

De nombreux éléments chimiques possèdent des isotopes radioactifs qui sont utilisés comme chronomètre géologique.

Problème : Quels sont les éléments chimiques utilisables en radiochronologie ?

IV. La mesure des âges absolus grâce aux isotopes radioactifs :

Le choix de l'isotope doit tenir compte de l'âge présumé de la roche d'une part et de la vitesse de désintégration de l'élément utilisé d'autre part. Chaque élément est caractérisé par **sa période ou demi-vie**, durée nécessaire pour que sa concentration dans l'échantillon soit divisée par deux.

Quelques méthodes de datation :

La méthode Potassium/Argon.

Le potassium 40 est un isotope radioactif qui représente 0.012 % du potassium naturel ; il se désintègre en formant de l'argon 40. Les minéraux ne contenant pas d'argon lors de leur formation, la totalité de ^{40}Ar provient de la désintégration de ^{40}K . Connaissant la constante de désintégration de ^{40}K , on peut estimer directement le temps écoulé depuis le début de cette désintégration en utilisant l'équation fondamentale : $^{40}\text{Ar}/^{40}\text{K} = 0.105(e^{\lambda t} - 1)$.

La principale difficulté de cette méthode provient du fait que ^{40}Ar est un gaz qui va s'échapper du système tant que celui-ci n'est pas totalement clos.

La méthode de la droite isochrone

Le rubidium (Rb) et le strontium (Sr) sont des éléments qui peuvent s'insérer dans les minéraux dans les réseaux cristallins de certains minéraux comme les micas ou les feldspaths, à la place d'éléments ayant les mêmes propriétés chimiques : le strontium à la place du calcium (Ca) et le rubidium à la place du potassium (K).

L'isotope 87 (^{87}Rb) du rubidium est radioactif, il se désintègre en strontium ^{87}Sr . Au cours du temps, la quantité de ^{87}Rb diminue alors que celle de ^{87}Sr augmente.

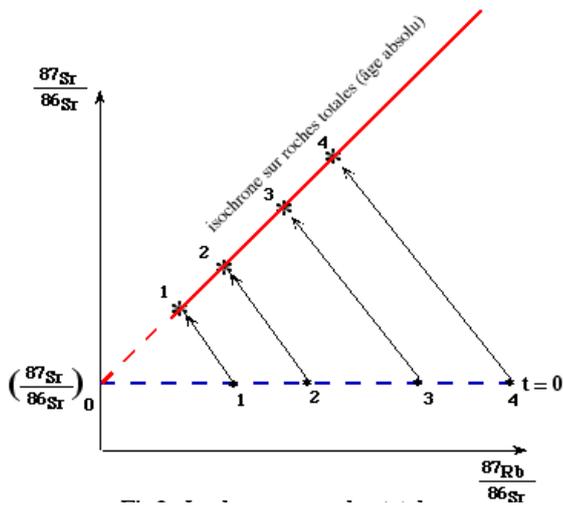
Le problème auquel on se heurte est que les quantités initiales d'isotopes pères et fils sont inconnues: on va alors devoir faire appel à un isotope de référence stable: ^{86}Sr .

Si l'on prend plusieurs minéraux appartenant à la même roche, ou à des roches dont on est sûr qu'elles ont le même âge, on peut doser par spectrométrie de masse les isotopes.

Le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ est constant pour les minéraux car la cristallisation incorpore indifféremment les deux isotopes. En revanche, le rapport $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ varie, car Rb prend la place du potassium, et Sr celle du calcium. Le rapport dépend donc de la composition du minéral.

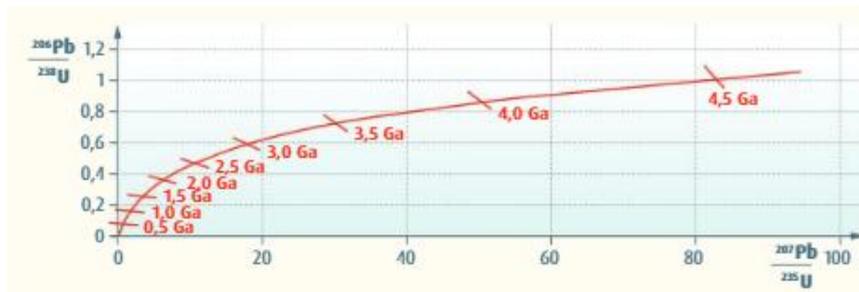
Au cours du temps, ^{87}Rb se transforme en ^{87}Sr : le rapport $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ diminue, tandis que le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ augmente. La transformation se faisant en système clos, on obtiendra des points alignés, définissant une droite isochrone, c'est à dire une droite reliant des points correspondant à des minéraux de même âge. La pente de cette droite a est proportionnelle à l'âge de l'échantillon, et on peut montrer que: $t = \ln(a+1)/\lambda$

L'âge de l'échantillon peut donc être déterminé.



