

Rappel : les méthodes de datation usuelles au programme de lycée et de BCPST

1. Position du problème

Les méthodes de datation par radiochronologie sont toutes basées sur la décroissance radioactive d'un élément père P en un élément fils F, qui suit la loi exponentielle : $P(t) = P_0 e^{-\lambda t}$ et $F(t) = F_0 (1 + e^{-\lambda t})$, avec respectivement $P(t)$ et $F(t)$ les quantités d'élément père et fils en fonction du temps, P_0 et F_0 les quantités initiales d'élément père et fils, et λ la constante de désintégration du couple. Cependant, on ne connaît généralement que $F(t)$ et $P(t)$, P_0 et F_0 . Cette lacune *intrinsèque* va être comblée de différentes façons par différentes méthodes de datation.

La demi-vie d'un élément radioactif est donnée par $\tau = \ln \frac{2}{\lambda}$.

2. La méthode ^{14}C

Attention : méthode nouvelle dans le programme 2021 !

Principe : l'isotope 14 du carbone (^{14}C) se désintègre en ^{14}N , selon la constante de désintégration $\lambda = 1,2096 \cdot 10^{-4} \text{ an}^{-1}$.

Astuce de la méthode : $^{14}\text{C}_0$ dans l'atmosphère est **constant**, car produit en continu dans la haute atmosphère grâce au rayonnement solaire, et la proportion $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ pour tout le système qui échange du carbone avec l'atmosphère en continu (= les êtres vivants) est constante. Donc, $^{14}\text{C}(t)$ commence à décroître à la mort de l'individu. Le calcul donne : $t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{^{14}\text{C}_0}{^{14}\text{C}(t)}$ ou $t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{^{14}\text{C}_0 / ^{12}\text{C}}{^{14}\text{C}(t) / ^{12}\text{C}}$.

Limites : méthode utilisable pour des échantillons biologiques contenant encore assez de ^{14}C , soit pour un temps inférieur à ~10 demi-vies, soit ~57 000 ans.

3. La méthode K/Ar

Principe : ^{40}K se désintègre en ^{40}Ar , mais également en ^{40}Ca , selon deux constantes respectives $\lambda_1 = 0,581 \cdot 10^{-10} \text{ an}^{-1}$ et $\lambda_2 = 4,962 \cdot 10^{-10} \text{ an}^{-1}$.

Astuce de la méthode : comme l'argon (Ar) est un gaz absent dans les roches, $^{40}\text{Ar}_0 = 0$. Le calcul donne :

$$t = \frac{1}{(\lambda_1 + \lambda_2)} \ln \left(\frac{^{40}\text{Ar}(t)}{^{40}\text{K}(t)} \frac{(\lambda_1 + \lambda_2)}{\lambda_1} + 1 \right)$$

Limites : méthode adaptée à des roches âgées de plusieurs dizaines de millions d'années au moins, riches en potassium. Méthode très sensible au métamorphisme (qui risque de faire dégazer l'argon piégé par les minéraux).

4. La méthode U/Pb

Attention : méthode nouvelle dans le programme 2021 !

Principe : les deux isotopes ^{235}U et ^{238}U de l'uranium se désintègrent via deux chaînes de désintégration dont les produits finaux sont respectivement ^{207}Pb et ^{206}Pb .

Astuce de la méthode : l'uranium entre volontiers dans les réseaux cristallins des zircons (minéraux accessoires, présents notamment dans les granites), mais le plomb en est exclu. Les zircons sont donc riches en U et dépourvus de Pb au moment de leur formation, mais ^{207}Pb et ^{206}Pb s'accumulent au cours de la désintégration de l'uranium. Le temps se calcule en théorie par les deux formules :

$t = \frac{1}{\lambda_{238}} \ln\left(\frac{{}^{206}\text{Pb}(t)}{{}^{238}\text{U}(t)} + 1\right)$ et $t = \frac{1}{\lambda_{235}} \ln\left(\frac{{}^{207}\text{Pb}(t)}{{}^{235}\text{U}(t)} + 1\right)$, mais ce n'est pas habituellement de cette façon qu'est utilisée la méthode. Ces deux formules permettent surtout de tracer le graphe *concordia* de $\frac{{}^{206}\text{Pb}(t)}{{}^{238}\text{U}(t)}$ en fonction de $\frac{{}^{205}\text{Pb}(t)}{{}^{235}\text{U}(t)}$ pour chaque date. Un éventuel événement métamorphique a cependant tendance à faire migrer le plomb hors des zircons, selon une droite passant par l'origine (*discordia*). La discordia coupe la concordia en deux points :

- intersection supérieure : **âge de la formation du zircon**
- intersection inférieure : **âge de l'événement métamorphique** ayant apparemment rajeuni la roche

Document 1: La méthode U/Pb. La concordia est tracée et graduée en temps (Ma). La discordia est construite expérimentalement et permet de dater la roche (intersection supérieure, 600 Ma ici) et un événement (métamorphisme par exemple, 100 Ma ici) ayant rajeuni la roche. D'après Tristan Ferroir, <http://tristan.ferroir.fr>

Limites et intérêt : cette méthode nécessite que la roche contienne des zircons, ou des minéraux ayant un comportement proche. Elle est cependant extrêmement puissante dans la mesure où elle permet de dater deux événements différents. Les zircons étant réfractaires (résistants aux phénomènes de fusion), on date parfois seulement les zircons, et non la roche elle-même.

