



THÈME : À LA RECHERCHE DU PASSÉ GÉOLOGIQUE DE NOTRE PLANÈTE
Chapitre : Le temps et les roches

3

Term spé

Les principes de la datation absolue

➤ **Objectif**

☐ Identifier les caractéristiques (demi-vie ; distribution) de quelques chronomètres reposant sur la décroissance radioactive, couramment utilisés dans la datation absolue : Rb/Sr, K/Ar, U/Pb.

➤ **Compétences et capacités travaillées**

PRATIQUER DES DÉMARCHES SCIENTIFIQUES

3. Raisonner, argumenter conclure en exerçant des démarches scientifiques et un sens critique



Fragile

1 critère sur 3



Intermédiaire

2 critères sur 3



Avancé

3 critères sur 3 (avec aide)



Expert

3 critères sur 3 (sans aide)

- Des faits sont identifiés mais n'ont pas été transformés en arguments.

- Réponse explicative absente ou incohérente

- Quelques arguments sont construits à partir des faits (informations et/ou connaissances).

- Absence de réponse ou réponse non cohérente avec le problème posé.

- Des arguments sont construits à partir des faits (informations et/ou connaissances).

- Réponse explicative cohérente avec le problème posé.

- Suffisamment d'arguments sont construits à partir des faits, pour répondre à la question posée.

- Réponse explicative cohérente avec le problème scientifique et complète.

Mise en situation : Jusqu'au début du XXe siècle, aucune méthode ne permettait d'évaluer l'âge absolu d'un événement géologique. Le physicien Ernest Rutherford propose alors d'utiliser la désintégration radioactive pour mesurer l'âge des minéraux constitutifs d'une roche.

Question scientifique : Sur quels principes géologiques repose la datation absolue ?

LES PRINCIPES PHYSIQUES DE LA DATATION ABSOLUE

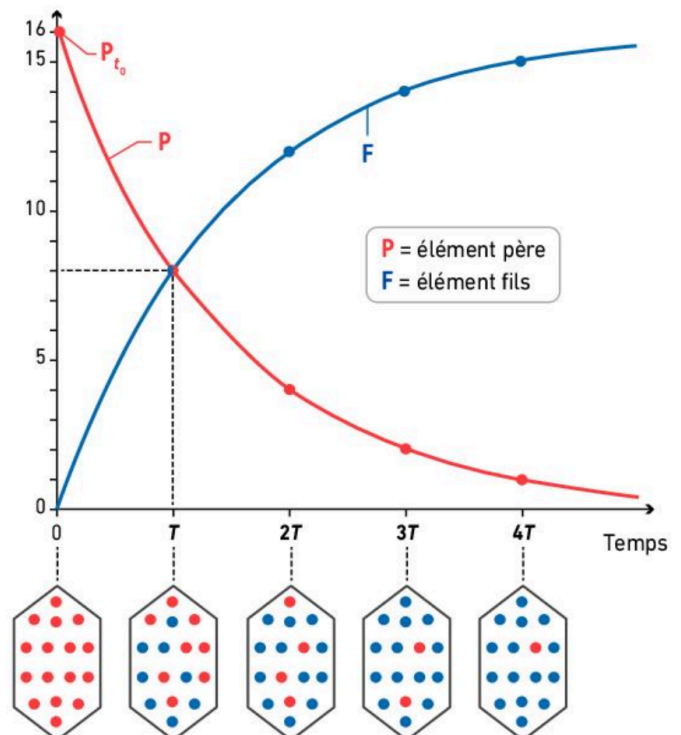
De nombreux éléments chimiques possèdent des isotopes radioactifs qui sont utilisés comme chronomètres géologiques. Lorsqu'un élément père radioactif se désintègre, il forme un élément fils, ou élément radiogénique. Ce phénomène se déroule de façon continue et irréversible. La quantité d'élément père encore présente au temps t (P_t) est décrite par la loi dite « de désintégration radioactive ».

Loi de désintégration radioactive : $P_t = P_{t_0} \cdot e^{-\lambda t}$

Elle dépend :

- de la quantité initiale d'élément père (P).
- de la constante de désintégration radioactive, dont la valeur est spécifique à chaque isotope radioactif. Cette constante est proportionnelle à l'inverse de la période (T) ou « demi-vie » de l'élément père.
- du temps écoulé depuis t_0 .

