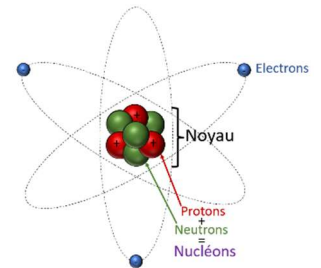


II/ La datation absolue.

A) Les bases de la radiochronologie.

1) Rappels de physique.

Un **atome** est une entité physique constituée d'un **noyau** et d'**électrons** chargés négativement. Le noyau est constitué de **nucléons**, qui peuvent être neutres (**neutrons**) ou chargés positivement (**protons**). Le nombre de nucléons est noté « **A** », tandis que le nombre de protons est noté « **Z** ». Un atome est toujours neutre, donc son nombre de protons est égal à son nombre d'électrons. Si ce n'est pas le cas, alors il s'agit d'un **ion**. Le terme « **élément chimique** » regroupe les ions et les atomes.



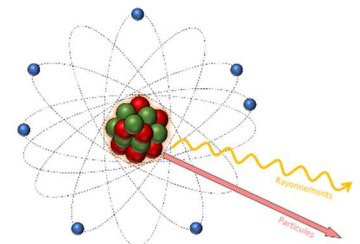
Représentation d'un atome



Le nom d'un élément chimique dépend uniquement de son nombre de protons (Z). Par exemple, le carbone est défini par la présence de 6 protons. Cependant, le nombre de neutrons peut varier, faisant ainsi varier A, sans pour autant que le nom de l'élément ne change. On parle alors d'**isotopes**.

Par exemple, pour le carbone, l'isotope le plus courant est le carbone 12 (^{12}C), qui contient 12 nucléons, mais il existe aussi un autre isotope plus lourd, le carbone 14 (^{14}C), qui possède deux neutrons de plus.

Certains éléments chimiques sont **radioactifs**, ce qui signifie que leur noyau est **instable** : il a une probabilité de se **désintégrer** dans un intervalle de temps donné. Lorsqu'un noyau se désintègre, l'élément chimique « **père** » se transforme en un autre élément chimique (qualifié de **radiogénique**) « **fil** » tout en émettant des particules et des rayonnements.



La désintégration radioactive

Pour un élément donné, il se peut qu'un isotope soit radioactif alors qu'un autre ne l'est pas. Par exemple, le ^{14}C est radioactif, alors que le ^{12}C non.

La désintégration radioactive d'un élément est définie par une **constante radioactive** λ , et par un **temps de demi-vie** **T**. Le temps de demi-vie correspond au temps qu'il faut pour désintégrer la **moitié** des éléments. λ correspond à l'inverse de T, donc plus la constante radioactive est élevée, plus l'élément se désintègre vite.

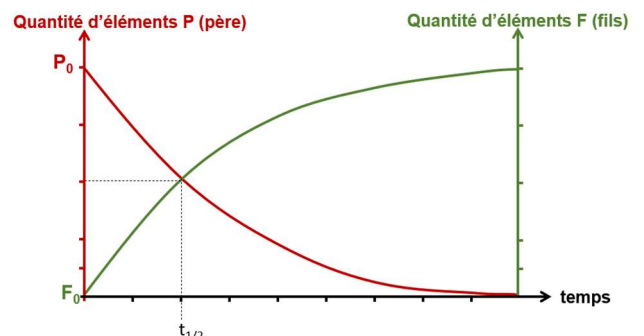
2) Principes généraux de la radiochronologie.

La datation absolue est fondée sur la **décroissance radioactive** de certains éléments chimiques. On parle de **radiochronologie**.

Dans les roches (ou autres matériaux) se trouvent en général des éléments radioactifs (appelés "éléments pères") qui ont tendance à se désintégrer naturellement en "éléments fils".

On dit qu'un **système est « fermé »** quand il n'y a plus aucun échange entre le système et l'extérieur concernant les isotopes mesurés. Les quantités d'éléments pères et d'éléments fils dépendent donc du temps écoulé depuis la fermeture du système.

Plus le temps écoulé depuis la fermeture du système est long, moins il restera d'éléments pères et au contraire plus il y aura d'éléments fils.



Pour les roches magmatiques, le système se ferme au moment de la **cristallisation du magma**. La température de cristallisation, donc de fermeture du système, peut dépendre du minéral considéré, ce qui peut entraîner des imprécisions dans l'appréhension de l'âge.

Les isotopes utilisés en radiochronologie ont différentes constantes radioactives. Le choix de l'isotope dépendra ainsi de l'âge supposé a priori de l'objet à dater. Par exemple, pour des roches inférieures à 10 Ma, on choisira plutôt le potassium 40 ou l'argon 39, et pour des échantillons organiques « récents », plutôt le carbone 14.

