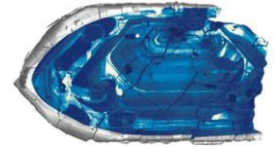


La chronologie relative permet de classer les événements les uns par rapport aux autres. Néanmoins, cette méthode a ses limites. Elle ne donne pas d'âge précis aux événements. Pour répondre à cette attente, les géologues utilisent des outils élaborés par les physiciens basés sur la désintégration radioactive de certains atomes au cours du temps (Carbone, Potassium, Rubidium, etc...).



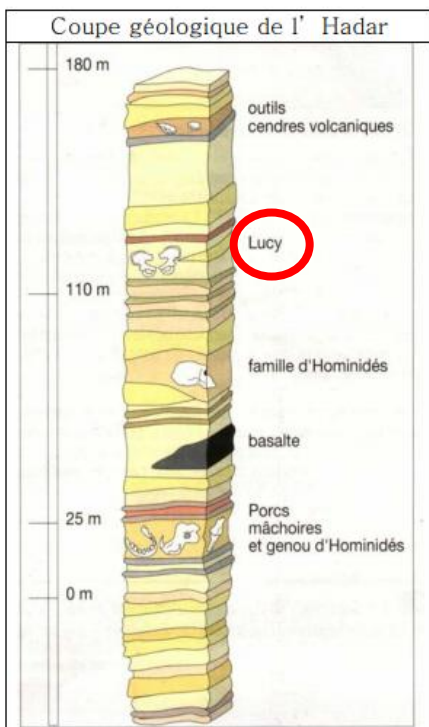
Objectif : On cherche à utiliser le chronomètre radioactif le plus adapté à l'objet géologique à dater.

Datation à partir du couple Potassium/Argon ($^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$)

Exemple 1 : Datation du site de l'Hadar

Lucy est un australopithèque (entre 4,4 et 1Ma) qui a été découvert en Ethiopie, dans la région de l'Hadar en 1974. Les géologues ont pu établir la colonne stratigraphique ci-dessous. Lucy a été trouvé entre 2 niveaux volcaniques (un dépôt de cendres volcaniques et à une coulée de basalte) qui ont pu être datés par la méthode du potassium argon ce qui a permis d'estimer l'âge de Lucy.

Document A : Coupe géologique de l'Hadar



Document C : Résultats de mesure au spectromètre de masse

Les mesures au spectromètre de masse, sur des échantillons contenant 0,1 g de potassium, ont fourni les chiffres suivants :

| | |
|--|---------------------------|
| Dépôt de cendres volcaniques | |
| Nombre d' atomes de ^{40}K : | $200683630210 \cdot 10^6$ |
| Nombre d' atomes de ^{40}Ar : | $30905280 \cdot 10^6$ |
| Coulée de basalte : | |
| Nombre d' atomes de ^{40}K : | $198995190010 \cdot 10^6$ |
| Nombre d' atomes de ^{40}Ar : | $41391000 \cdot 10^6$ |

Consignes :

1- A partir des documents 1, A et B, répondre par vrai ou faux aux affirmations ci-dessous et justifier les réponses fausses.

- On peut dater directement le squelette de Lucy par la méthode du carbone 14.

Faux car l'âge à calculer doit être compris entre environ un centième et dix fois la demi-vie de l'isotope radioactif. Au-delà de cette dernière durée, le nombre d'isotopes radioactifs dans la roche sera trop faible pour être mesurable. Le ^{14}C ayant une demi-vie de 5734ans, on ne peut dater que des objets qui ont 10 fois la demi-vie de l'isotope soit 57340 années au maximum. Lucy est un australopithèque. Les Australopithèques ont vécu entre 4,4 et 1Ma soit bien trop loin pour être datés avec le ^{14}C .

- On peut dater par radiochronologie les sédiments qui contiennent les restes de Lucy.

Faux car le couple K/Ar ne permet de dater que des roches volcaniques.

- Avec le couple d'isotopes K/Ar, on mesure l'élément père et l'élément fils dans la roche.

Vrai, l'élément fils était absent à la fermeture du système. Sa quantité mesurée actuellement correspond uniquement à la quantité de l'élément père disparu.

2- A partir du document C, calculer l'âge des niveaux volcaniques de l'Hadar et indiquer la tranche d'âge dans laquelle a vécu Lucy.