Selon les cas, la datation peut être basée sur le dosage de l'élément père restant ou sur celui de l'élément fils formé. On utilise pour ces mesures un spectromètre de masse, appareil capable de séparer les isotopes

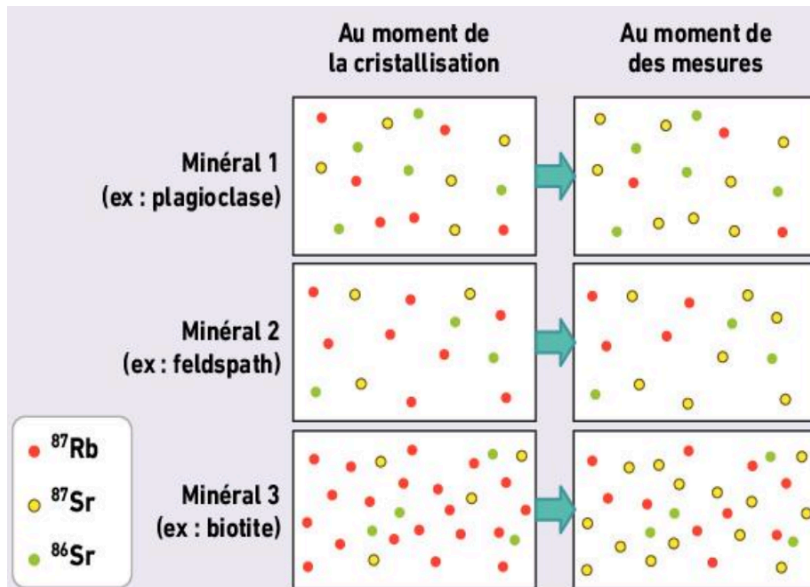


Document 1 : La désintégration radioactive.

ATELIER 1 : LE CHRONOMÈTRE RUBIDIUM / STRONTIUM

Le rubidium (^{87}Rb) est un élément présent dans des roches magmatiques, en quantités variables selon les minéraux considérés. Radioactif, il se désintègre très lentement en un élément radiogénique stable, le strontium (^{87}Sr). À l'aide de la loi de désintégration radioactive, on obtient l'équation suivante :

$$^{87}\text{Sr} = ^{87}\text{Rb} (e^{\lambda t} - 1) + ^{87}\text{Sr}_0 \text{ avec } \lambda = 1,42 \times 10^{-11}.$$

