



Introduction : Des observations de terrain, l'utilisation de cartes et la radiochronologie permettent de dater de façon relative ou absolue des événements magmatiques. Vous avez réalisé en cours des exercices de datation relative, voyons maintenant la méthode et l'intérêt de dater de manière absolue un événement.

Problème : Comment dater de manière absolue un événement géologique ?

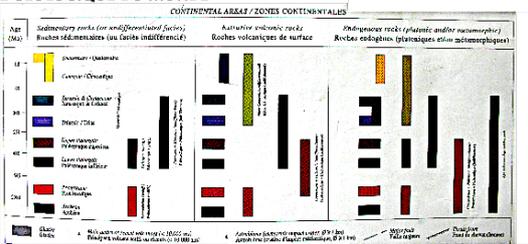
Objectifs :

- ➔ Comprendre la méthode Rb/Sr et Sm/Nd
- ➔ Comprendre l'importance du choix du radiochronomètre
- ➔ S'entraîner aux ECE

I - Données de Stratigraphie

LEGENDE de la CARTE GEOLOGIQUE DU MONDE

Echelle : 1 / 25 000

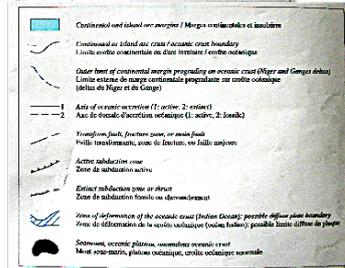
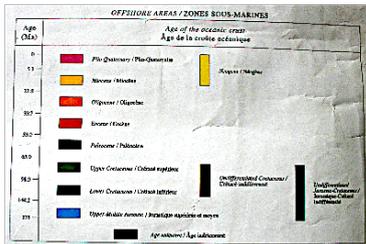


1) A l'aide de la légende, déterminer l'âge maximum de la croûte continentale. Le comparer avec celui de la croûte océanique.

2) Aidez vous de la carte géologique mondiale et déterminez où se trouve de la croûte continentale récente (négligez les roches sédimentaires)?

3) A l'aide de la légende, listez les différentes catégories de roches qui composent la croûte continentale. Est ce que cela correspond à l'ensemble des roches que vous connaissez ?

4) La croûte continentale est totalement émergée. Vrai ou faux ? Justifiez votre réponse.



A l'aide du site géoportail et de la carte de la France : <https://www.geoportail.gouv.fr/carte>

Vous pouvez afficher les légendes grâce à l'onglet sur la droite de votre fenêtre.

Répondez aux questions suivantes :

- 5) Quelle est la roche la plus vieille en France ?
- 6) En prenant les légendes, pourquoi dans l'échelle stratigraphique y-a-t-il une indication à gauche un peu désordonnée, puis une échelle stratigraphique à côté très bien ordonnée ?
- 7) êtes vous capable de donner un âge précis au démarrage du Trias et à la fin du crétacé ?

II - Données de datation absolue

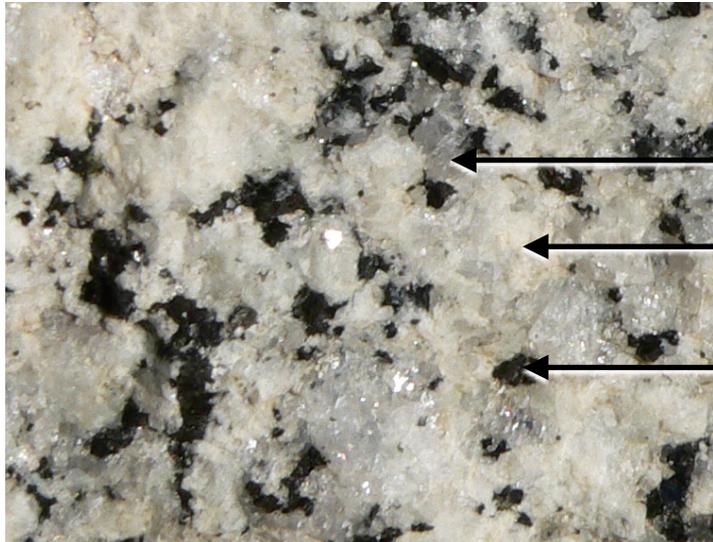
A- Comment dater un échantillon d'une roche ?