Lucy a vécu dans une période située entre la coulée de basalte et les cendres volcaniques. En datant ces 2 formations, il est possible d'indiquer la période d'existence de Lucy.

→ Datation des cendres volcaniques

Pour le couple K/Ar, l'équation du calcul du temps est $t = [\ln (^{40}\text{Ar}/^{40}\text{K} + 1)] / \lambda$

Soit : $t = [\ln (30905280.10^6 / 200683630210.10^6 + 1)] / 5.8.10^{-11}$

$$t = 2654968,07 \text{ soit environ } \boxed{2,65\text{Ma}}$$

→ Datation de la coulée de basalte

Pour le couple K/Ar, l'équation du calcul du temps est $t = [\ln (^{40}\text{Ar}/^{40}\text{K} + 1)] / \lambda$

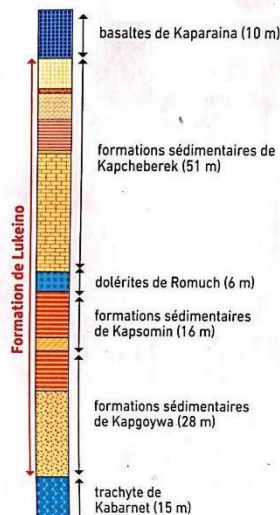
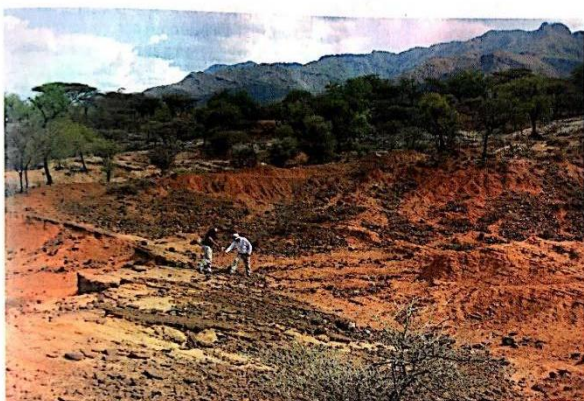
Soit : $t = [\ln (41391000.10^6 / 198995190010.10^6 + 1)] / 5.8.10^{-11}$

$$t = 3585834,02 \text{ soit environ } \boxed{3,58\text{Ma}}$$

Lucy a vécu pendant la période comprise entre **3,58 et 2,65Ma**.

Exemple 2 : La datation d'Orrorin.

Orrorin tugenensis est une espèce d'hominidé découverte dans le bassin de Lukeino au Kenya. Cette formation est essentiellement constituée de sédiments lacustres et fluviaux entrecoupés de filons de roches magmatiques. La validité du radiochronomètre du ^{14}C n'étant que de 57000 ans environ, il n'est pas possible de dater directement les ossements retrouvés au niveau du site de fouille de Kapsomin.



Document : Quelques mesures d'échantillons de roches volcaniques

| Échantillon | Lieu | Matériau analysé | Quantité de ^{40}K en mol/g | Quantité de ^{40}Ar en mol/g | Age (Ma) |
|-------------|----------|------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|----------|
| LK306m | Romuch | Basalte | $3,063 \cdot 10^{-8}$ | $1,039 \cdot 10^{-11}$ | 5,8 |
| TG-KB02AF | Kabarnet | pâte volcanique | $1,552 \cdot 10^{-7}$ | $5,623 \cdot 10^{-11}$ | 6,2 |

Consigne : Calculer l'âge de chaque échantillon afin de dater Orrorin

Pour chaque roche, on applique l'équation du calcul du temps suivante : $t = [\ln (^{40}\text{Ar}/^{40}\text{K} + 1)] / \lambda$

Orrorin a été retrouvée dans la formation de Kapsomin située entre les dolérites de Romuch et la trachyte de Kabarnet soit **entre 6,2 et 5,8Ma.**

Datation à partir du couple Rubidium/Strontium (Rb/Sr)

Exercices d'application :