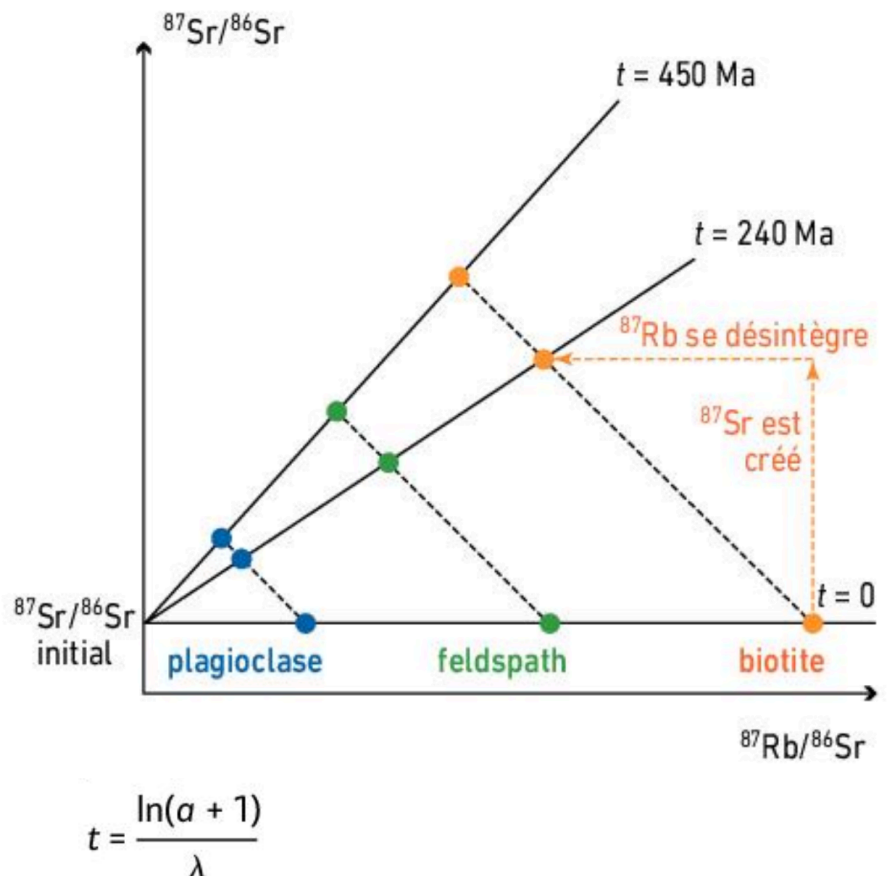


Dans cette équation, on cherche t (temps écoulé depuis la cristallisation du magma). Mais on ne peut la résoudre directement, car on est incapable de distinguer, parmi les atomes de ^{87}Sr que l'on dose dans l'échantillon, ceux qui étaient déjà présents au moment de la fermeture du système et ceux qui sont apparus ensuite par désintégration du rubidium. $^{87}\text{Sr}_0$, constitue donc une seconde inconnue. Pour résoudre ce problème, on fait appel à un autre isotope stable du strontium, également présent dans les roches continentales : ^{86}Sr .

Document 2 : Un modèle d'évolution du rubidium et du strontium dans trois minéraux d'une même roche.

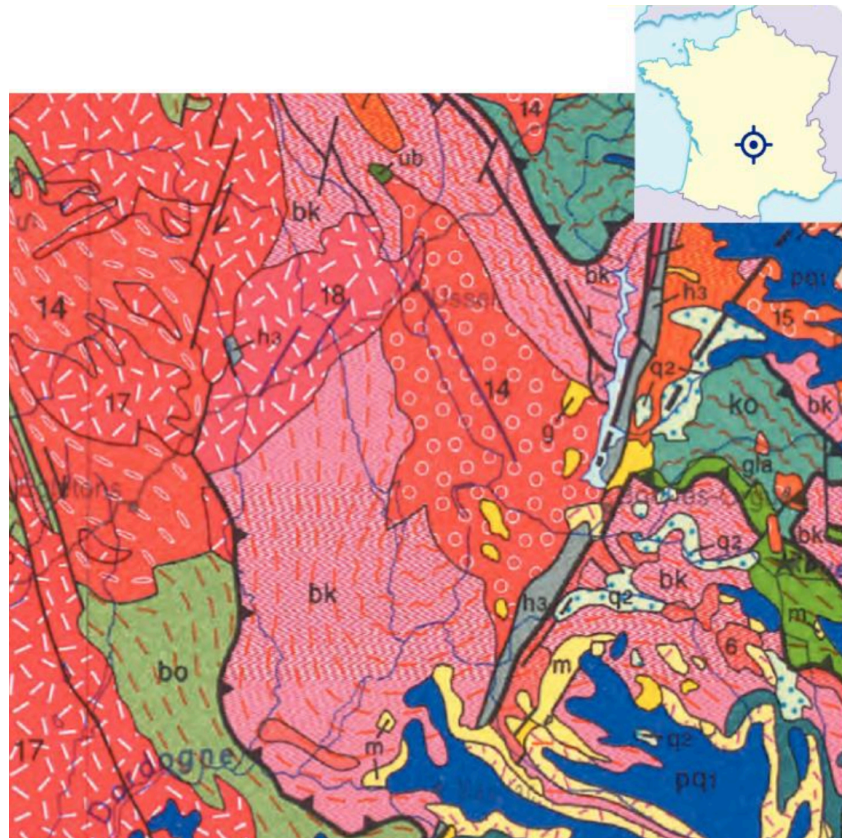
Lors de leur formation, les minéraux comme les micas ou les feldspaths incorporent indifféremment l'un ou l'autre des deux isotopes du strontium. Si on considère différents échantillons de même âge t , leurs rapports

$^{87}\text{Sr}_0 / ^{86}\text{Sr}$ sont donc les mêmes. On rapporte également les mesures de ^{87}Sr et de ^{87}Rb à la même référence ^{86}Sr . Placés dans un même repère, les points représentatifs des différents minéraux restent alignés au cours du temps. Ils permettent de tracer une droite affine dont la pente (de coefficient directeur : $\alpha = e^{\lambda t} - 1$) augmente au cours du temps. On peut alors montrer que l'âge de la roche est :



Document 3 : La droite isochrone du couple Rb/Sr et son évolution au cours du temps.