Une roche continentale est apportée en laboratoire et on analyse la quantité de rubidium et de strontium issue de ses minéraux.

Vous disposez d'un échantillon et d'une lame de roche pour déterminer le nom de cette roche.

1) **Légendez** les minéraux vus à l'œil nu de l'échantillon (Doc. 1)

Doc.1 : échantillon étudié :



2) **Observez** et **prenez** une photo de votre lame observée au microscope polarisant que vous **légendez** ensuite proprement avant ou après l'avoir imprimée. (*Attention 2 photos sont nécessaires LPNA et LPA*)

Pour déterminer la roche à l'aide de la lame, aidez vous des fiches de détermination et du tableau ci dessous :

Echantillons		LPNA	LPA	Nom du minéral	Interprétations
Roches 1 :	Minéral 1				Nom
	Minéral 2				
Texture :	Minéral 3				
	Minéral 4				Famille de la roche :
 Minéraux visibles :					

Principe :

On utilise la radioactivité pour déterminer l'âge des roches et des événements géologiques.

Une méthode de datation radioactive repose sur la désintégration spontanée du rubidium 87 (^{87}Rb) en strontium 87 (^{87}Sr) avec une émission β .

La même méthode est utilisée avec un autre couple radioactif (Sm/Nd) pour la détermination de roches magmatiques océaniques. Par conséquent, la méthode Rb/Sr s'applique plus à des roches continentales.

Or les éléments Rb et Sr sont en quantité très faibles dans les minéraux des roches magmatiques qui représentent environ 40% du volume de la croûte continentale : leur présence résulte d'une substitution d'éléments abondants au moment de la cristallisation des minéraux : Rb à la place de K, Sr à la place de Ca.

La désintégration de tout élément radioactif constitue une véritable « horloge » car elle se fait selon une loi mathématique de décroissance exponentielle en fonction du temps :

$$P = P_0 e^{-\lambda t}, \lambda \text{ étant la constante de désintégration}$$

Or dans ce cas, on a deux inconnues : t et P_0 ...il faut donc trouver une stratégie ! Suivez les consignes suivantes pour la comprendre...

Les scientifiques démontrent que :

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

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

Graphiquement, cela se traduit par une droite dont la pente est fonction du temps : une telle droite est dite isochrone car elle relie des points correspondant à des éléments de même âge. On peut démontrer que :

$$t = \ln(a + 1) / \lambda$$

On analyse une roche magmatique contemporaine (âge = 0 millions d'années).

A l'aide d'un spectromètre de masse, on détermine les concentrations (exprimées en 10^{-6}g/g) d'un isotope du rubidium (${}^{87}\text{Rb}$) et de deux isotopes du strontium (${}^{87}\text{Sr}$ et ${}^{86}\text{Sr}$) présents dans les minéraux de celle-ci. Voici les résultats :

Minéraux	Orthose ($\text{Si}_3\text{AlO}_8\text{K}$)	Plagioclase ($\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_8\text{Ca}$)	Mica noir $\text{K}(\text{Fe},\text{Mg})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{18}(\text{OH})_2$
${}^{87}\text{Rb}$	156,1	3,9	153,1
${}^{87}\text{Sr}$	27,7	39,5	2,2
${}^{86}\text{Sr}$	39,1	55,8	3,1
${}^{87}\text{Sr} / {}^{86}\text{Sr}$			
${}^{87}\text{Rb} / {}^{86}\text{Sr}$			

- 3) a. Complétez le tableau : calculer les rapports ${}^{87}\text{Sr} / {}^{86}\text{Sr}$ et ${}^{87}\text{Rb} / {}^{86}\text{Sr}$.
b. Tracez la droite isochrone sur le graphique ci-après :



- 4) En utilisant l'information, **indiquez** comment se traduira graphiquement l'augmentation de l'âge de la roche.

Informations complémentaires

Le ^{87}Rb se désintègre en ^{87}Sr .
 ^{86}Sr est un isotope stable.