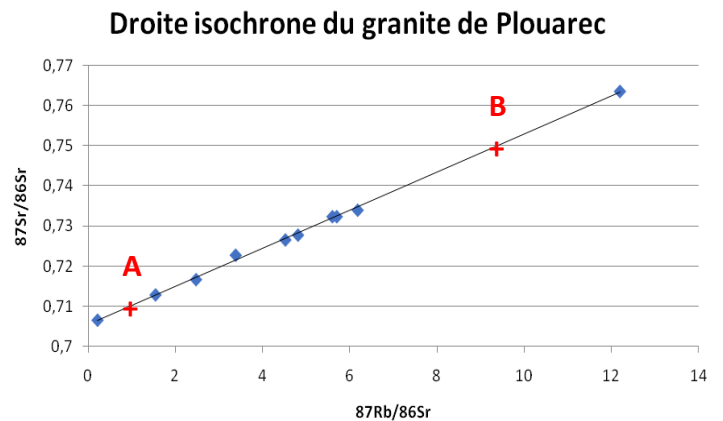
Exercice 1 : Datation du granite de Plouaret

Des mesures ont été réalisées dans différents minéraux du granite de Plouaret. La droite isochrone correspondante a pu être tracée.



Biotite = micas
Auréole de zircon

Les éléments radiogéniques (zircon) dans le mica ont formé une "auréole de radioactivité" (zones brûlées par la radioactivité piégée dans le cristal)



Les points (ici A et B) peuvent être positionnés **n'importe où** sur la droite

1- Calculer la pente de la droite isochrone puis déterminer l'âge du granite de Plouaret.

$y = ax + b$ où a est la pente

$a = (Y_B - Y_A) / (X_B - X_A) = (0,75 - 0,71) / (9,5 - 1) = 4,70588235 \cdot 10^{-3}$

On peut obtenir le temps (t) écoulé depuis la fermeture du système, c'est à dire l'âge de la roche avec l'équation $t = \ln (a+1) / \lambda$

Avec une constante de désintégration pour le ^{87}Rb , $\lambda = 1,4 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$

$$t = \ln(4,70588235 \cdot 10^{-3} + 1) / 1,4 \cdot 10^{-11}$$

$$t = 3,31 \cdot 10^8 = \boxed{331 \text{ Ma environ}}$$

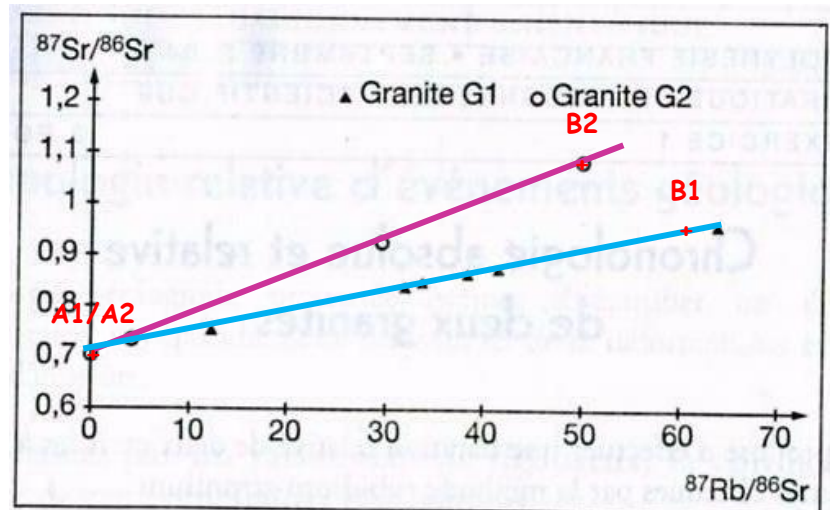
Le granite de Plouaret est daté à 331Ma

Exercice 2 : Chronologie absolue et relative de deux granites

On se propose d'effectuer une datation relative de deux granites à partir de mesures obtenues par la méthode rubidium-strontium.

Résultats

Des mesures isotopiques effectuées sur des échantillons et des minéraux des deux granites G1 et G2 ont permis de construire le graphique ci-contre :



Consigne : À partir des informations extraites du document :

- expliquer comment évoluent au cours du temps, dans une roche, les rapports isotopiques $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ et $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$;

Pour connaître la façon dont varient les rapports, il faut connaître les variations des termes qui composent ces rapports.

D'après l'énoncé, le ^{87}Rb est instable et se désintègre spontanément en ^{87}Sr , qui lui, est stable.

D'autre part, on nous dit que la quantité de ^{86}S est supposée constante au cours du temps.

On en déduit que la quantité de ^{87}Rb diminue au cours du temps et que celle du ^{87}Sr augmente.

On en déduit que les rapports $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ et $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ suivent les variations des quantités de ^{87}Rb et ^{87}Sr , donc dans une roche, le rapport $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ diminue au cours du temps et le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ augmente.