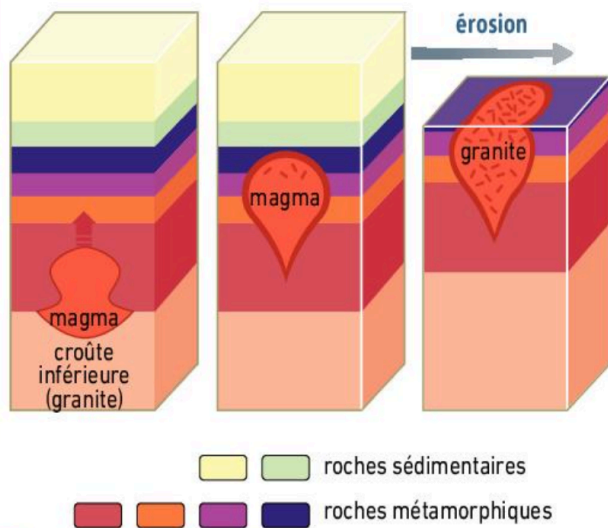
Le pluton granitique de Meymac (Corrèze) résulte de la formation d'un magma riche en silice, puis de sa lente cristallisation, en profondeur (formation 18). Après sa formation, l'érosion a amené le pluton jusqu'à l'affleurement, et transporté ses fragments vers des bassins sédimentaires. C'est ainsi que des galets de ce granite ont été retrouvés en aval de Meymac, inclus dans des formations détritiques âgées de 303 à 290 Ma.



roches sédimentaires et métamorphiques
bk ko bo h3 m g q2
 roches magmatiques et plutoniques
14 15 16 17 18

Document 4 : La carte géologique de Meymac.

Pour déterminer l'âge du granite de Meymac, des dosages isotopiques du rubidium et du strontium ont été effectués à l'aide d'un spectromètre de masse.



n° échantillon	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
RT 9517	2,56	0,72103
RT 9518	2,99	0,72321
RT 9519	3,18	0,72381
RT 9520	3,59	0,72537
RT 9521	3,71	0,72597
RT 9522	5,01	0,73135
RT 9523	4,79	0,73029
RT 9524	4,64	0,73009

Document 5 : Une application du chronomètre Rb/Sr: la datation d'un pluton granitique.

1. À l'aide du microscope polarisant et d'une lame de granite semblable à ceux retrouvés à Meymac, justifiez le choix du couple Rb/Sr pour dater ce granite.
2. Calculer, à l'aide d'un ordinateur et d'un tableur, l'âge du granite de Meymac en utilisant la méthode de la droite isochrone.
3. Vérifier sa cohérence avec l'ensemble des données géologiques disponibles et de la carte de France au 1 000 000 000ème sur Tectoglob 3D.

ATELIER 2 : LE CHRONOMÈTRE POTASSIUM / ARGON

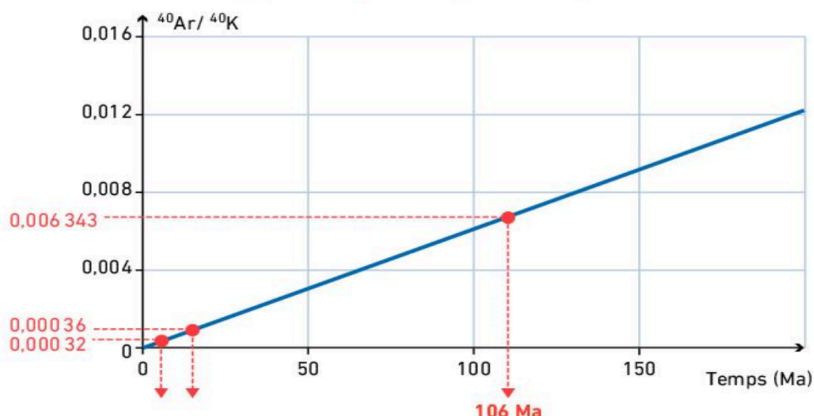
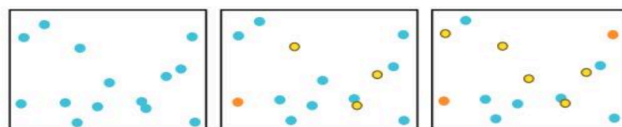
Le potassium est un élément abondant dans des minéraux communs tels que les feldspaths et les micas. Son isotope ^{40}K est un élément radioactif dont la désintégration produit du calcium (88%) et de l'argon (12%). À partir de la loi de désintégration radioactive, on peut établir l'équation suivante :

$$^{40}\text{K}_t = ^{40}\text{K}_{t_0} \cdot (e^{-\lambda t}) \quad \text{que l'on peut aussi écrire sous la forme :} \quad t = \frac{\ln\left(\frac{^{40}\text{K}_{t_0}}{^{40}\text{K}_t}\right)}{\lambda}$$

