

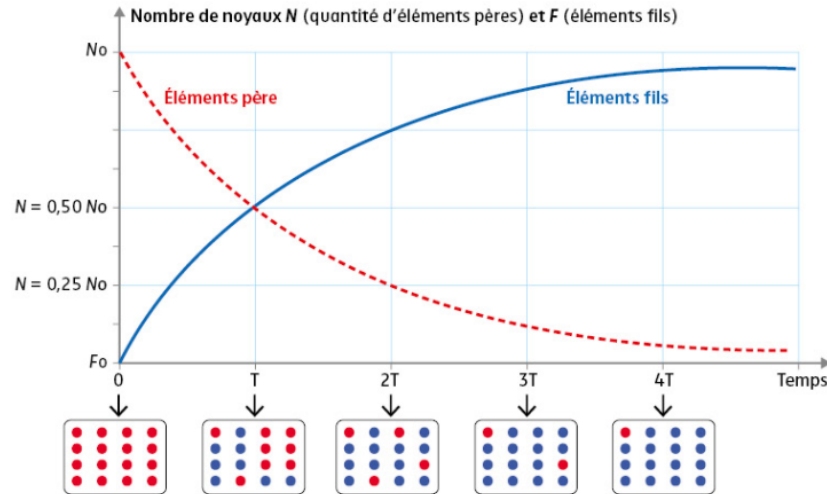
II - La datation absolue

A - Le principe de la datation absolue

→ Parcours ELEA 2 - La datation absolue - Activité 1

Tout système (être vivant, fossile, roche...) contient, lors de sa formation, des éléments radioactifs qui se désintègrent au cours du temps, c'est-à-dire qui se transformeront en d'autres éléments avec émission de rayonnements.

On appelle « *élément père* » l'élément radioactif qui est instable et se désintègre en un « *élément fils* » radiogénique, stable.



Graphique représentant l'évolution des quantités d'isotopes pères et fils au cours du temps

Les méthodes de datation absolue reposent donc sur la décroissance radioactive d'isotopes de certains éléments chimiques. La désintégration des isotopes radioactifs est dépendante du temps et est décrite par la loi de désintégration :

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

Avec :

- N_t = Nombre d'éléments pères radioactifs au moment de la mesure
- N_0 = Nombre initial d'éléments pères radioactifs au temps t_0
- λ = constante de désintégration (probabilité de désintégration par unité de temps propre à chaque catégorie d'isotope), exprime en an^{-1}

La désintégration de l'élément père se fait selon une fonction exponentielle du temps. Cela signifie que la proportion d'atomes radioactifs qui se désintègre par unité de temps est une constante appelée constante de désintégration radioactive (λ) déterminée en laboratoire par les physiciens. Connaissant cette valeur, l'âge (t) d'un échantillon géologique peut être calculé grâce à la mesure du nombre d'éléments pères et/ou fils. Cette mesure se fait grâce à l'utilisation d'un spectromètre de masse.

Remarque : la période de demi-vie d'un élément radioactif

Les physiciens ont défini la période (T) comme le temps nécessaire à la désintégration de la moitié des éléments radioactifs présents.

Lorsque la moitié des éléments père ont été désintégrés, on a donc :

$$N_T = N_0/2 = N_0 \cdot e^{-\lambda T}$$

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

$$e^{\lambda T} = 2$$

$$\lambda T = \ln(2)$$

On en déduit donc que : $T = \ln(2) / \lambda$

Suite et fin T1B1 - Cours (pages 3 et 4)

B - Analyse d'un échantillon et détermination de son âge absolu

Pour bien comprendre la datation absolue d'une roche, il faut comprendre ce que l'on mesure, ce que l'on date et comment on le date.

Les mesures s'effectuent grâce à un spectromètre de masse qui va mesurer dans différents minéraux d'une roche la quantité d'éléments père et/ou fils du radiochronomètre choisi.

Un minéral étudié est appelé « système » et on peut montrer en laboratoire que le « système » se ferme dans certaines conditions. Lorsque le système se ferme, il cesse d'échanger des éléments radioactifs avec l'extérieur. La fermeture du système se produit le plus souvent lors d'une diminution de température (refroidissement d'un magma, refroidissement d'une roche métamorphique passée en subduction) ou lors de la cristallisation du minéral.

C'est la fermeture du système que l'on date avec la datation absolue.

Remarque : si on date des minéraux d'une roche qui a subi du métamorphisme, on ne date donc pas forcément l'âge de roche mais plutôt un âge correspondant à l'évènement provoquant le métamorphisme.