Élément père → Élément fils	Période (années)	Domaine de datation (Ma : millions d'années)	Échantillons datés
$^{238}\text{U} \Rightarrow ^{206}\text{Pb}$	$4,53 \cdot 10^9$	De 10 à 4 500 Ma	Minéraux riches en uranium (ex : zircon)
$^{40}\text{K} \Rightarrow ^{40}\text{Ar}$	$1,31 \cdot 10^9$	De 1 à 4 500 Ma	Feldspaths potassiques Amphiboles Pyroxènes Muscovites Biotites Zircons
$^{39}\text{Ar} \Rightarrow ^{40}\text{Ar}$	$1,25 \cdot 10^9$	De 1 à 4 500 Ma	
$^{87}\text{Rb} \Rightarrow ^{87}\text{Sr}$	$49,9 \cdot 10^9$	De 10 à 4 500 Ma	
$^{147}\text{Sm} \Rightarrow ^{143}\text{Nd}$	$106 \cdot 10^9$	> 200 Ma	
$^{14}\text{C} \Rightarrow ^{14}\text{N}$	5 730	> 40 000 ans	
			Os, bois, et autres matières organiques

3) Les formules mathématiques utilisées en radiochronologies.

Lorsqu'un élément est radioactif, sa quantité va décroître en fonction du temps en suivant la relation suivante :

$$P_t = P_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (\text{avec } P_t = \text{quantité d'éléments père au temps } t, P_0 = \text{quantité d'éléments père au temps } 0, t = \text{temps})$$

La quantité d'éléments fils mesurée au temps t est égale à la quantité d'éléments fils présents initialement (au moment de la fermeture du système), à laquelle on ajoute les éléments fils créés par radioactivité :

$$F_t = F_0 + F_{\text{créé}} \Leftrightarrow F_{\text{créé}} = F_t - F_0$$

La quantité d'éléments fils créés est égale à la quantité d'éléments père désintégrés, donc :

$$F_{\text{créé}} = P_0 - P_t \Leftrightarrow P_0 = F_{\text{créé}} + P_t$$

En combinant ces trois équations :

$$P_t = P_0 \cdot e^{-\lambda t} \Leftrightarrow P_0 = P_t \cdot e^{\lambda t} \Leftrightarrow F_{\text{créé}} + P_t = P_t \cdot e^{\lambda t} \Leftrightarrow F_t - F_0 + P_t = P_t \cdot e^{\lambda t} \Leftrightarrow F_t = P_t \cdot e^{\lambda t} - P_t + F_0$$

$$\Leftrightarrow F_t = P_t \cdot (e^{\lambda t} - 1) + F_0$$

B) Différentes méthodes de datation absolue.

1) La méthode Potassium Argon ($^{40}\text{K} / ^{40}\text{Ar}$).

La datation par le Potassium/Argon permet de dater des roches d'âge important (> 1 Ma). Le potassium est présent dans plusieurs minéraux présents dans les roches magmatiques.

Le potassium 40 est un élément radioactif qui se désintègre en calcium 40 et en argon 40, mais pour simplifier les choses, on élude la transformation en ^{40}Ca .

On a donc la relation suivante (cf. A-3) : $^{40}\text{Ar} = ^{40}\text{K} \cdot (e^{\lambda t} - 1) + ^{40}\text{Ar}_0$

L'argon étant un gaz, il a tendance à s'échapper du système lorsqu'il est encore ouvert (avant la cristallisation du magma). La quantité d' ^{40}Ar au moment de la fermeture du système ($^{40}\text{Ar}_0$) est donc nulle, donc $^{40}\text{Ar}_0 = 0$

$$\text{On a donc : } ^{40}\text{Ar} = ^{40}\text{K} \cdot (e^{\lambda t} - 1)$$

On peut ainsi calculer t :

$$t = 1/\lambda \cdot \ln((^{40}\text{Ar}/^{40}\text{K}) + 1)$$

2) La méthode Rubidium Strontium ($^{87}\text{Rb} / ^{87}\text{Sr}$).

La datation par le **Rubidium/Strontium** permet de dater des roches d'**âge important** (> 10 Ma). Le Rb et le Sr sont présents dans toutes les roches magmatiques.

