



La découverte de la radioactivité a mis à la disposition des scientifiques diverses méthodes pour dater les événements et déterminer l'âge de la Terre. La plus connue des méthodes de datation est celle au carbone 14, mais il en existe d'autres pour dater des événements plus anciens.

Logarithme et datation

Les premières observations qui ont mené à la découverte de la radioactivité sont dues à Henri Becquerel (1852-1908) et à Pierre (1859-1906) et Marie Curie (1867-1934). La description mathématique du phénomène est due à Ernest Rutherford (1871-1937) et Frederick Soddy (1877-1956). Ces deux derniers ont découvert que le comportement anormal des éléments radioactifs provenait de leur désintégration en d'autres éléments. L'énergie émise lors de la désintégration se fait sous forme de rayonnement alpha (α), beta (β) et gamma (γ). Soddy a découvert qu'un rayon α diminue la masse atomique de 4 et le numéro atomique de 2 et le rayonnement β augmente le numéro atomique de 1 sans changer la masse.

L'atome qui se désintègre devient donc un autre atome, de masse et de numéro atomique différent. L'atome qui se désintègre est appelé « parent » et l'atome obtenu est appelé « rejeton ». Dans un intervalle de temps fixe, la moitié des atomes parents se désintègre pour former des atomes rejetons. Cet intervalle de temps est la « demi-vie » de l'élément radioactif. La proportion du nombre de parents varie en fonction du temps selon un modèle exponentiel. Cette proportion dans un échantillon suit une loi exponentielle de la forme :

$$Q(t) = Q_0 e^{-\lambda t}$$

où λ est la constante de désintégration de l'élément radioactif (voir encadré modélisation mathématique).

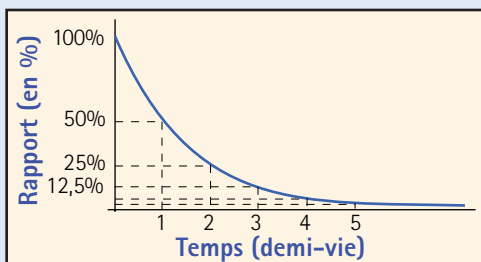
Pour établir une date, il faut choisir l'élément radioactif dont la demi-vie est du bon ordre de grandeur (voir tableau Élément et demi-vie), déterminer le pourcentage de parents radioactifs et calculer la valeur de t à l'aide du logarithme.

Pour dater des matériaux qui ont déjà été vivants, on utilise la méthode de datation au carbone 14. Cette méthode, utilisée en archéologie et en histoire, permet de dater des objets ayant moins que 75 000 ans. Par exemple, en 1988 trois équipes indépendantes ont déterminé que le suaire de Turin avait entre 1260 et 1390 ans, il n'a donc pu avoir servi à ensevelir le corps du Christ. Le bois du « trône de St-Pierre » a également été daté du Moyen Âge.

Pour dater la Terre ou les événements géologiques, il faut avoir recours à un élément ayant une plus longue demi-vie, mais il faut également développer des techniques de mesure appropriées.

Ainsi, l'isotope de l'uranium ^{238}U se désintègre pour donner l'isotope du plomb, ^{206}Pb . Par ailleurs, le plomb ^{204}Pb est stable et présent dès l'origine. En utilisant un spectromètre de masse, on peut déterminer la composition isotopique du plomb, soit le rapport $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, et calculer l'âge de l'échantillon qui le contient. Le géochimiste américain Clair Cameron Patterson (1922-1995), en analysant les isotopes du plomb de météorites, dont la composition est proche de celle du Soleil, est parvenu à dater ceux-ci à 4,55 milliards d'années. Cette durée est-elle compatible avec celle de la Terre? Pour le savoir, il faut prélever des échantillons représentatifs sur Terre. Le choix de Pat-

Élément et demi-vie		
Parent	Rejeton	Demi-vie
238 Uranium	206 Plomb	4,5 Ga
87 Rubidium	87 Strontium	47 Ga
40 Potassium	40 Argon	1,3 Ga
14 Carbone	14 Azote	5 730 ans



terson s'est porté sur les nodules de manganèse de l'océan comme échantillon de l'eau de mer, les basaltes d'Hawaii comme échantillon de l'intérieur de la Terre et les sédiments des grands fonds comme échantillon de la moyenne de l'érosion des continents. L'étude des isotopes du plomb de ces matériaux a permis de conclure que leur composition isotopique est compatible avec celle des météorites et avec la durée de 4,55 milliards d'années (Ga).

Cette découverte ne fit pas que des heureux, chaque conférence de Patterson¹ dans certains États donnait lieu à des manifestations hostiles.