La quantité de $^{40}\text{K}_{t_0}$, est inconnue, mais elle peut être déduite de la mesure de ^{40}Ar . En effet, l'argon est un gaz qui s'échappe du magma. Il ne sera piégé que lors de la cristallisation. On peut donc considérer que tout l'argon présent dans l'échantillon provient de la désintégration du potassium :

On obtient alors : $^{40}\text{K}_{t_0} = ^{40}\text{K}_t + ^{40}\text{Ar}_t$ avec $t = \frac{\ln\left(1 + \frac{^{40}\text{Ar}_t}{^{40}\text{K}_t}\right)}{\lambda}$

λ est la constante de désintégration du ^{40}K et vaut $5,81 \times 10^{11}$ an. Un spectromètre de masse permet de doser les teneurs en ^{40}K et ^{40}Ar dans l'échantillon.



Document 6 : Principe d'utilisation du couple K/Ar.

Les paléontologues s'intéressent à la dépression de l'Hadar située en Afrique de l'Est. Le choix de ce site est fondé sur plusieurs arguments :

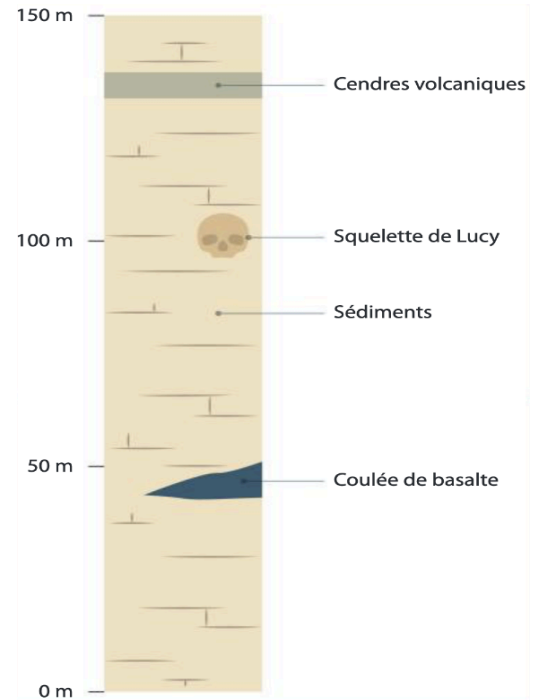
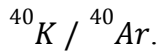
- Au sein des dépôts sédimentaires, on trouve des roches volcaniques associées à l'activité du rift africain.
- Des fossiles stratigraphiques dans un état remarquable de conservation, ont permis de savoir que les roches sédimentaires se sont déposées entre - 3 Ma et - 4 Ma.

En 1973, des paléontologues découvrent dans des couches argileuses de l'Hadar les restes d'un Australopithecus afarensis : Lucy

Document 7 : Contexte géologique de la découverte de Lucy.

