



## Désintégrations radioactives, géochronomètres et datation absolue

La **datation absolue** cherche à donner une date chiffrée la plus précise possible à des événements. Le principe est donc de faire appel à des **géochronomètres** : des mesureurs de temps naturels que l'on trouve dans la Terre d'où le terme de « géo » comme dans « géologie ».

### I. Notion d'isotope radioactif

Les désintégrations radioactives concernent les **isotopes radioactifs** ou **radio-isotopes**. Il s'agit d'un **élément chimique naturel** qui se désintègre spontanément puisqu'il est **instable** et qui libère un **rayonnement** en se désintégrant. Ces désintégrations radioactives **spontanées** peuvent être étudiées en terme de stock d'isotopes radioactifs dans une roche, dans un minéral ou dans toute autre structure géologique. Ces désintégrations se font de manière plus ou moins **régulière** dans le temps. En ce sens on a utilisé les désintégrations radioactives et les méthodes de datation pour dater l'âge de la Terre.

### II. Histoire de la datation absolue

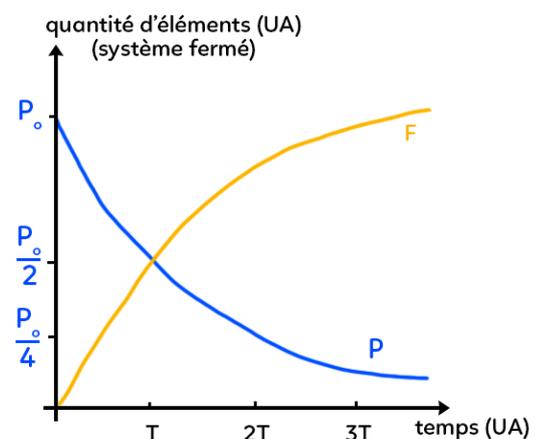
L'utilisation des isotopes radioactifs existe depuis le **début du XX<sup>e</sup> siècle** et a été rendue possible par la découverte de la **radioactivité**, d'abord par les rayonnements que **Becquerel** avait découvert au niveau des sels d'uranium (fin du XIX<sup>e</sup> siècle) puis par les travaux de **Pierre et Marie Curie** (début du XX<sup>e</sup> siècle). C'est **Rutherford** qui a eu l'idée d'utiliser ces radio-isotopes. La technique s'est ensuite perfectionnée avec **Holmes** toujours au début du XX<sup>e</sup> siècle, puis cette idée de datation par mesure des éléments radioactifs contenus dans les roches a été concrètement rendue possible par la mise au point des **spectromètres de masse** (permettant de mesurer combien un échantillon contient d'éléments chimiques). L'**âge de la Terre** a été précisément calculé grâce à des mesures, autour donc de **4,6 milliards d'années** (giga-années) par **Patterson** autour de 1957.

### III. Principe de la datation absolue

#### A. Désintégration radioactive

L'élément radioactif qui se désintègre est appelé « **élément père** » et il se désintègre en « **élément fils** ». Il y a émission d'un rayonnement et production d'un élément fils à chaque fois qu'un élément père se désintègre.

On observe sur ce graphique que la quantité d'élément père diminue et que parallèlement la quantité d'éléments fils augmente. **La quantité d'éléments père diminue selon un rythme bien déterminé, propre à cet élément chimique.**



On sait qu'elle est caractérisée par  $T$  en abscisse et par  $T_{1/2}$ , qu'on appelle la **période de désintégration** ou **demi-vie d'un élément radioactif**. Cette demi-vie correspond au temps qu'il faut pour désintégrer la **moitié d'un stock** donné d'éléments pères.

Cette demi-vie ne dépend pas de la quantité initiale : petit ou gros stock d'éléments pères, il faut toujours le même temps pour en désintégrer la moitié et former autant d'éléments fils. Cette **période** correspond au temps qu'il a fallu pour passer d'un stock initial  $P_0$  d'éléments pères à un stock  $P_0/2$ . À chaque fois qu'un élément père disparaît, un élément fils apparaît, il y a donc une augmentation qui suit **le même rythme** pour la quantité d'éléments fils.

### B. Équation de la radioactivité

Les géologues ont mis au point l'équation suivante :  $F = F_0 + P(e^{\lambda t} - 1)$

Elle dit qu'à un instant donné, la quantité d'éléments fils dans un élément (F) est égale à la quantité qu'il y avait au départ ( $F_0$ ) à laquelle on ajoute la quantité d'éléments pères (P) à l'instant auquel on fait sa mesure, multipliée par l'exponentielle de  $\lambda * t$  à quoi on soustrait 1.