1. Patterson a montré que la concentration de plomb a augmenté beaucoup dans les environnements industriels modernes à cause de l'essence au plomb et des boîtes de conserve alimentaires et que cette élévation a suivi dans le corps humain. Sa campagne pour faire retirer le plomb de l'essence est couronnée de succès. En comparant la teneur en plomb de poissons en boîte à des poissons frais pêchés, il démontre une augmentation de concentration de 0,3 à 1 400 nanogrammes par gramme. Il a déterminé les concentrations de plomb, de baryum et de calcium dans des squelettes péruviens vieux de 1 600 ans et montré que dans les squelettes humains modernes, elles sont multipliées par un facteur allant de 700 à 1 200.

Modélisation mathématique

Le taux de désintégration d'un élément radioactif est proportionnel à la quantité d'atomes radioactifs présents. Soit :

$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda Q,$$

où la constante λ dépend de l'élément radioactif considéré. En séparant les variables,

$$\frac{dQ}{Q} = -\lambda dt \text{ et } \int \frac{dQ}{Q} = -\lambda \int dt.$$

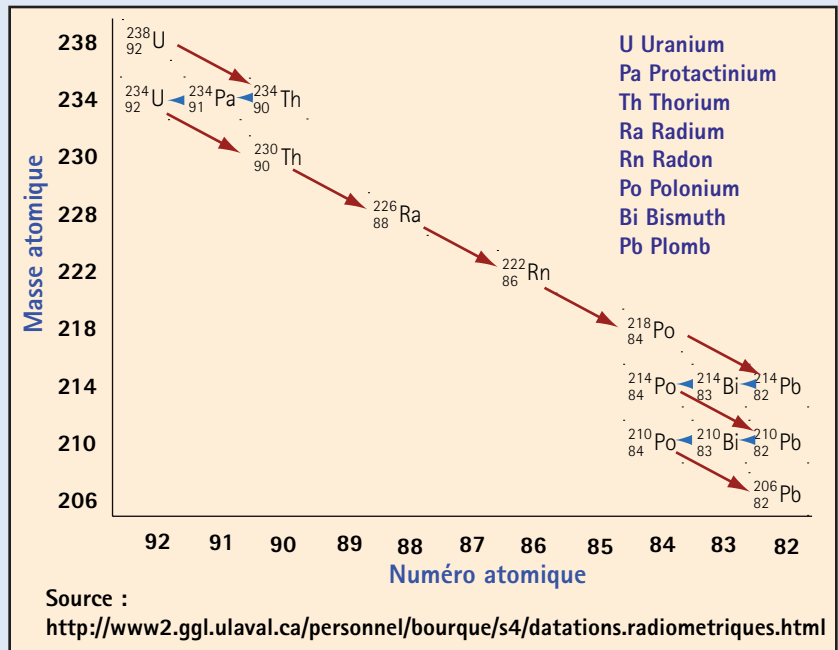
On en tire $\ln Q = -\lambda t + k$ et $Q = Q_0 e^{-\lambda t}$,

où Q_0 est le nombre d'atomes initial.

La demi-vie est le temps requis pour que la moitié des atomes soient désintégrés, on la calcule en posant :

$$Q_0 e^{-\lambda t} = \frac{Q_0}{2}.$$

d'où $e^{-\lambda t} = 1/2$ et $t = \frac{1}{\lambda} \ln 2 = \frac{0,693}{\lambda}$.



Datation au carbone 14

Un des procédés qui se fondent sur la radioactivité est la datation au carbone 14. Le principe de cette datation est le suivant. L'atmosphère terrestre contient du carbone 14 (C^{14}) et du carbone 12 (C^{12}). Le carbone 12 n'est pas radioactif, mais le carbone 14 se désintègre. Cependant, la quantité de carbone 14 est relativement constante dans l'atmosphère depuis 500 siècles, car celui-ci est produit dans l'atmosphère par l'action des rayons cosmiques. Le carbone 12 est également constant puisqu'il n'est pas radioactif et ne se désintègre pas.

Le rapport C^{14}/C^{12} dans l'atmosphère est donc également constant et ce rapport est d'une partie de C^{14} pour 10^{12} parties de C^{12} . Lors de la photosynthèse, les plantes absorbent du carbone et elles contiennent le même

rapport de C^{14}/C^{12} . Les herbivores absorbent le carbone en se nourrissant de végétaux et le transmettent aux autres animaux lorsqu'ils sont dévorés ou dégustés, selon le cas. Ainsi, tous les organismes vivants contiennent le même rapport C^{14}/C^{12} .

Lorsqu'un organisme meurt, il cesse de se nourrir et d'absorber du carbone. Dès lors, le rapport C^{14}/C^{12} diminue puisque le carbone 14 continue de se désintégrer. Ainsi, en mesurant le rapport C^{14}/C^{12} d'un organisme mort, on peut déterminer depuis combien de temps il est mort. Le rapport C^{14}/C^{12} varie selon le modèle :

$$Q(t) = Q_0 e^{-\lambda t},$$

où λ est la constante de désintégration du carbone 14, soit

$$t = \frac{0,693}{5\,730} \approx 0,000\,12.$$