

## Datation de l'âge de la Terre et du système solaire à l'aide de météorites

### Objectif

*Expliquer le principe de la datation à l'aide de noyaux radioactifs et dater un évènement.*

---

### Contexte

Les premières tentatives de datation par radiochronométrie s'approchèrent de l'âge de la Terre, mais ne parvinrent pas immédiatement à l'âge de 4,56 Ma que l'on connaît aujourd'hui.

Une des limitations est qu'aucune roche sur Terre ne semble avoir survécu depuis la formation de la planète. En effet, la Terre est une planète active, où les phénomènes d'érosion, le magmatisme, et la tectonique modifient en permanence les roches de la croûte terrestre.

À l'heure actuelle, la roche la plus ancienne jamais retrouvée sur Terre est le gneiss d'Isua, au Groenland, et date de 3,8 Ga. On a cependant retrouvé des minéraux plus anciens (des zircons), dans le gneiss d'Acasta, en Australie. Le plus ancien a été daté par la méthode U/Pb en 2001 à 4,4 Ga.

L'âge de la Terre (4,56 Ga) fut estimé par Paterson en 1956, et il ne fut pas estimé sur des roches terrestres, mais sur les météorites. En effet, une certaine catégorie de météorites, les chondrites, proviennent de corps planétaires inactifs et ont préservé la composition acquise au moment de la formation du système solaire. Les chondrites ont donc permis de dater par la méthode U/Pb le système solaire, et, indirectement, la Terre. Pour illustrer l'âge des chondrites, il est plus simple de considérer une méthode basée sur les isochrones, comme la méthode Rb/Sr.

À partir des mesures effectuées sur plusieurs échantillons de chondrites (figure 1), J.F. Minster et C.J. Allègre (1981)<sup>1</sup> ont construit un diagramme  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  en fonction de  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  qu'on se propose de retracer pour déterminer l'âge des météorites.

---

<sup>1</sup> J.F. Minster, C.J. Allègre,  $^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr}$  dating of LL chondrites, Earth and Planetary Science Letters, Volume 56, December 1981, Pages 89-106 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0012821X81901199>

---

Echantillon de chondrites	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
Chainpur No.1	0.7580	0.74864
Chainpur No.2	0.7255	0.74650
Ngawi	0.5422	0.74107
Soko Banja A. No. 1	1.520	0.79891
Soko Banja A. No.2	1.490	0.79692
Soko Banja) B. No.1	1.555	0.80152
Soko Banja B. No.2	1.685	0.80952
Soko Banja I	0.1542	0.70910
Guidder	0.4060	0.72576
Olivenza	0.7790	0.75035
Manbhoom	0.5600	0.73570
Douar Mghila	0.6291	0.74044
Siena black	0.8670	0.75655
Saint Severin B No.1	0.1610	0.70941
Saint Séverin B No.2	0.1621	0.70952
Ensisheim A No.1	0.0313	0.70149
Ensisheim A No.2	0.0278	0.70184
Ensisheim B	0.0409	0.70237
Ensisheim C No.1	0.0525	0.70214
Ensisheim C No.2	0.0525	0.70218

Figure 1:  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios

## Ressources

### Document 1 : Le rubidium et le strontium

Ces deux éléments existent dans la nature sous la forme de plusieurs isotopes, deux pour le rubidium,  $^{85}\text{Rb}$  et  $^{87}\text{Rb}$  et quatre pour le strontium,  $^{84}\text{Sr}$ ,  $^{86}\text{Sr}$ ,  $^{87}\text{Sr}$  et  $^{88}\text{Sr}$ . Seul l'un d'entre eux, le  $^{87}\text{Rb}$ , est radioactif. Il se désintègre en  $^{87}\text{Sr}$  qui, lui, est un isotope stable du strontium comme le sont, d'ailleurs, les trois autres. Cette désintégration, un pour un, aboutit à l'émission d'un électron. Le strontium 87 présent aujourd'hui dans une roche est donc la somme du strontium 87 présent à l'origine, à la formation de la roche et du strontium 87 produit par la désintégration du rubidium 87 dont le temps de demie-vie est  $T_{1/2} = 48,8 \text{ Ga}$ .

## Questions

1. Rechercher les numéros atomiques du Strontium et du Rubidium
2. Ecrire l'équation de désintégration du rubidium 87
3. De quel type de radioactivité s'agit-il ?
4. Ecrire une équation simple donnant le nombre de noyaux de strontium 87 en fonction des différentes sources de strontium. Ce sera l'équation (1).
5. En utilisant la loi de désintégration radioactive, calculer la constante radioactive  $\lambda$ .
6. Démontrer que  ${}^{87}\text{Sr}_{\text{issu de la radioactivité du Rb 87}} = {}^{87}\text{Rb}_{\text{actuel}}(e^{\lambda t} - 1)$
7. Réécrire l'équation (1) en utilisant le résultat ci-dessus. Ce sera l'équation (2)
8. En admettant que l'on puisse connaître par des procédés physico-chimiques les quantités actuelles de strontium et de rubidium, combien d'inconnues contient l'équation précédente ?

### Document 2 : Le strontium 86

Pour résoudre ce problème, il faut comprendre que la cristallisation est un processus géologique qui ne fractionne pas les isotopes d'un même élément lourd. Ainsi, deux minéraux ou deux roches cristallisant à partir d'un même magma intégreront dans leur réseau cristallin du strontium (Sr) avec un rapport isotopique  ${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$  identique à celui du magma d'origine. On dit que ces échantillons sont cogénétiques. Et même si certains minéraux intégreront plus de strontium que d'autres (suivant la compatibilité de l'élément avec le réseau cristallin en question), tous auront le même rapport initial  ${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$ .

Par ailleurs, sachant que  ${}^{86}\text{Sr}$  n'est ni radioactif ni radiogénique, la quantité de cet isotope ne varie pas au cours du temps dans un système clos et  ${}^{86}\text{Sr} = {}^{86}\text{Sr}_0$ . Si on divise toute l'équation par le nombre d'un autre isotope du Sr, le  ${}^{86}\text{Sr}$ , l'équation ne contient alors plus qu'une seule inconnue : t

Et l'on peut mesurer les rapports  ${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$  et  ${}^{87}\text{Rb}/{}^{86}\text{Sr}$  par spectrométrie de masse.

## Questions

9. Diviser toute l'équation (2) par  ${}^{86}\text{Sr}$ . Ce sera l'équation (3)
10. Quelle est l'équation de la courbe que l'on peut tracer ?
11. Tracer le graphique correspondant.
12. En utilisant l'équation (3), estimer l'âge des météorites.
13. Que pensez-vous de ce résultat ?