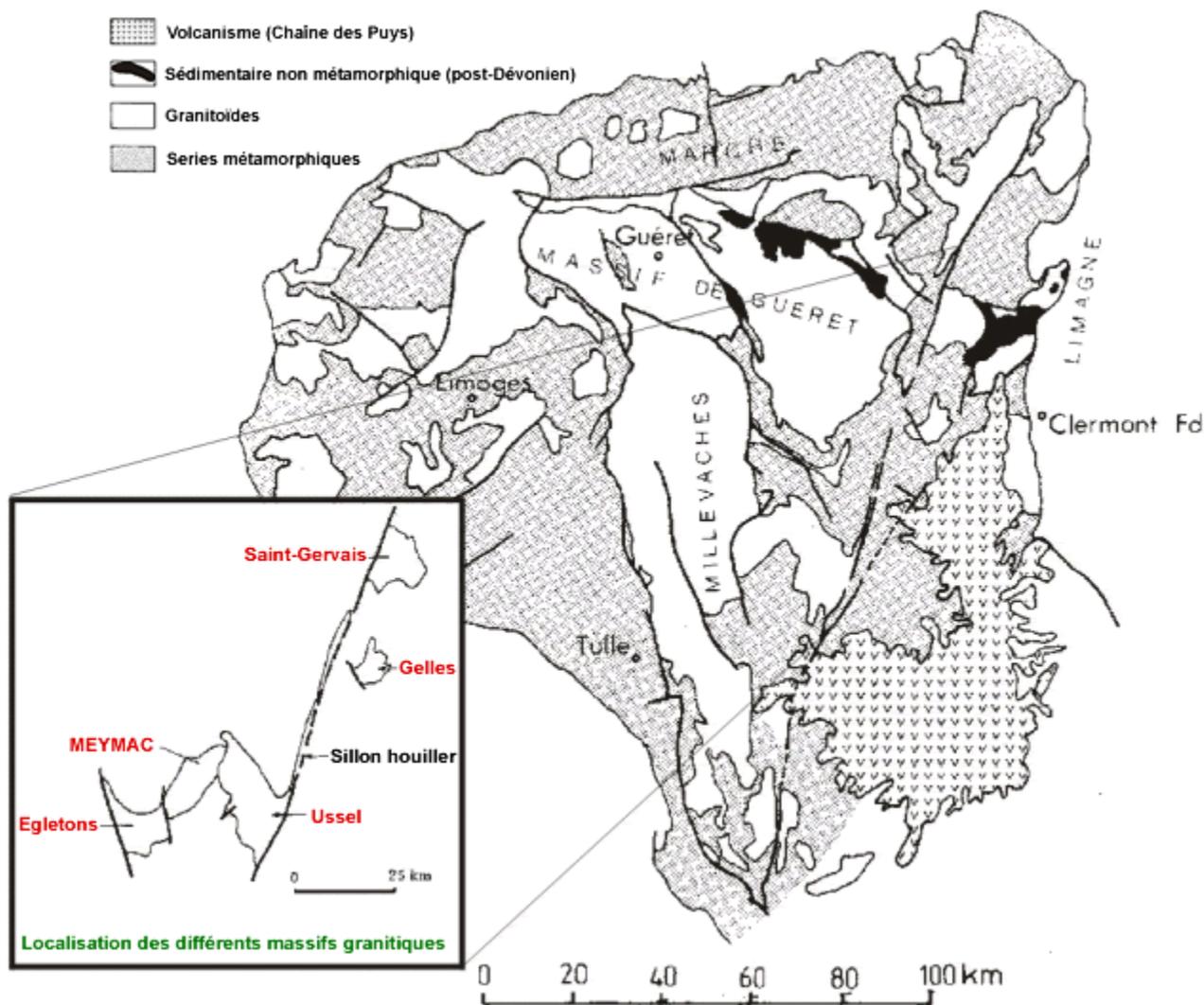
5) Déterminez comment varieront les rapports isotopiques $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ et $^{87}\text{Rb} / ^{86}\text{Sr}$.

Remarque : Il est possible aussi de considérer des roches magmatiques géographiquement proches dont la composition chimique et la disposition sont compatibles avec une différenciation magmatique.

B- Dater le granite de Meymac à l'aide de plusieurs échantillon

Le granite de Meymac appartient à un ensemble de trois granites intrusifs dans les formations métamorphiques encaissantes (gneiss à biotite et sillimanite) du plateau corrézien. Avec le granite d'Egletons et celui d'Ussel, il forme un ensemble coincé entre le Sillon Houiller à l'Est, le Massif de Millevaches au Nord et à l'Ouest, les formations de la moyenne Dordogne au Sud.