5. La méthode Rb/Sr

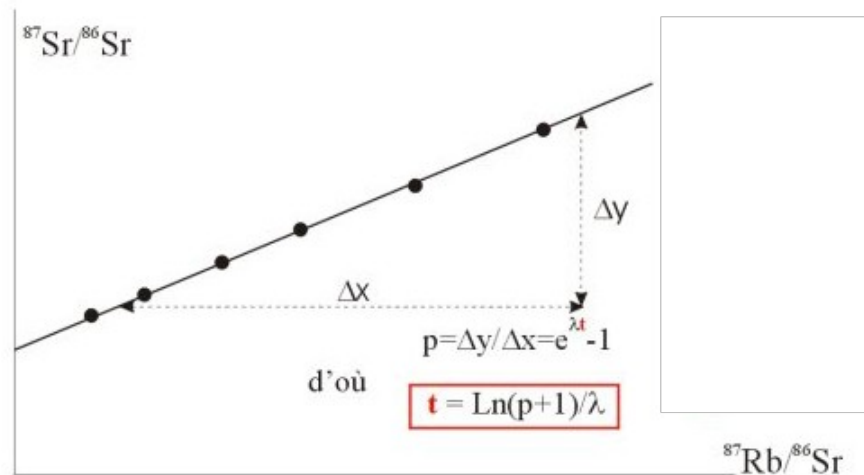
Attention : méthode existant dans l'ancien programme 2013, disparue du programme de 2021, mais au programme de spé SVT en lycée... et utilisation des rapports initiaux $\left(\frac{{}^{87}\text{Sr}}{{}^{86}\text{Sr}}\right)_0$ dans le programme 2021 de magmatisme... #incohérence

Principe : ${}^{87}\text{Rb}$ se désintègre en ${}^{87}\text{Sr}$, selon une constante de désintégration $\lambda = 1,397.10^{-11} \text{ an}^{-1}$. Le calcul donne ${}^{87}\text{Sr}(t) = {}^{87}\text{Sr}_0 + {}^{87}\text{Rb}(t)(e^{\lambda t} - 1)$, mais on ne connaît pas ${}^{87}\text{Sr}_0$.

Astuce de la méthode : selon le minéral, ${}^{87}\text{Sr}_0$ peut être variable. Cependant, pour tous les minéraux d'une même roche, $\left(\frac{{}^{87}\text{Sr}}{{}^{86}\text{Sr}}\right)_0$ est une constante, puisque ${}^{86}\text{Sr}$ est un isotope stable (non radioactif) et qui ne provient pas d'une désintégration radioactive (non radiogénique). On en déduit :

$\left(\frac{{}^{87}\text{Sr}}{{}^{86}\text{Sr}}\right)(t) = \left(\frac{{}^{87}\text{Sr}}{{}^{86}\text{Sr}}\right)_0 + \left(\frac{{}^{87}\text{Rb}}{{}^{86}\text{Sr}}\right)(t)(e^{\lambda t} - 1)$ qui s'identifie à $y = b + x \times a$ soit une équation de droite. En plaçant différents minéraux dans le graphe de $\left(\frac{{}^{87}\text{Sr}}{{}^{86}\text{Sr}}\right)$ en fonction de $\left(\frac{{}^{87}\text{Rb}}{{}^{86}\text{Sr}}\right)$, on linéarise par régression, et le coefficient directeur de la droite a est $e^{\lambda t} - 1$, d'où $t = \frac{\ln(a+1)}{\lambda}$

Document 2: Construction de la droite isochrone et datation par le couple Rb/Sr



Limites : méthode adaptée à des roches âgées de plusieurs dizaines de millions d'années au moins, riches en potassium (même colonne que Rb) et relativement riches en Ca (même colonne que le Sr), comme les granitoïdes.

Cette méthode **n'est pas au programme de BCPST**, mais est au programme de lycée (spécialité SVT en terminale). Les conséquences géochimiques de la désintégration $^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr}$ doivent cependant être connues pour analyser les réservoirs mantelliques à l'origine des différents magmas basaltiques (rapports initiaux $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$). La méthode Sm/Nd fonctionne de la même façon et a les mêmes conséquences en terme d'évolution des rapports initiaux $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_0$ dans les différents réservoirs mantelliques.