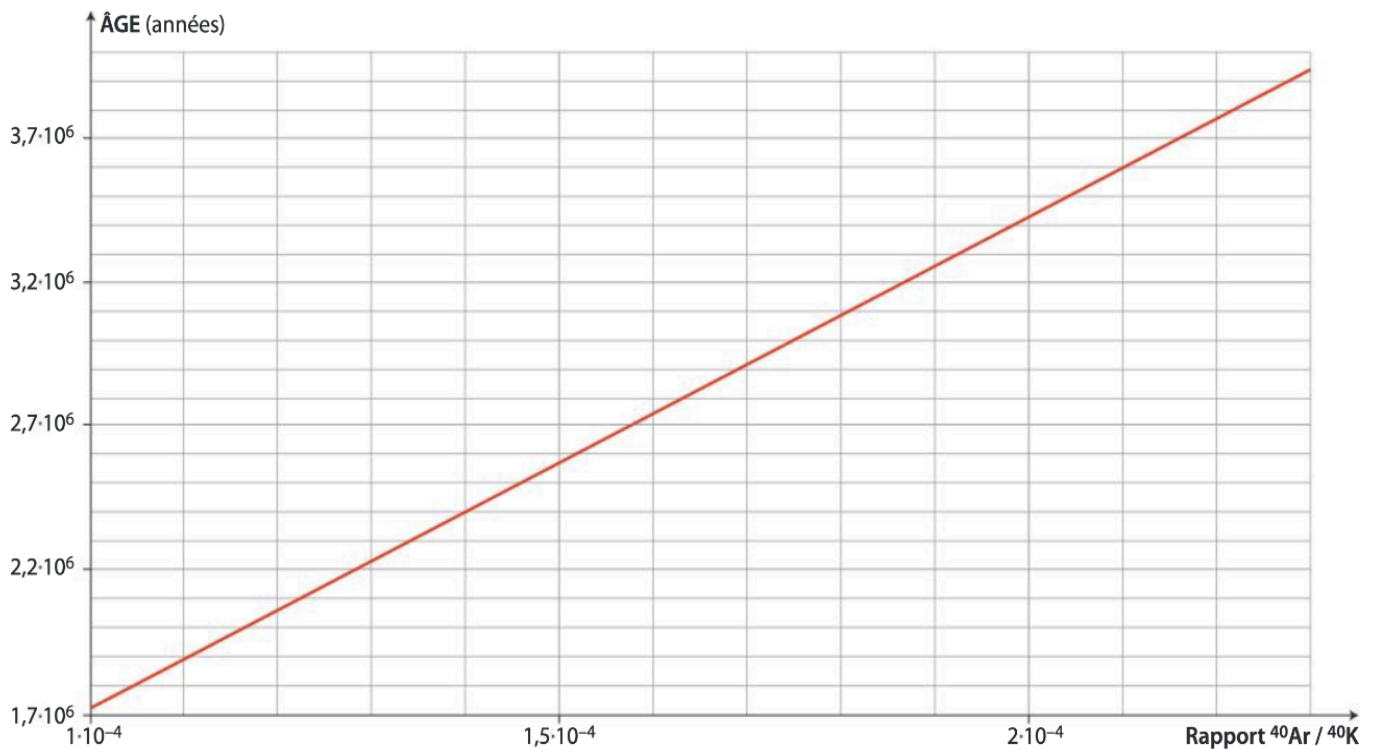


Les roches de ce site sont riches en potassium, permettant l'utilisation du géochronomètre



Nature des échantillons	Rapport $^{40}\text{Ar} / ^{40}\text{K}$
Cendres volcaniques	$1,7 \times 10^{-4}$
Coulée de basalte	$2,1 \times 10^{-4}$

Document 8 : Caractéristiques des échantillons analysés et résultats des dosages au spectromètre de masse.



Document 9 : Relation entre la valeur du rapport $^{40}\text{K} / ^{40}\text{Ar}$ et l'âge d'un échantillon.

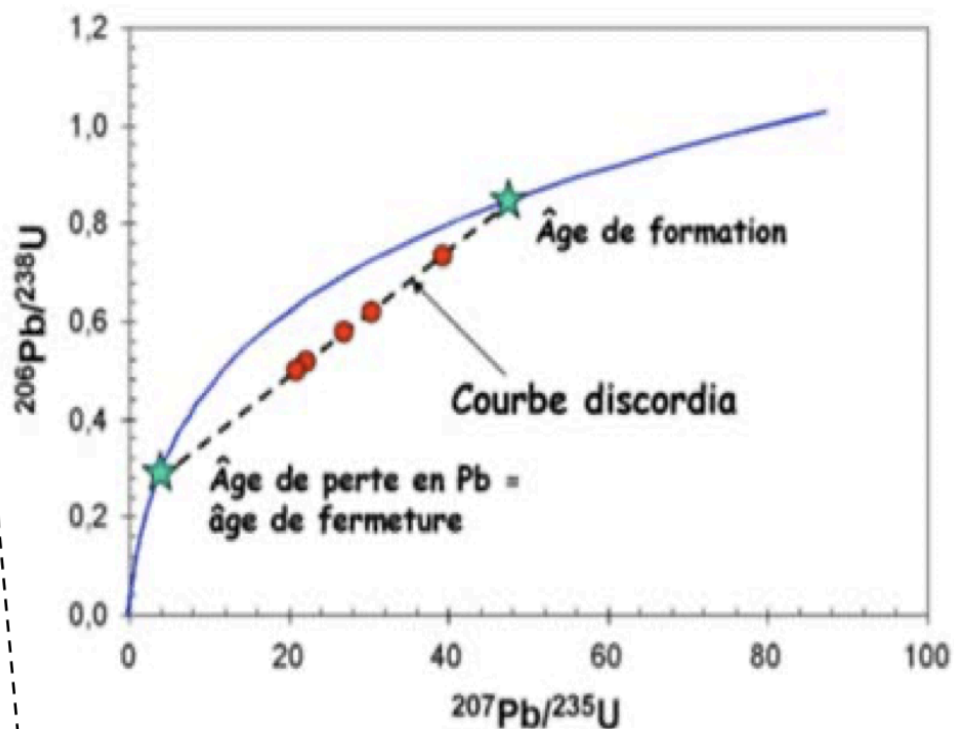
- À l'aide du microscope polarisant et d'une lame de basaltes semblable à ceux retrouvés à Hadar, justifiez le choix du couple K/Ar pour dater les restes de "Lucy".
- Calculez l'âge pour les roches sédimentaires contenant les restes de l'Australopithèque "Lucy".
- Vérifier sa cohérence avec l'ensemble des données géologiques disponibles.