Doc.2: Massif Central et localisation de Meymac



- 6) A l'aide des fonctionnalités du logiciel Open Office. Calc, déterminer l'âge du granite de Meymac.
Information : Compte tenu de la précision des mesures, l'âge de mise en place des granites peut être apprécié avec une incertitude d'environ 15 millions d'années.

Protocole :

- Ouvrir le fichier Granite de Meymac élève.ods situé sur le bureau
- Construire le graphique : les points seuls doivent apparaître !
- Obtenir la courbe de tendance/régression et déterminer l'équation de la droite.
- Entrer dans les cases nécessaires pour le calcul les valeurs (la valeur de λ dans la case A-B17, la valeur de a dans la case C-D17) puis la formule nécessaire pour le calcul de l'âge dans la cellule prévue à cet effet (dans la case A-B-C-D-E20) ...vous obtenez alors l'âge du granite.

4) Appelez votre enseignant pour contrôler l'exactitude de votre graphique

5) Disposez le graphique obtenu de telle façon à pouvoir imprimer le tout sur une page en mode portrait.

C- Datation grâce aux Zircons dans le granite

Des cristaux de zircon, sous forme de grains inclus dans des roches plus récentes, sont les plus anciens témoins minéraux terrestres connus. Les plus vieux remontent à 4,3 ou 4,4 Ga, soit 150 Ma après la formation de la planète. Le minéral zircon se forme pendant la genèse de roches plutoniques communes, principaux constituants "granitoïdes" de l'écorce terrestre, en particulier les granites et les roches alcalines telles la pegmatite ou la syénite. Il apparaît avec les produits précoces de la cristallisation primaire des roches magmatiques. Ces minéraux sont le quartz, les feldspaths plagioclases et potassiques, la hornblende, la biotite, la chlorite, la muscovite, le rutile, l'apatite, la pyrite et la monazite.

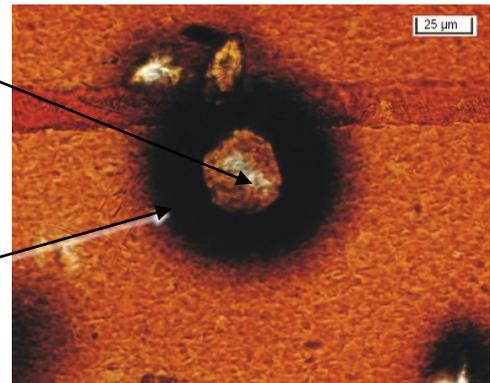
La substitution dans la maille cristalline d'atomes de zirconium (Zr) par des atomes de Rubidium (Rb) de dimensions similaires est fréquente. On peut donc utiliser le couple Rb/Sr pour dater.

Doc.3 : Cristaux de Zircon dans une biotite



Zircon

Auréole de désintégration radioactive de l'Uranium



Exemple d'application :

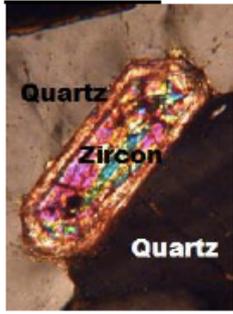
Dans les massifs anciens, affleurent des granites qui se sont formés d'abord en profondeur, soit par fusion partielle des péridotites du manteau au cours de la subduction (accrétion continentale), soit par fusion partielle de granites de la croûte continentale enfouis à très grande profondeur (anatexie) au cours de la collision. Certains ont subi les deux épisodes de fusion partielle.

Le zircon, minéral du granite, reste intact après sa formation, même s'il est soumis à des températures et des pressions élevées. Il est donc un témoin de l'histoire du granite dans lequel il est observé.

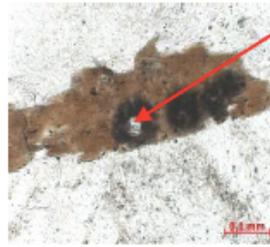
Un échantillon de granite a été prélevé dans l'un des massifs granitiques, qui affleure dans la partie ouest du massif central.

On cherche à valider que cet échantillon de granite a subi deux épisodes successifs de fusion partielle.