Il faut également garder en tête que selon le type de roche, et selon son âge on ne peut pas utiliser n'importe quel radiochronomètre. Le tableau ci-dessous présente quelques radiochronomètres géologiques et leurs propriétés :

Isotope père radioactif et isotope fils radiogénique	Constante de désintégration λ (an^{-1}) Et Demi-vie T (ans)	Âge mesurés	Matériau/roche que l'on peut dater	Facteur contrôlant la fermeture du système	Méthodologie	
					Difficulté méthodologique	Technique de résolution Détermination de l'âge
$^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$	$1,21 \cdot 10^{-4}$ $5,73 \cdot 10^3$	10-50000 ans	Matière organique (contenant du carbone)	Mort de l'être vivant	Le rapport $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$ atmosphérique a changé au cours du temps	Utilisation d'une courbe de référence réalisée à partir d'objets d'âges connus (ex : dendrochronologie ; objets historiques)
$^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr}$	$1,387 \cdot 10^{-11}$ $4,88 \cdot 10^{10}$	> 100 Ma	Roches magmatiques et métamorphiques	Diminution de température	On ne connaît pas N_0 , la quantité de ^{87}Rb dans l'échantillon au moment de la fermeture du système	<ul style="list-style-type: none"> • Réalisation d'une droite isochrone à partir de plusieurs échantillons d'une même roche • Utilisation de rapports isotopiques
$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$	$1,55 \cdot 10^{-10}$ $4,47 \cdot 10^9$	> 25 Ma	Roches contenant des minéraux appelés « zircons »			Utilisation simultanée de deux radiochronomètres + Détermination de l'âge par une courbe Concordia et si ouverture du système par une droite Discordia

C - Le radiochronomètre Rubidium/Strontium

→ Parcours ELEA 2 - La datation absolue - Activité 2

Certains minéraux de roches magmatiques et métamorphiques intègrent quelques atomes de Rubidium.

Le rubidium ^{87}Rb est un élément radioactif qui se désintègre en strontium ^{87}Sr (constante de désintégration : $\lambda = 1,387 \cdot 10^{-11} \text{an}^{-1}$ - elle n'est pas à connaître par cœur !).

Ce radiochronomètre permet de dater des minéraux/roches très anciens. Il pose néanmoins un problème méthodologique : la quantité d'élément père N_0 (ici $^{87}\text{Rb}_0$) est inconnue.

Voici la formule utilisée pour le radiochronomètre Rb/Sr :

$$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} = \frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}} (e^{\lambda t} - 1) + \frac{^{87}\text{Sr}_0}{^{86}\text{Sr}}$$

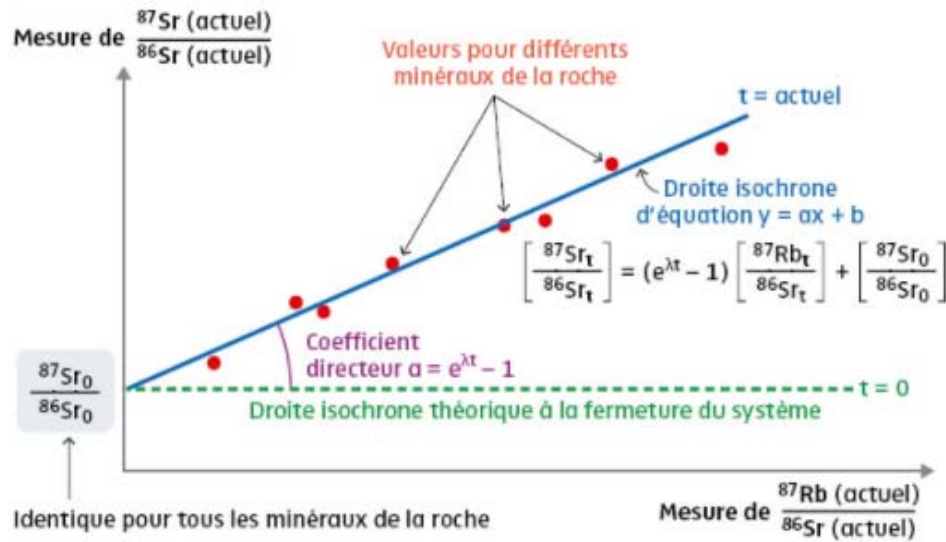
Cette formule s'apparente à l'équation du droite : $y = ax + b$

$$y = \frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} \quad x = \frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}} \quad a = (e^{\lambda t} - 1) \quad b = \frac{^{87}\text{Sr}_0}{^{86}\text{Sr}}$$

On passe donc par une résolution graphique pour trouver l'âge d'une roche à partir des mesures des rapports isotopiques de Rb/Sr **de plusieurs minéraux**.

On obtient une droite, nommée **droite isochrone** dont la pente est : $a = (e^{\lambda t} - 1)$. Cette pente est d'autant plus forte que l'âge de la roche est grand.