L'uranium contenu dans le zircon est un élément chimique radioactif majoritairement présent sous la forme de 2 isotopes :

^{238}U se désintègre en

^{206}Pb et ^{235}U se

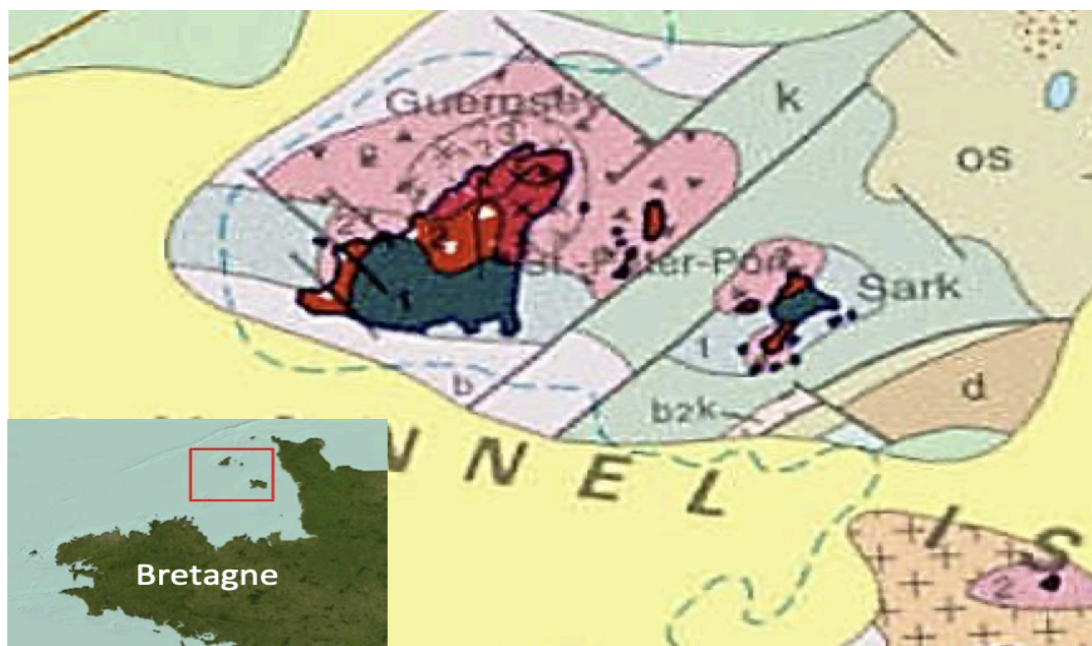
désintègre en ^{207}Pb . Les valeurs de λ sont différentes pour ces deux désintégrations. Le plomb ne peut intégrer le réseau cristallin du zircon (minéral) au moment de sa formation. Le plomb mesuré dans celui-ci provient donc uniquement de la désintégration radioactive de l'uranium.



On utilise conjointement deux radiochronomètres pour dater la formation d'une roche. La datation d'une roche à partir de cette méthode donne souvent un nuage de points qui n'est pas confondu avec la concordia : c'est la droite discordia. Cette droite coupe donc la concordia en 2 points : le plus âgé donne l'âge initial de la roche alors que le plus récent donne l'âge du métamorphisme.

