

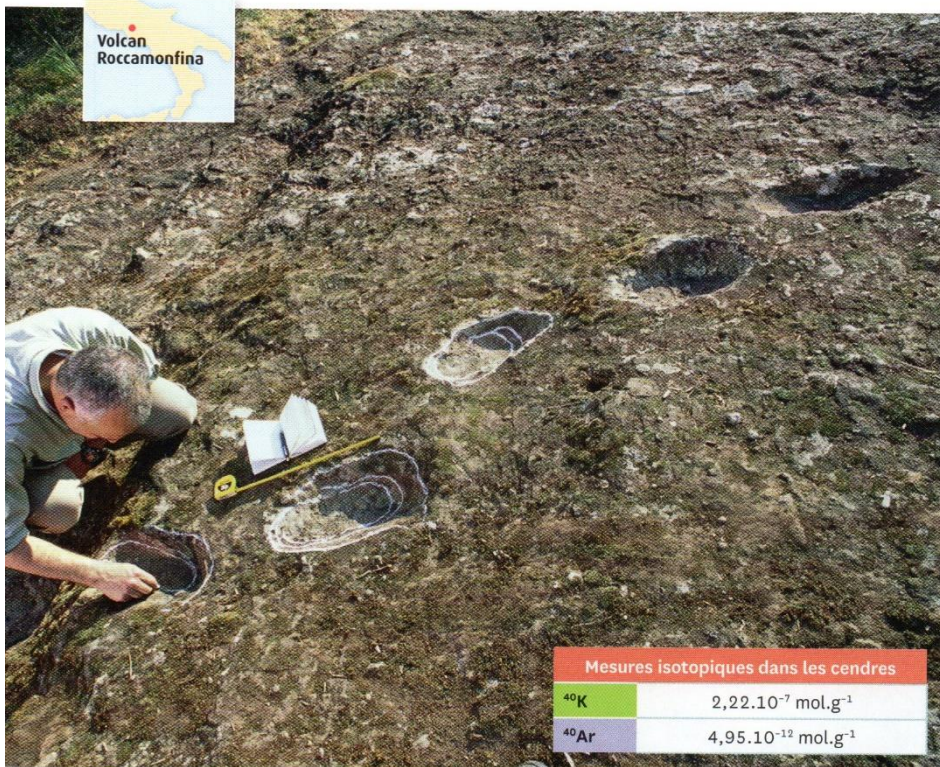
3

UNITÉ

Dater avec le radiochronomètre potassium (K)/argon (Ar)

En 2003, des empreintes de pas humains dans des cendres volcaniques cimentées ont été découvertes en Italie. La datation de ces cendres révèle que ces traces sont parmi les plus anciennes connues au monde.

Comment ces empreintes de pas ont-elles été datées ?



1 Empreintes de pas sur le flanc du volcan Roccamonfina (Italie). Trois pistes ont été fossilisées. La première forme un Z, probablement destinée à rendre la descente plus facile. La deuxième montre des empreintes de mains près de la piste, résultant vraisemblablement de glissements de l'individu. La troisième, rectiligne, indique une descente à pas constants et sans glissement. Les empreintes de pas mesurent environ 20 cm de longueur et 10 cm de largeur, ce qui permet d'estimer la taille des humains à 1,35 m. On peut penser qu'elles ont été laissées par des représentants de l'espèce *Homo heidelbergensis*.

Le ⁴⁰K radioactif se désintègre en ⁴⁰Ar et en ⁴⁰Ca.
Sa constante de désintégration totale est nommée λ :

$$\lambda = \lambda_{Ar} + \lambda_{Ca}$$

avec $\lambda_{Ar} = 5,8.10^{-11} \text{ an}^{-1}$ et $\lambda = 5,543.10^{-10} \text{ an}^{-1}$.

