

Activité 9: Datation absolue des roches et vitesse d'érosion

L'étude du taux d'accumulation des sédiments dans les bassins associés aux chaînes de montagnes met en évidence une vitesse d'érosion moyenne de 50 mètres par million d'années. La lithosphère continentale est soumise dès sa formation à l'altération et à l'érosion qui tendent à faire disparaître les reliefs. On observe dans les massifs anciens des roches d'origine profonde présentent à la surface de la croûte (éclogites, migmatites, granites à coesite...)

Comment expliquer la présence en surface de roches formées en profondeur ?

Deux hypothèses sont envisageables pour répondre à ce problème:

- (1) La présence en surface de roches formées en profondeur serait due au seul phénomène d'érosion
- (2) La présence en surface de roches formées en profondeur serait due à l'érosion cumulée à d'autres mécanismes.

EXPLOITEZ LES RESSOURCES DONT VOUS DISPOSEZ POUR ÉLABORER ET METTRE EN ŒUVRE UNE STRATÉGIE PERMETTANT D'ÉPROUVER CES DEUX HYPOTHÈSES.

Mesure des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ et $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ par spectrométrie de masse dans différents minéraux d'un échantillon de migmatite du dôme du Lévezou à l'instant t (actuel). On rappelle que l'étude pétrographique de la migmatite permet d'estimer sa profondeur de formation à environ 25 km (Activité 3)

	Minéral 1	Minéral 2	Minéral 3	Minéral 4	Minéral 5	Minéral 6	Minéral 7	Minéral 8
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0,7143	0,7224	0,7299	0,7381	0,7450	0,7562	0,7700	0,7819
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	20,5634	43,3803	64,5070	87,6056	107,0423	138,5915	177,4648	210,9859

Données:

La constante radioactive T (demi vie): temps nécessaire pour que la moitié d'une quantité donnée d'éléments pères se désintègre en éléments fils.
 T du couple $^{87}\text{Rb} / ^{87}\text{Sr} = 48,9 \cdot 10^9$ ans

La constante de désintégration λ d'un couple d'isotope est égale à $\ln 2 / T$

Lexique:

* Radiogénique : Se dit d'un élément issu de la désintégration d'un élément radioactif.

* La fermeture du système correspond au moment (t_0) à partir duquel il n'y a plus d'échange entre les éléments chimiques des minéraux d'une roche et le milieu environnant de cette roche. Une fois le système dit « fermé », la quantité d'isotopes radioactifs susceptibles de se désintégrer diminue. Pour les roches magmatiques et métamorphiques, la fermeture du système correspond au moment de la cristallisation de la roche (température en dessous d'un certain seuil). Généralement les roches sédimentaires ne forment pas un système fermé (contamination avec le milieu extérieur à l'échantillon toujours possible).

Fiche documents: La datation absolue

Au XVIIIe et au XIXe, les géologues posent les fondements de la chronologie relative. Cependant, ils ne possèdent aucun moyen de quantifier le temps écoulé entre un phénomène géologique et la période actuelle, c'est à dire de déterminer l'âge absolu du phénomène. Au cours du XXe siècle, la radio-chronologie permet d'estimer l'âge en années (datation absolue) avec plus ou moins de précision des objets et des événements géologiques et biologiques. La radio-chronologie est basée sur les propriétés de désintégration de certains éléments radioactifs.

Le principe de la méthode Rubidium / Strontium

Au cours de leur formation, certains minéraux des roches magmatiques et métamorphiques intègrent quelques atomes du rubidium. Son isotope ^{87}Rb qui est radioactif se désintègre en strontium ^{87}Sr : $^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr} + \text{énergie}$

La détermination de l'âge d'une roche par cette méthode est complexe car:

- On ne connaît pas la quantité initiale P_0 d'élément père ($^{87}\text{Rb}_0$)
- On ne connaît pas non plus la quantité d'élément fils (^{87}Sr) provenant uniquement de la désintégration du ^{87}Rb car les minéraux au moment de leur formation incorporent également une certaine quantité de ^{87}Sr non radiogénique*. La quantité de ^{87}Sr mesurée à l'instant t correspond donc à la quantité initiale de ^{87}Sr non radiogénique plus la quantité de ^{87}Sr issue de la désintégration du ^{87}Rb .

