

La radioactivité

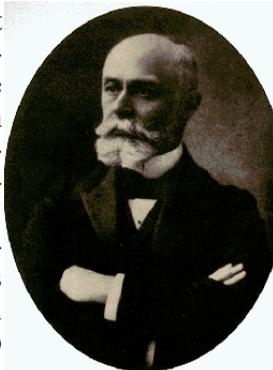
Sébastien Descotes-Genon

La radioactivité est partout ! Dans certaines roches, dans l'air que nous respirons, dans notre nourriture, et même dans les tissus des êtres vivants, on peut trouver des atomes radioactifs, qui se désintègrent spontanément en émettant des rayonnements plus ou moins énergétiques. Comprendre la radioactivité a été une des grandes aventures de la physique du vingtième siècle, une aventure où les mathématiques ont aussi leur place !

Une découverte de hasard

La découverte des rayons X en 1895 attire l'attention du physicien Henri Becquerel. Il pense pouvoir les étudier de la manière suivante : il dépose des sels d'uranium sur des plaques photographiques enveloppées dans du papier noir, il expose le tout au soleil puis il développe les plaques. Les photographies révèlent l'image des sels d'uranium.

Becquerel croit que l'énergie solaire est absorbée par l'uranium avant d'être réémise sous forme de rayons X. Il a complètement tort, mais la chance lui donne un coup de pouce inattendu.



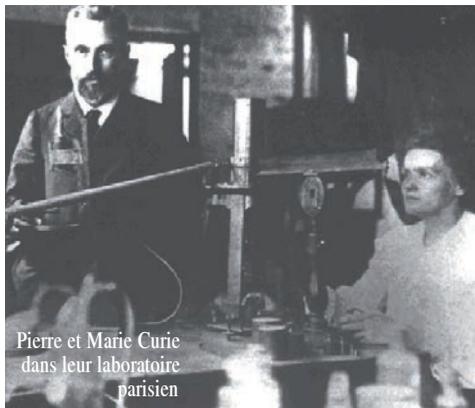
Henri Becquerel

Les 26 et 27 février 1896, le temps est couvert sur Paris. Becquerel renonce à ses expériences et range ses plaques photographiques imprégnées de sels d'uranium dans un placard. Le 1^{er} mars, il les ressort et décide, par acquis de conscience, de les développer bien qu'il s'attende à les trouver vierges. À sa grande surprise, les plaques sont quand même impressionnées. En l'absence de source d'énergie extérieure (comme le soleil), une substance inerte se montre capable d'émettre des rayons qui traversent le papier mais qui sont arrêtés par le métal. Becquerel vient de découvrir la radioactivité, c'est-à-dire l'émission spontanée de radiation par un matériau. On connaît aujourd'hui trois formes de radioactivité, appelées α (*alpha*, émission de noyaux d'hélium), β (*bêta*, émission d'électrons) et γ (*gamma*, émission de photons).

En 1898, Pierre et Marie Curie découvrent des éléments radioactifs naturels jusque-là inconnus, le polonium puis le radium. Par ailleurs, le physicien britannique Ernest Rutherford découvre que la radioactivité est associée à un phénomène de transmutation : en se désintégrant, un noyau devient un autre élément chimique, plus léger. Dès 1919, il réalise la première transmutation artificielle : en bombardant des noyaux d'azote avec des noyaux d'hélium, il obtient de l'oxygène.

La radioactivité

En 1934, Irène et Frédéric Joliot-Curie bombardent une feuille d'aluminium avec des particules alpha et obtiennent du phosphore radioactif, un élément



Pierre et Marie Curie
dans leur laboratoire
parisien

qui n'existe pas dans la nature ! Avec la radioactivité artificielle, les Joliot-Curie franchissent un pas supplémentaire de *l'alchimie nucléaire* en contrôlant la création de noyaux radioactifs. Ils démontrent également qu'on peut susciter des chaînes de désintégrations successives dans certains minerais radioactifs.

Ces *réactions en chaîne* peuvent fournir une quantité considérable d'énergie, ce qui sera rapidement exploité pour des applications militaires (bombe atomique) et civiles (centrales nucléaires).