On peut montrer que $\frac{^{40}\text{Ar}}{^{40}\text{Ca}} = \frac{\lambda_{Ar}}{\lambda_{Ca}}(1)$

L'évolution de ⁴⁰K au cours du temps, s'écrit :

$$^{40}\text{K} = ^{40}\text{K}_0 \cdot e^{-\lambda t}, \text{ soit : } ^{40}\text{K}_0 = ^{40}\text{K} \cdot e^{\lambda t}$$

Par conservation du nombre d'atomes, il est possible d'écrire :

$$^{40}\text{K}_0 = ^{40}\text{K} + ^{40}\text{Ar} + ^{40}\text{Ca}$$

$$^{40}\text{K}_0 - ^{40}\text{K} = ^{40}\text{Ar} + ^{40}\text{Ca}$$

$$^{40}\text{Ar} + ^{40}\text{Ca} = ^{40}\text{K} \cdot (e^{\lambda t} - 1)$$

D'après (1) :

$$^{40}\text{Ar} \cdot \left[\frac{\lambda_{Ca}}{\lambda_{Ar}} + 1 \right] = ^{40}\text{K} \cdot (e^{\lambda t} - 1),$$

$$^{40}\text{Ar} \cdot \left(\frac{\lambda}{\lambda_{Ar}} \right) = ^{40}\text{K} \cdot (e^{\lambda t} - 1)$$

D'où on peut déduire :

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left[\left(\frac{\lambda_{Ar} \cdot ^{40}\text{Ar}}{\lambda \cdot ^{40}\text{K}} \right) + 1 \right]$$

La variable t correspond à la durée écoulée depuis la fermeture du système qui, selon le minéral, peut correspondre à la cristallisation de la roche.

2 La méthode de datation K/Ar.

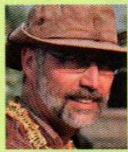
L'âge obtenu grâce à la méthode K/Ar est valable si deux hypothèses sont vérifiées :

- l'échantillon était dépourvu d' ^{40}Ar radiogénique au moment de la fermeture du système. Dans le cas contraire, l'âge serait surestimé.
- l'échantillon a évolué en système clos. Il ne doit pas avoir subi d'altération susceptible d'entraîner une perte d' ^{40}Ar , le cas échéant l'âge serait sous-estimé.

Avec la méthode K/Ar, on ne peut pas vérifier ces hypothèses. En outre, la mesure de ces isotopes nécessite deux techniques différentes : la spectrométrie d'absorption atomique pour la mesure du ^{40}K , la spectrométrie de masse en phase gazeuse pour ^{40}Ar . Les incertitudes liées à la mesure