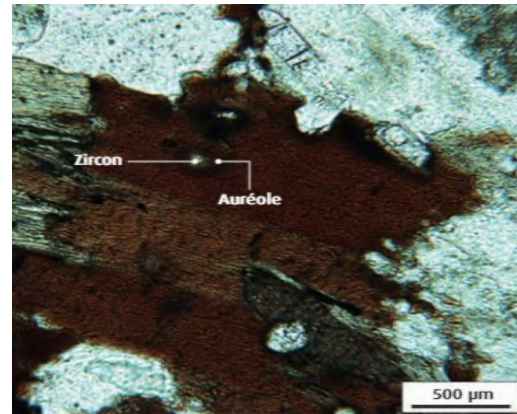
Document 10 : Le principe de la datation par la méthode U/Pb.

La datation des roches anciennes est parfois plus complexe car elles peuvent avoir été affectées par divers événements (magmatisme ou métamorphisme). C'est le cas des gneiss. Ce sont des roches issues de la transformation des granites qui ont été enfouis en profondeur dans les chaînes de montagnes. On trouve des roches très anciennes sur l'île de Guernesey, en particulier dans sa partie sud (lcart).



Document 11 : Carte localisant l'affleurement étudié.

Les roches étudiées dans la zone 1 (au Sud) sont les gneiss d'Icart. Les gneiss, comme les granites, contiennent des micas (biotite et muscovite) qui présentent souvent des inclusions sous la forme de zircons. Ce sont des minéraux très résistants mais également riches en uranium. Les micas présentent d'ailleurs très souvent des traces sombres autour des zircons qui sont des auréoles liée à la désintégration de l'Uranium.

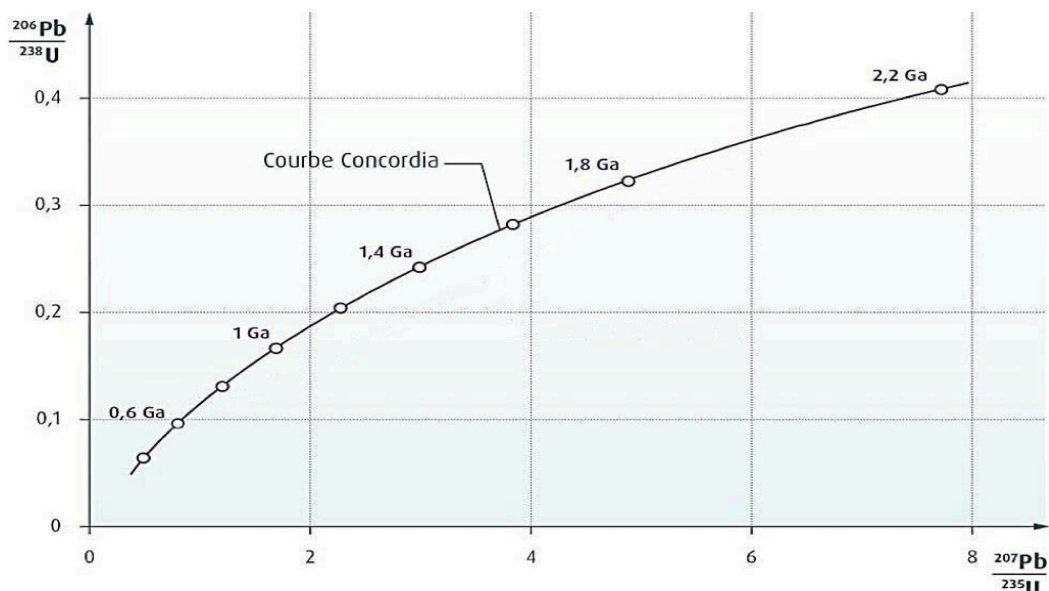


Document 12 : Roches étudiées et minéraux utiles à la datation absolue.

On a déterminé les rapports isotopiques U / Pb de zircons présents dans les gneiss d'Icart dont les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
Zircon 1	6,1	0,352
Zircon 2	5,57	0,328
Zircon 3	5,23	0,304
Zircon 4	4,85	0,287
Zircon 5	4,27	0,255

On a réalisé le tracé de la concordia sur le graphique ci-dessous pour vous permettre de dater la roche et l'âge du métamorphisme.



Document 13 : Rapports isotopiques et Concordia U / Pb.

- À l'aide du microscope polarisant et d'une lame de gneiss semblable à ceux retrouvés à Icart, justifier le choix du couple U / Pb pour gneiss d'Icart.
- Calculer l'âge pour les roches métamorphiques d'Icart (méthode Concordia).
- Vérifier sa cohérence avec l'ensemble des données géologiques disponibles et de la carte de France au 1 000 000 000ème sur Tectoglob 3D.