Document :



Zircon cristallisé en même temps que les minéraux qui l'entourent
 il se situe entre les autres minéraux qui ont cristallisé en même temps que lui.
 (www.ucl.ac.uk/~ucfbrxs/PLM/zircon.html)



Zircon cristallisé avant la formation de la biotite
 Il se situe en inclusion dans une biotite plus récente que lui.
 (Lithothèque ENS Lyon)

La mise en place des granites de subduction dans le massif central, s'est terminée il y a environ 385 Ma. Afin de de valider que cet échantillon de granite a subi deux épisodes successifs de fusion partielle :

- **Identifier** dans la lame mince fournie la présence :
 - o de biotite
 - o de zircon

Appeler l'examineur pour vérifier les résultats

- **Réaliser** le graphique représentant $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = f(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})$
- **Construire** la droite isochrone (droite de régression = courbe de tendance) de la représentation graphique obtenue

Tableur : granites_MC2

D- Datation de roches océaniques (Sm/Nd)

On peut observer en Corse, au niveau du massif ophiolitique de Balagne, des métagabbros qui rappellent ceux du massif du Chenaillet, dans les Alpes. Ils proviennent d'une ancienne croûte océanique, aujourd'hui disparue et désormais en vestiges au niveau de la croûte continentale.

On cherche à déterminer si le massif du Chenaillet a le même âge que celui de Balagne

Composition minéralogique de quelques roches

Minéraux	Composition chimique	Basalte	Gabbro	Granite
Quartz	SiO			+
Feldspaths potassique	KAlSi ₃ O ₈	+	+	+
Feldspaths plagioclase	Si ₃ AlO ₈ Na - Si ₂ Al ₂ O ₈ Ca	+	+	+
Pyroxène	(Ca,Fe)MgSi ₂ O ₆	+	+	
Biotite	K(Mg,Fe) ₃ (OH,F) ₂ (Si ₃ AlO ₁₀)			+
Muscovite	KAl ₂ [(OH,F) ₂ AlSi ₃ O ₁₀]			+

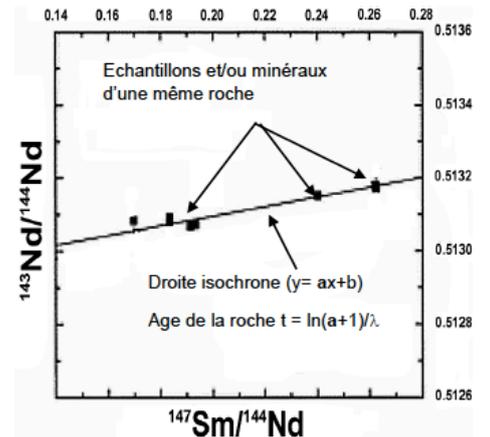
Les rapports isotopiques des gabbros corses de Balagne déterminent un âge = 181 Ma +/- 6 Ma

Le samarium (Sm) et le néodyme (Nd) sont des éléments qui peuvent servir d'horloge géologique. Le ¹⁴⁷Sm est un isotope radioactif qui se désintègre en ¹⁴³Nd avec une période de 106 milliards d'années. Ils peuvent s'insérer dans les minéraux à la place d'éléments ayant les mêmes propriétés chimiques, en se substituant au calcium (Ca) pour le samarium et à l'aluminium (Al) pour le néodyme.

Principe de datation au Sm/Nd à partir de minéraux ou d'échantillons (petits fragments) de roche

Dans le cas de la méthode des droites isochrones, l'âge t d'une roche s'obtient en appliquant la formule suivante : $t = \ln(a+1)/\lambda$

In signifie « log népérien » a est le coefficient directeur de la droite isochrone reliant les points correspondant à des minéraux de même âge et d'une même roche, il permet de déterminer le temps écoulé depuis la cristallisation de la roche $\lambda = 6,54.10^{-12} \text{ an}^{-1}$ est la constante de radioactivité du couple ¹⁴⁷Sm/¹⁴³Nd



Afin de déterminer si le massif du Chenaillet a le même âge que celui de Balagne :

- **Identifier** dans une lame mince, des minéraux utiles à la datation
- **Dater** des roches