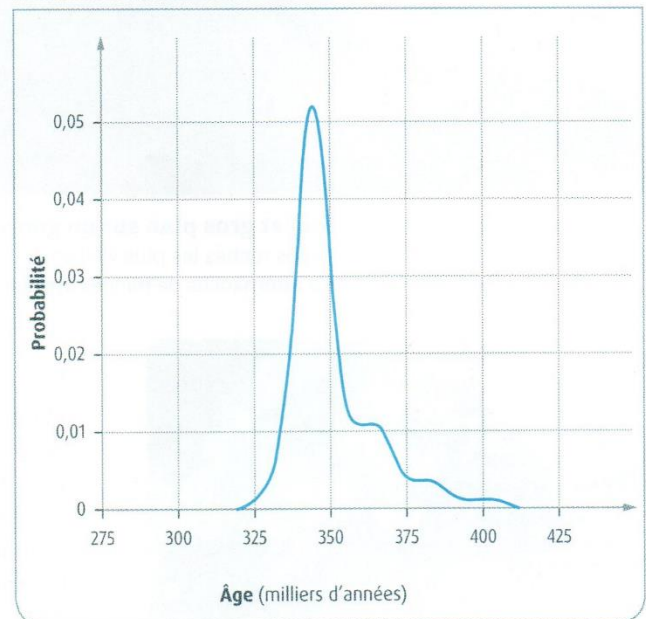
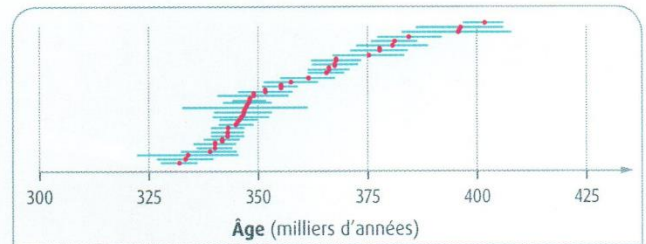
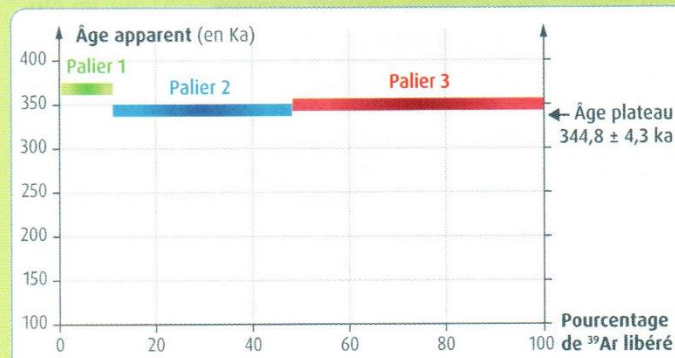
par ces deux appareils s'accroissent, d'autant que l'on mesure ^{40}K et ^{40}Ar dans deux échantillons différents, dont on n'est pas certain qu'ils sont chimiquement homogènes. La technique Ar/Ar est une variante de la méthode K/Ar dans laquelle les deux hypothèses ci-dessus sont vérifiables. ^{39}Ar est un isotope qui n'existe pas à l'état naturel : il est produit exclusivement par irradiation de ^{39}K au laboratoire. La quantité de ^{39}Ar ainsi créée est proportionnelle à la quantité de ^{39}K de l'échantillon et donc à la quantité de ^{40}K , puisque le rapport $^{40}\text{K}/^{39}\text{K}$ est identique partout à un instant t. Cette méthode permet ainsi de mesurer les isotopes ^{39}Ar et ^{40}Ar d'un même échantillon, par un unique spectromètre de masse en phase gazeuse.

3 La méthode de datation argon/argon (Ar/Ar).



Interview de Stéphane Scaillet, géochronologiste au Laboratoire des sciences de la Terre d'Orléans (CNRS, université d'Orléans, BRGM).

Après irradiation, les échantillons confinés sous ultraviolet sont chauffés par palier. Chaque palier de température permet d'extraire les isotopes ^{40}Ar radiogéniques et ^{39}Ar dont on mesure le rapport. Une équation d'âge spécifique à cette méthode permet d'obtenir, pour chaque palier, un âge apparent. L'ensemble de ces paliers forme le spectre d'âge (voir ci-dessous), de forme variable selon l'histoire de l'échantillon. Dans le cas d'un échantillon non perturbé, ce spectre d'âge a une pente généralement nulle ou faible. À partir de ce spectre d'âge, il est possible de calculer l'âge plateau. Celui-ci est caractérisé par un plateau composé d'au moins 3 étapes de chauffages successives, contenant au minimum 60 % de ^{39}Ar , et de pente nulle. Cet âge plateau correspond à la durée depuis laquelle le système est clos. Le spectre ci-dessous a été obtenu par chauffage progressif d'un minéral de leucite extrait des cendres volcaniques de Roccamonfina ayant fossilisé les pas.



5 Estimation de l'âge des cendres volcaniques récoltées sur les flancs du Roccamonfina. Trente-quatre cristaux de leucite ont été analysés avec la technique Ar/Ar. Leurs âges sont représentés par des points rouges (en haut). La marge d'erreur est précisée pour chaque point. La courbe du bas représente la distribution estimée de ces âges d'après une analyse statistique. Elle permet d'estimer l'âge probable des cendres.

4 Comment met-on en œuvre la technique Ar/Ar ?

TÂCHE COMPLEXE

Vous expliquerez comment les empreintes de pas de Roccamonfina ont été datées sous la forme d'un texte. Vous calculerez l'âge des cendres volcaniques obtenu grâce à la méthode K/Ar et vous le comparerez à celui déterminé par la technique Ar/Ar. Vous indiquerez quelle méthode est la plus fiable en justifiant votre réponse.