Le problème de cette technique est qu'on ne connaît pas la valeur initiale d'éléments fils ni d'éléments pères. On a donc une équation à deux inconnues (insoluble) sous la forme :

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

Pour résoudre quand même cette équation, on doit étudier aussi l'isotope stable ^{86}Sr (qui a une quantité constante dans le temps), car le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ est le même pour tous les minéraux au moment de la création de la roche. Il faut faire des mesures sur **plusieurs minéraux** d'une même roche et qui ont donc le même âge (le temps « t » sera le même pour ces minéraux).

On divise tous les termes de l'équation précédente par ^{86}Sr (non radioactif donc constant au cours du temps) afin que le « b » de la droite $ax+b$ soit toujours le même :

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

Lorsqu'on veut dater une roche, on mesure les rapports $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ et $^{87}\text{Rb} / ^{86}\text{Sr}$ dans différents minéraux appartenant à la roche (donc qui sont de même âge). On place les valeurs obtenues dans un graphe (avec $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ en ordonnée et $^{87}\text{Rb} / ^{86}\text{Sr}$ en abscisse) et on relie les points.

Les points sont théoriquement alignés. La droite obtenue est appelée « **isochrone** ». Son coefficient directeur est égal à : $(e^{\lambda t} - 1)$ et permet donc de calculer t : plus le coefficient directeur (a) est élevé, plus l'échantillon est ancien.

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

3) La méthode Uranium / Plomb.

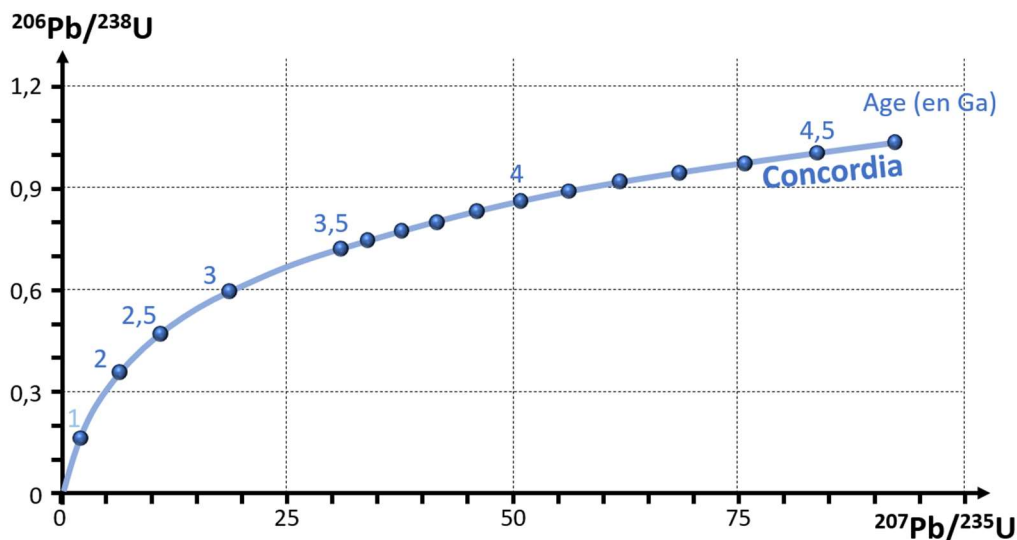
La datation par le U/Pb permet de dater des roches d'**âge important** (> 10 Ma). On peut trouver de l'uranium dans certains minéraux, comme les **zircons**.

On trouve **deux isotopes** radioactifs de l'uranium :

-L'Uranium 238 (^{238}U) qui se désintègre en plomb 206 (^{206}Pb) avec une période radioactive ($t_{1/2}$) de 4,47 Ga et une constante radioactive (λ) de $1,55125 \cdot 10^{-10} \text{ an}^{-1}$.

-L'Uranium 235 (^{235}U) qui se désintègre en plomb 207 (^{207}Pb) avec une période radioactive ($t_{1/2}$) de 0,704 Ga et une constante radioactive (λ) de $9,8485 \cdot 10^{-10} \text{ an}^{-1}$.

En conjuguant les équations de ces deux désintégrations, on obtient un diagramme, appelé « **concordia** » :



Ainsi, les rapports mesurés dans un minéral $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ et $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$, s'ils se situent sur la courbe, nous renseignent directement sur l'âge de la roche.

En revanche, si le point obtenu tombe en dehors de la courbe, cela signifie que le système s'est rouvert après la formation de la roche. Dans ce cas, on fait des relevés sur plusieurs minéraux. Les points obtenus doivent être alignés sur une ligne que l'on appelle « **discordia** ». L'âge de la roche est alors donné par **l'intersection supérieure entre la concordia et la discordia**.

L'intersection inférieure entre la concordia et la discordia donne l'âge de la **réouverture du système** (par exemple, un épisode de métamorphisme).