Connaissant la pente on peut calculer : $t = \frac{\ln(a+1)}{\lambda}$



Démonstration mathématique de l'équation utilisée pour le couple $^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr}$

On commence avec la loi de désintégration radioactive : $N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$

On sait que : $N_0 = N_t + N_f$

Donc : $N_t = (N_t + N_f) \cdot e^{-\lambda t}$

Et : $N_t \cdot e^{\lambda t} = N_t + N_f$

On factorise et on obtient : $N_t \cdot (e^{\lambda t} - 1) = N_f$

Où : $N_f = N_t \cdot (e^{\lambda t} - 1)$

Pour le couple Rb/Sr, on a donc : $^{87}\text{Sr} = ^{87}\text{Rb} \cdot (e^{\lambda t} - 1)$

Mais les minéraux contiennent souvent déjà du ^{87}Sr , on a donc : $^{87}\text{Sr} = ^{87}\text{Rb} \cdot (e^{\lambda t} - 1) + ^{87}\text{Sr}_0$

On divise l'ensemble par la quantité de ^{86}Sr , un isotope stable, et on obtient :

$$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} = \frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}} (e^{\lambda t} - 1) + \frac{^{87}\text{Sr}_0}{^{86}\text{Sr}}$$

Remarque : dans certains cas (calculatrice non autorisée au bac), tu peux faire une approximation de l'âge avec le calcul $t = a / \lambda$; il faut cependant éviter car cette formule entraîne une très grande approximation.

D - Le radiochronomètre Uranium/Plomb

➔ Parcours ELEA 2 - La datation absolue - Activité 3

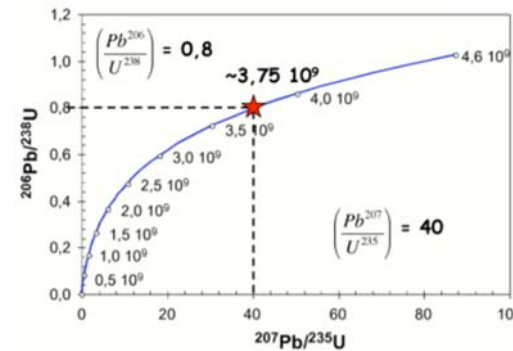
Le radiochronomètre **U/Pb** utilise ^{238}U qui se désintègre en ^{206}Pb et ^{235}U qui se désintègre en ^{207}Pb . Ce radiochronomètre permet notamment de dater des minéraux de zircon qui ont plusieurs propriétés intéressantes :

- Ils intègrent quelques atomes d'uranium dans leur réseau cristallin ;
- Ils sont extrêmement résistants et donc permettent de dater des événements et objets très anciens ;

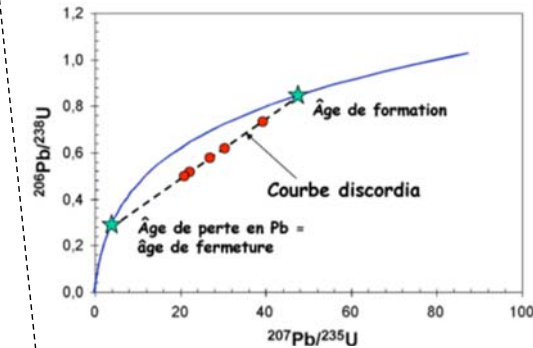
L'utilisation simultanée des deux couples ($^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ et $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$) permet une résolution graphique pour déterminer l'âge du minéral.

Cette résolution graphique, un peu particulière, implique une courbe nommée **Concordia** sur laquelle sont positionnés des âges. Il y a alors deux possibilités :

- **CAS 1** : Les points correspondant aux minéraux sont positionnés sur la courbe **Concordia** et déterminent l'âge de la roche ;
- **CAS 2** : Les points ne sont pas tous positionnés sur la Concordia ; dans ce cas ils s'alignent sur une droite nommée **Discordia** qui recoupe la Concordia en deux points/deux âges, l'âge le plus ancien correspond à l'âge de formation de la roche, l'âge le plus récent correspond à un âge de perturbation du système (métamorphisme, altération de la roche, etc)



Cas 1 - Points sur la Concordia



Cas 2 - Points s'alignant sur une droite Discordia



Photographie - Zircon du Massif Central présentant une zonation. Le cœur a été analysé et daté à 2,35 Ga et la bordure formée lors d'un événement magmatique plus récent a été datée à 299 Ma. Source : Bruguier et al.

Conclusion

A l'aide des différentes méthodes de datations, les géologues peuvent tenter de comprendre les événements géologiques et leur chronologie.

La datation n'est, à elle seule, pas suffisante pour raconter l'histoire géologique d'une région. Il convient d'analyser les structures tectoniques, les indices métamorphiques, magmatiques, sédimentaires, ou encore paléontologiques.

C'est donc un travail collaboratif et pluridisciplinaire, un travail long et progressif, qui permet de raconter l'histoire géologique d'une région.

Remarque : les cartes géologiques, et notamment la carte géologique de France au 1/10^{ème} est une représentation qui fait la synthèse de tous ces travaux.

Dans le chapitre 2, on verra comment on peut analyser différents indices géologiques qui montrent le passé mouvementé de notre territoire.