- proposer une datation relative des granites G1 et G2 en justifiant la réponse,

On voit sur le graphique que les points de mesure (triangles ou cercles) correspondant à chaque granite sont alignés : ce sont des droites isochrones.

Le coefficient directeur des droites est $A = e^{\lambda t} - 1$ environ égal à λt .

Appelons A1 et A2 les pentes des droites correspondant aux granites G1 et G2 et t1 et t2 les temps écoulés depuis les mises en place de ces deux roches. On voit que A1 est inférieure à A2.

Comme λ est une constante, c'est le temps qui fait varier le coefficient directeur de la droite. Il en découle que $\lambda \cdot t1$ est inférieur à $\lambda \cdot t2$ et donc que t1 est inférieur à t2.

Le granite G1 est donc plus jeune que le granite G2, il s'est mis en place après.

- calculer l'âge de chaque granite.

→ Granite G1 :

$$\text{Pente granite 1} : a1 = (YB1 - YA1) / (XB1 - XA1) = (0,91 - 0,7) / (60 - 0) = 0,0035$$

$$\text{Donc } t = \ln(a1 + 1) / \lambda = \ln(0,0035 + 1) / 1,4 \cdot 10^{-11}$$

$$t = 246 \text{ Ma environ}$$

→ Granite G2 :

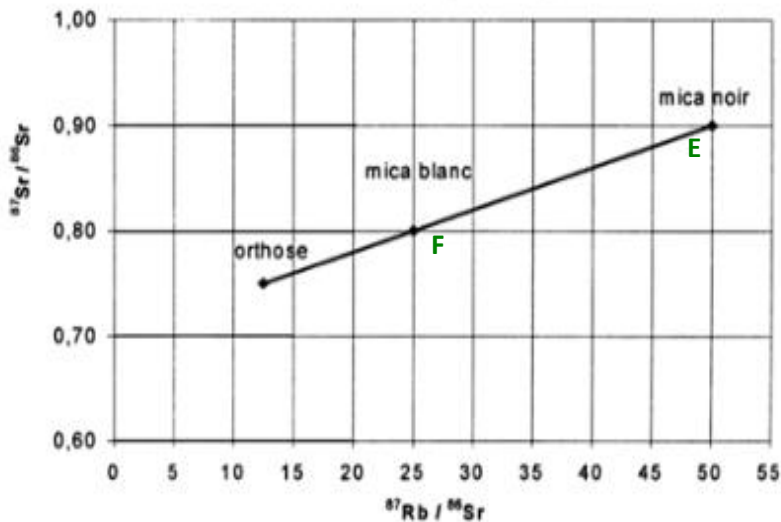
Pente granite 2 : $a_2 = (Y_{B2} - Y_{A2}) / (X_{B2} - X_{A2}) = (1,07 - 0,7) / (50 - 0) = 0,0074$

Donc $t = \ln(a_2 + 1) / \lambda = \ln(0,0074 + 1) / 1,4 \cdot 10^{-11}$

$t = 519 \text{ Ma environ}$

Exercice 3 : Utilisation de la droite isochrone

Dans un granite qui affleure en domaine continental, on mesure les rapports isotopiques $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ et $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ dans plusieurs minéraux, puis on trace la droite isochrone.



Les points (ici E et F) peuvent être positionnés **n'importe où** sur la droite

Droite isochrone du granite étudié

Question : détermine l'âge de cette roche.

Sachant que la constante de désintégration du ^{87}Rb est de $\lambda = 1,4 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$

- * Le graphique $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = f(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})$ représente la droite isochrone, d'équation $y = ax + b$.
- * Or on a : $(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}) = (e^{\lambda t} - 1) (^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_{\text{initial}} + (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{initial}}$.
- * Par conséquent, la pente de la droite isochrone est égale à $(e^{\lambda t} - 1)$.

On calcule alors la pente a de la droite isochrone :

$$a = (Y_E - Y_F) / (X_E - X_F) = (0,9 - 0,8) / (50 - 25) = 0,1 / 25 = 0,004$$

Pour obtenir t, le temps t écoulé depuis la fermeture du système, c'est à dire l'âge de la roche $t = \ln(1+a)/\lambda$, avec une constante de désintégration pour le ^{87}Rb $\lambda = 1,4 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$

$$t = \ln(1+0,004) / 1,4 \cdot 10^{-11}$$

$t \cong 285 \text{ Ma}$