Minéral d'uranium

Vie et mort d'un noyau radioactif

Supposons que nous ayons préparé un certain nombre de noyaux d'une substance radioactive. Ces noyaux vont progressivement se désintégrer. Mais comment leur nombre évoluera-t-il au cours du temps ?

Un noyau radioactif n'a pas d'âge. Dès lors, la probabilité pour un noyau de se désintégrer pendant un certain laps de temps, t , est indépendante du fait que le noyau vienne juste d'être produit ou bien qu'il existe déjà depuis un temps quelconque :

Ce comportement correspond à la définition d'une *loi exponentielle* et le nombre de noyaux radioactifs présents à l'instant T s'écrit :

Le paramètre t est appelé durée de vie de la substance radioactive. Lorsque le temps écoulé atteint 5 fois t , il reste moins de 1% des noyaux initiaux. Si on double cette période ($T = 10 t$), seule une très faible fraction des noyaux ne s'est pas encore désintégrée, de l'ordre de 5 parmi 100 000 !

L'instant de désintégration d'un noyau radioactif particulier peut être très variable : si la majorité (63%) des noyaux vont disparaître au bout d'un temps inférieur à leur durée de vie, certains, en nombre beaucoup plus restreint, auront une vie bien plus longue. Il existe donc une grande différence entre la durée de vie d'une personne et celle d'un noyau radioactif. Supposons par exemple que ces deux durées de vie (moyennes) sont de 80

La radioactivité

ans. Alors que très peu de personnes seront décédées avant 50 ans, environ 40% des noyaux auront déjà disparu. Par contre, alors qu'il n'y aura quasiment plus d'êtres humains au-delà de 120 ans, il restera un peu plus de 20% des noyaux au bout de cette durée.

Combien de millions d'années avez-vous ?

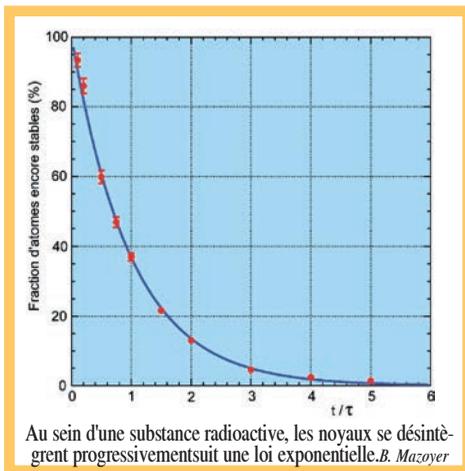
Par leur évolution caractéristique au fil du temps, les éléments radioactifs sont utilisés à la manière de sabliers par les archéologues ou les géologues.

Le carbone est très répandu dans notre environnement et constitue un élément fondamental des molécules qui constituent les organismes vivants. Il est constitué principalement de carbone 12, qui est stable, et d'une très faible proportion de carbone 14 qui est radioactif avec une durée de vie de près de six mille ans. Par ses divers échanges avec l'environnement (respiration, photosynthèse, alimentation), un être vivant conserve un rapport stable entre les quantités de carbone 14 et de carbone 12.

Mais, dès qu'il meurt, le carbone 14 qu'il contient n'est plus renouvelé et sa proportion se met peu à peu à diminuer.



Peinture rupestre de la grotte de Lascaux



Le rapport carbone 14 sur carbone 12 permet donc de connaître la date de la mort d'un organisme.

C'est ainsi que l'on a pu dater les peintures rupestres de la grotte de Lascaux grâce aux pigments végétaux qui les constituent. La datation au carbone 14 permet de remonter jusqu'à trente ou quarante mille ans dans le passé.

En utilisant d'autres éléments radioactifs, on peut également dater l'âge de roches, de coraux, de laves volcaniques. Ainsi, l'uranium 208, d'une durée de vie de 4,47 milliards d'années, possède une chaîne de désintégration qui aboutit au plomb 206. On peut déterminer l'âge des roches anciennes avec le rapport plomb 206 sur uranium 238, à condition de connaître la quantité de plomb présente à l'origine : plus il y a de plomb, plus la roche est vieille. C'est grâce à l'uranium 238 qu'on peut aujourd'hui affirmer que la Terre est âgée d'environ 4,55 milliards d'années...

Sébastien Descotes-Genon

elementaire.lal.in2p3.fr