliards d'années.

Applications n° ⑧ : Exercice n° ⑧ ; Série n° ③

La datation à l'uranium - plomb permet de déterminer assez précisément l'âge de la Terre. Nous proposons de comprendre cette technique de datation.

1- Étude de la famille uranium 238 - plomb 206

Le noyau d'uranium 238, naturellement radioactif, se transforme en un noyau de plomb 206, stable, par une série de désintégrations successives. Nous allons étudier ce processus. On ne tiendra pas compte de l'émission .

1.1- Dans la première étape, un noyau d'uranium subit une radioactivité α .
Le noyau fils est le thorium (symbole Th).

a) Qu'est-ce qu'un noyau radioactif ?

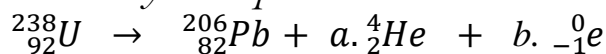
b) Écrire l'équation de la réaction nucléaire en précisant A et Z du noyau fils.

1.2- Dans la deuxième étape, le noyau de thorium 234 se transforme en un noyau de protactinium ${}_{91}^{234}\text{Pa}$. L'équation de la réaction nucléaire est :



Préciser, en justifiant, le type de radioactivité correspondant à cette transformation.

1.3- L'équation globale du processus de transformation d'un noyau d'uranium 238 en un noyau de plomb 206 est :



Déterminer, en justifiant, le nombre de désintégrations α et β^- de ce processus.

2- Géochronologie :

Décroissance radioactive

On a constaté d'une part, que les minéraux d'une même couche géologique, donc du même âge, contiennent de l'uranium 238 et du plomb 206 en proportions remarquablement constantes, et d'autre part que la quantité de plomb dans un minéral augmente proportionnellement à son âge relatif.

Si on mesure la quantité de plomb 206 dans un échantillon de roche ancienne, en considérant qu'il n'y en avait pas initialement, on peut déterminer l'âge du minéral à partir de la courbe de décroissance radioactive du nombre de noyaux d'uranium 238. Étudions un échantillon de roche ancienne dont l'âge, noté t_{Terre} , correspond à celui de la Terre.

2.1- On considère la courbe de décroissance radioactive du nombre $N_U(t)$ de noyaux d'uranium 238 dans un échantillon de roche ancienne (voir ci-dessous).

a) Indiquer la quantité initiale $N_U(0)$ de noyaux d'uranium de cet échantillon.

b) Déterminer graphiquement la valeur de la constante de temps τ de l'uranium 238 ; En déduire la valeur de sa constante de radioactivité λ .

c) Donner l'expression de $N_U(t)$, nombre de noyaux radioactifs présents dans cet échantillon à la date t , en fonction de $N_U(0)$.

d) Calculer le nombre de noyaux d'uranium 238 qui restent dans cet échantillon roche à la date $t_1 = 1,5 \cdot 10^9$ années. Vérifier graphiquement votre résultat.

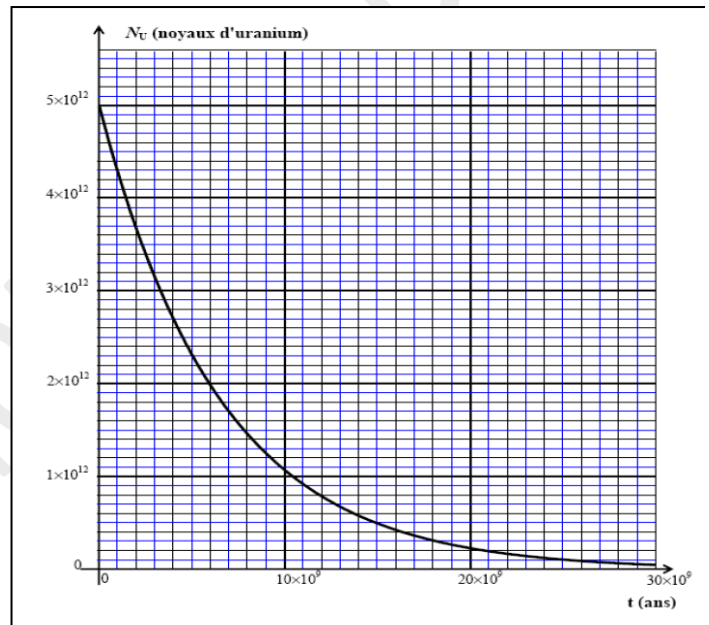
e) Déterminer graphiquement le temps de demi-vie $t_{1/2}$ de l'uranium 238. Vérifier la cohérence avec la constante de temps.

2.2- La quantité de plomb mesurée dans la roche à la date t_{Terre} , notée $N_{\text{Pb}}(t_{\text{Terre}})$, est égale à $2,4 \cdot 10^{12}$ noyaux.

a) Donner la relation entre $N_U(t_{\text{Terre}})$, $N_U(0)$ et $N_{\text{Pb}}(t_{\text{Terre}})$.

b) Calculer la quantité $N_U(t_{\text{Terre}})$ de noyaux d'uranium.

c) Déterminer l'âge t_{Terre} de la Terre.



Décroissance radioactive

Ismaili-alaoui MY Driss