E- Datation aussi par la méthode U/Pb

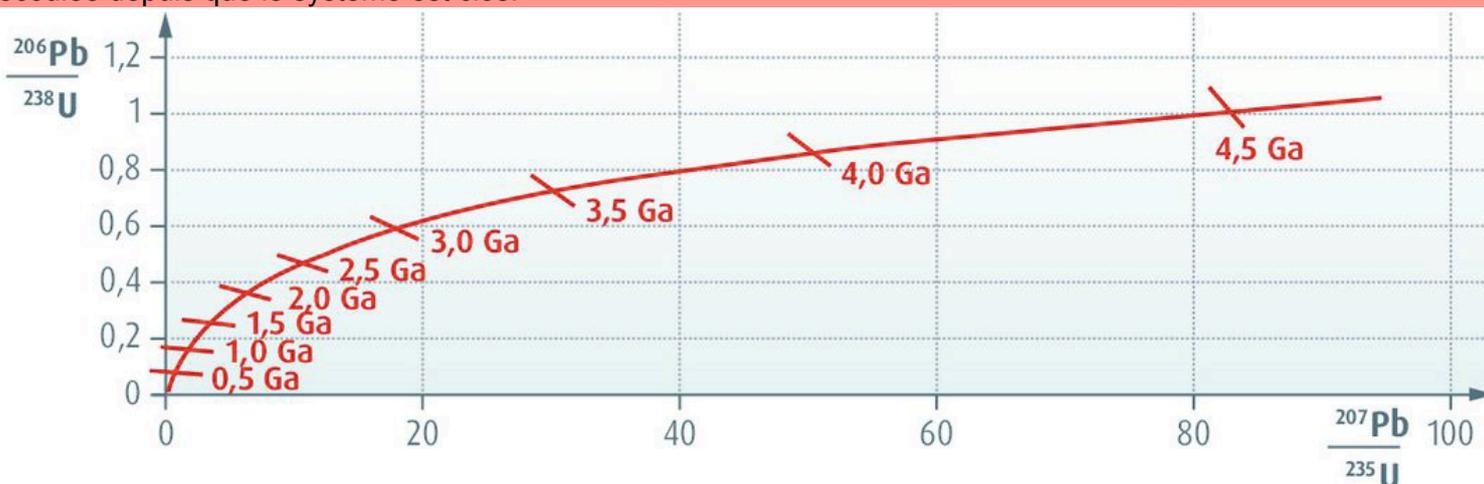
A faire à la maison

Mais on peut aussi utiliser la méthode U/Pb puisque cette biotite contient plusieurs cristaux de zircon entourés d'une auréole sombre. Cette auréole résulte de la désintégration radioactive de l'uranium, contenu dans le zircon.



Principe de la technique U/Pb :

L'uranium contenu dans le zircon est un élément chimique radioactif majoritairement présent sous la forme de deux isotopes : ^{238}U qui, en plusieurs réactions successives, 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 uniquement de la désintégration radioactive de l'uranium. On utilise conjointement les 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 situés sur une courbe, nommée Concordia, 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 sur la courbe, qui correspond à la durée écoulée depuis que le système est clos.



Une application :

Dans la vallée de l'Utcubamba, au nord du Pérou, des travaux de construction d'une nouvelle route ont mis à l'affleurement une formation sédimentaire contenant des fossiles stratigraphiques caractéristiques de la limite Trias/Jurassique. À 4 mètres sous cette limite et 55 mètres au-dessus se trouvent deux couches de cendres volcaniques, contenant des zircons, qui ont été datés par le couple U/Pb.

	Couche de cendres à - 4 m		Couche de cendres à + 55 m	
	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
Zircon n° 1	0,2194	0,0317	0,2171	0,03140
Zircon n° 2	0,2199	0,0318	0,2170	0,03129
Zircon n° 3	0,2205	0,0320	0,2162	0,03132
Zircon n° 4	0,2196	0,0318	0,2174	0,03142
Zircon n° 5	0,2226	0,0322	0,2175	0,03141
Zircon n° 6	0,2202	0,0318	0,2173	0,03144
Zircon n° 7	0,2197	0,0313	0,2172	0,03144
Zircon n° 8	0,2191	0,0318	0,2179	0,03147

1. Saisir les mesures dans le fichier Excel fourni.
2. En déduire l'âge des deux couches de cendres.