La méthode Uranium/Plomb

Le zircon, contenu dans des minéraux tels que la biotite, présente souvent des traces d'uranium radioactif qui permettent de faire des datations. L'uranium présent dans le zircon est un élément chimique radioactif majoritairement présent sous la forme de deux isotopes : ^{238}U qui se désintègre en ^{206}Pb et ^{235}U qui se désintègre en ^{207}Pb . Les valeurs de λ sont différentes pour ces deux désintégrations. Le plomb ne peut intégrer le réseau cristallin du zircon au moment de sa formation. Le plomb mesuré dans celui-ci provient donc exclusivement de la désintégration radioactive de l'uranium. On utilise conjointement deux radiochronomètres $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ et $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$ pour dater la formation d'une roche. Toutes les combinaisons possibles de ces rapports sont situées sur une courbe qui indique l'âge correspondant. Si le système n'a pas été perturbé, les valeurs de ces rapports isotopiques d'un échantillon sont situées à un point donné de la courbe, permettant de déterminer l'âge de la roche.



La quantité d'isotopes susceptible de se désintégrer diminue et lorsque la teneur en élément père devient trop faible les dosages sont difficiles à faire. La datation n'est par conséquent valide **que si l'on mesure des durées allant du centième à dix fois la période de l'isotope choisi.**

Il n'existe pas de méthode universelle de datation pour aborder l'éventail des différentes échelles du temps. La demi-vie permet de savoir dans quel domaine chacun des chronomètres de datation est fiable.

La datation peut-être effectuée sur des échantillons de nature diverse : il peut s'agir de roches ou de minéraux isolés les uns des autres. Il faut bien entendu que la roche ou le minéral utilisé contienne l'élément correspondant au chronomètre utilisé.

La date que l'on obtient est celle qui correspond **au moment où les isotopes de l'échantillon utilisé (fraction minérale, roche totale) ont été confinés** : aucun constituant n'a pu quitter l'échantillon et aucun des constituants extérieurs n'a pu y entrer. A partir de cette date, les éléments chimiques ont

évolué spontanément en en suivant les lois physiques de désintégration sans interaction avec le milieu. On parle de **système fermé**.

On désigne par « fermeture » le moment où les échanges d'éléments chimiques entre les minéraux (et éventuellement le verre) cessent. La date trouvée est celle de la fermeture du système.

Pour une roche magmatique telle qu'un granite par exemple, la fermeture du système correspond au moment où la cristallisation du magma est achevée : les isotopes radioactifs sont alors piégés dans les réseaux cristallins des minéraux. Dans les roches grenues, la cristallisation n'est achevée que plusieurs centaines de milliers d'années, parfois plusieurs millions d'années après la mise en place du magma. Pour une roche volcanique, la fermeture du système est beaucoup plus rapide car le refroidissement en surface du magma est « immédiat ».

L'utilisation de différents chronomètres pour dater une même roche peuvent donc conduire à des résultats différents.

Les roches sédimentaires sont généralement soumises à des échanges avec l'environnement et ne constituent que rarement des systèmes fermés ; elles sont, de ce fait, difficiles à dater par radiochronologie.

Bilan : La chronologie absolue est fondée sur les lois de la radioactivité naturelle. Comme la désintégration radioactive est un phénomène continu et irréversible, la période radioactive ou demi-vie d'un élément radioactif est caractéristique de cet élément. Les géologues mesurent les concentrations d'éléments pères radioactifs et d'éléments fils radiogéniques. A partir des données obtenues, ils déterminent l'âge des échantillons étudiés.

Différents géochronomètres ($^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$, $^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr}$, $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$) sont disponibles, ils se différencient par la période de l'élément père. Le choix de l'élément père dépend donc de l'âge supposé de l'objet.

Les datations sont effectuées sur des roches magmatiques ou métamorphiques, en utilisant les roches totales ou les minéraux isolés. L'âge obtenu est celui de la fermeture du système considéré.

Demi-vie d'un isotope: temps nécessaire à la désintégration de la moitié des éléments père radioactifs.

Désintégration radioactive : un élément radioactif contenant un atome instable se désintègre spontanément en libérant une particule riche en énergie et donne naissance à un isotope stable.

Isotope fils radiogénique : isotope stable.

Isotope père radioactif : isotope instable.

Fermeture du système : moment à partir duquel l'échantillon est isolé du milieu extérieur. Des températures de fermeture différentes pour différents minéraux expliquent que des mesures effectuées sur un même objet avec différents chronomètres puissent fournir des valeurs différentes.

Chronomètre radioactif ou radiochronomètre : couple d'atomes permettant d'obtenir des estimations quantitatives d'événements géologiques en se basant sur les lois de désintégration radioactive.

TP n°15 : La datation absolue de deux granites.