« t » est l'âge qu'on cherche à déterminer. «  $\lambda$  » est la constante de désintégration =  $\frac{\ln(2)}{T_{\frac{1}{2}}}$

En mesurant la quantité d'éléments pères et la quantité d'éléments fils (par exemple grâce à un spectromètre de masse) **on peut retrouver l'âge de l'échantillon.**

### C. Un système fermé

Le système sur lequel on travaille (un minéral, un assemblage de minéraux ou toute une roche) doit être un **système fermé**. Il s'agit d'un système dans lequel il n'y a **pas de fuite** (pas de perte ou d'entrée d'éléments pères ou fils).

L'âge que l'on trouve à la fin est **l'âge de la fermeture du système**, c'est-à-dire l'âge ou la durée depuis laquelle il n'y a plus d'entrée ou de perte d'éléments dans le système. Dans le cas de l'étude d'une roche magmatique, cette date de fermeture peut être la date de cristallisation (date de refroidissement du magma qui a donné naissance à des cristaux et à des minéraux). Si la cristallisation est **fractionnée** (si elle se fait de façon décalée dans le temps pour les différents minéraux constitutifs d'une roche), on pourra retrouver les différentes étapes de cristallisation, en trouvant des âges légèrement supérieurs pour les éléments cristallisés les premiers, et légèrement plus récents pour les éléments cristallisés en deuxième ou en troisième temps.

## IV. Diversité des géochronomètres

Les géochronomètres sont des **couples pères-fils** qu'on peut utiliser pour dater des événements.

### A. Couple $^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr}$

Le rubidium 87 est un élément père radioactif qui se désintègre spontanément en strontium 87. On dit que le strontium 87 est l'élément fils, on dit aussi qu'il est **radiogénique** : il est stable et d'origine radioactive. La période de ce couple de géochronomètres est de l'ordre de 49 milliards d'années. Ce couple est souvent utilisé pour **dater des roches magmatiques**, par exemple des granites très anciens.

### B. $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ca}$

Le potassium 40 se désintègre spontanément en calcium 40. Cette méthode est utilisée pour **dater des restes, des fossiles notamment dans la lignée humaine**. Elle a été employée pour dater les crânes et les restes d'Olduvai, un des restes de la lignée humaine dont on a évalué l'âge entre 400 000 et environ 1,8 million d'années. La période de ce couple de géochronomètres est de l'ordre de 1,25 milliard d'années.

### C. $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$ et $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$

On peut utiliser de façon concomitante les isotopes radioactifs de l'uranium (uranium 235 et uranium 238) qui se désintègrent en plomb (plomb 207 et plomb 206).

La méthode de résolution est basée sur l'utilisation des deux isotopes en même temps et leurs périodes de demi-vie sont les suivantes : 703 milliards d'années pour le couple  $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$  et 4,5 milliards d'années pour le couple  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ .

#### D. Choisir le bon couple de géochronomètres

Il faut que le géochronomètre soit **présent physiquement** dans l'échantillon que l'on cherche à dater. Pour des roches magmatiques on utilise souvent la méthode rubidium/strontium ou bien les méthodes basées sur l'utilisation de l'uranium. Pour des restes de fossiles humains, on peut utiliser le potassium et le calcium.

#### Comment choisir le couple de géochronomètres adapté à la datation ?

Cela dépend de la **nature** de l'échantillon mais aussi de son **âge supposé**. Quand on trouve une roche, on peut déjà avoir un ordre d'idées de son âge, notamment en utilisant les méthodes de datation relative. Grâce à cette approche relativement vague de l'âge, on peut choisir le géochronomètre qui nous intéresse (donc par la nature et l'âge supposé de l'échantillon), ensuite on va rechercher par mesure les quantités d'éléments pères et d'éléments fils présents aujourd'hui dans l'échantillon étudié.

On sait que les géochronomètres possèdent tous une **période propre**, donc qui varie d'un couple à un autre, et on considère que la datation absolue est fiable lorsque l'âge de la fermeture du système est **inférieur à dix fois la demi-vie de l'élément radioactif** qu'on utilise. En effet, si on a dépassé un très grand nombre de périodes alors la quantité que l'on peut mesurer dans l'échantillon est trop faible pour être fiable. De la même façon, si l'on est trop tôt par rapport à la fermeture du système, la quantité d'éléments fils peut également être trop faible pour être fiable. **Il faut donc choisir un couple de géochronomètres dont la période de demi-vie a déjà permis un certain nombre de désintégrations radioactives** permettant de mesurer des quantités relativement importantes, c'est-à-dire fiables, à la fois d'éléments pères et d'éléments fils.

Les quatre géochronomètres cités précédemment ont de très grandes demi-vies donc le problème ne se pose pas. En revanche quand on fait appel au **carbone 14**, sa demi-vie est de l'ordre de 5 800 ans, et donc au-delà de 50 000 à 60 000 ans, ce carbone 14 n'est plus du tout fiable pour dater des fossiles puisqu'il n'en restera pas suffisamment dans les échantillons pour pouvoir mesurer cette quantité de façon correcte.