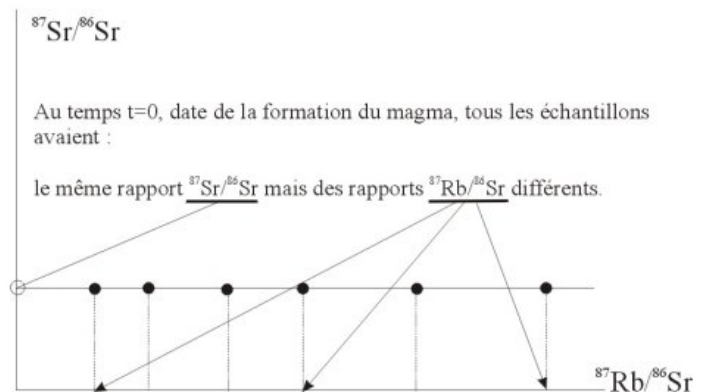
Pour surmonter cette difficulté, il faut des mesures provenant d'au moins deux minéraux d'une même roche (minéraux ayant cristallisé en même temps à partir du même magma) et prendre en compte un isotope de référence indispensable pour comparer les mesures des différents échantillons. C'est l'isotope ^{86}Sr qui est stable (comme ^{87}Sr) et qui n'est pas radiogénique (contrairement à ^{87}Sr) qui sert de référence dans ce cas.

À t_0 , lors de la fermeture du système* le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ est identique dans tous les minéraux de l'échantillon.

Cela s'explique par le fait que les minéraux ont la même affinité pour les deux isotopes du strontium. Ainsi, des minéraux cristallisant à partir d'un même magma intégreront du strontium avec un rapport isotopique $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ identique à celui du magma d'origine.

On dit que ces minéraux sont *cogénétiques*. Et même si certains minéraux intégreront plus de strontium que d'autres, tous auront le même rapport initial $^{87}\text{Sr}_0 / ^{86}\text{Sr}_0$

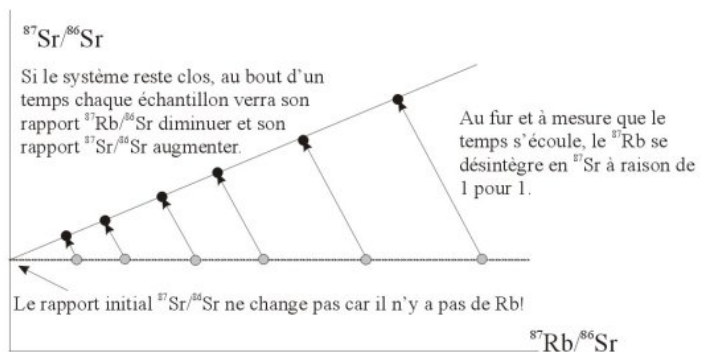
À t_0 , les minéraux possèdent des rapports $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ différents les uns des autres car ils possèdent chacun une affinité différente pour Rb et Sr.



Au cours du temps, ^{87}Rb étant radioactif, il se désintègre en ^{87}Sr ; donc la quantité de ^{87}Rb diminue tandis que la quantité de ^{87}Sr augmente.

Le ^{86}Sr n'étant ni radioactif ni radiogénique, sa quantité reste constante: $^{86}\text{Sr}_0 = ^{86}\text{Sr}$ actuel.

Ainsi le rapport $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ diminue tandis que le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ augmente.



Au temps actuel, on peut mesurer les rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ et $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ par spectrométrie de masse dans différents minéraux cogénétiques, et tracer le graphique $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = f(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})$, on obtient alors une droite dite « isochrone » dont l'équation est de type $y = ax + b$:

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

On observe que plus le temps écoulé depuis la fermeture du système est grand, plus la pente de la droite isochrone est élevée. On en déduit que la pente $a = (e^{\lambda t} - 1)$ est fonction du temps écoulé depuis la fermeture du système. Donc, si $a = e^{\lambda t} - 1$ Alors, $t = [\ln(a + 1)] / \lambda$

