

# Il y a cent ans, Rutherford découvre le noyau de l'atome

Pierre Radvanyi (radva@ipno.in2p3.fr)

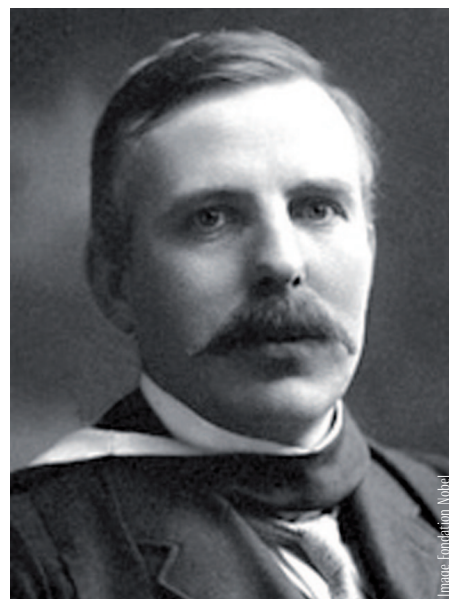
Institut de physique nucléaire, IN2P3 et Université Paris-Sud, 91406 Orsay

Ernest Rutherford (1871-1937) fut sans doute un des plus grands physiciens de la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle. Ses dons d'expérimentateur et son intuition faisaient merveille. Attiré très tôt par le domaine alors naissant de la radioactivité, il reçut le prix Nobel de chimie en 1908.

Il marqua notamment de son empreinte onze futurs prix Nobel, venus se former auprès de lui, comme étudiants, collaborateurs ou visiteurs, de Otto Hahn et Niels Bohr à James Chadwick et Cecil Powell.

Né en Nouvelle-Zélande en 1871, Rutherford, après des études à Christchurch, obtient une bourse qui lui permet d'aller travailler quatre ans auprès de J.J. Thomson à Cambridge. C'est dans le laboratoire de ce dernier qu'il commence à s'intéresser à la radioactivité, montrant que le rayonnement émis par l'uranium comprend des rayons alpha facilement absorbables, et des rayons bêta, plus pénétrants (septembre 1898).

En 1898, Rutherford devient professeur de physique à l'Université McGill à Montréal au Canada. Il commande des sels de thorium, les sels de radium étant alors trop chers. Fin 1899, il découvre « l'émanation » du thorium (appelée aujourd'hui radon 220) ; il observe que l'émanation donne naissance à un dépôt radioactif sur les surfaces rencontrées. Avec le jeune chimiste Frederick Soddy arrivé d'Oxford, il montre que l'émanation est un gaz rare. Un corps solide a donc donné naissance à un gaz. Pierre Curie, travaillant sur un sujet voisin, avait pris connaissance des premiers résultats de Rutherford et n'avait pas voulu croire d'abord à « la nature matérielle de l'émanation », mais l'accumulation des preuves expérimentales finit par le convaincre. Poursuivant leurs expériences sur le thorium, les deux scientifiques de Montréal établissent en 1902-1903 que la radioactivité est la transformation spontanée d'un élément en un autre par émission de rayonnement. Ils formulent la loi exponentielle de décroissance des corps radioactifs et esquissent pour la première fois des familles radioactives (fig. 1). Le radioélément à l'origine de chaque famille doit avoir une période (demi-vie) très longue à l'échelle géologique ; chaque famille doit aboutir finalement à un élément stable. Cette suite de découvertes vaudra à Rutherford le prix Nobel de chimie de 1908. Lors de la remise du prix, le président de l'Académie des sciences de Suède dira : « Pour les chimistes du 19<sup>e</sup> siècle, l'atome et l'élément chimique représentaient les limites ultimes que l'on pouvait atteindre par décomposition chimique et fixaient ainsi la limite de la recherche



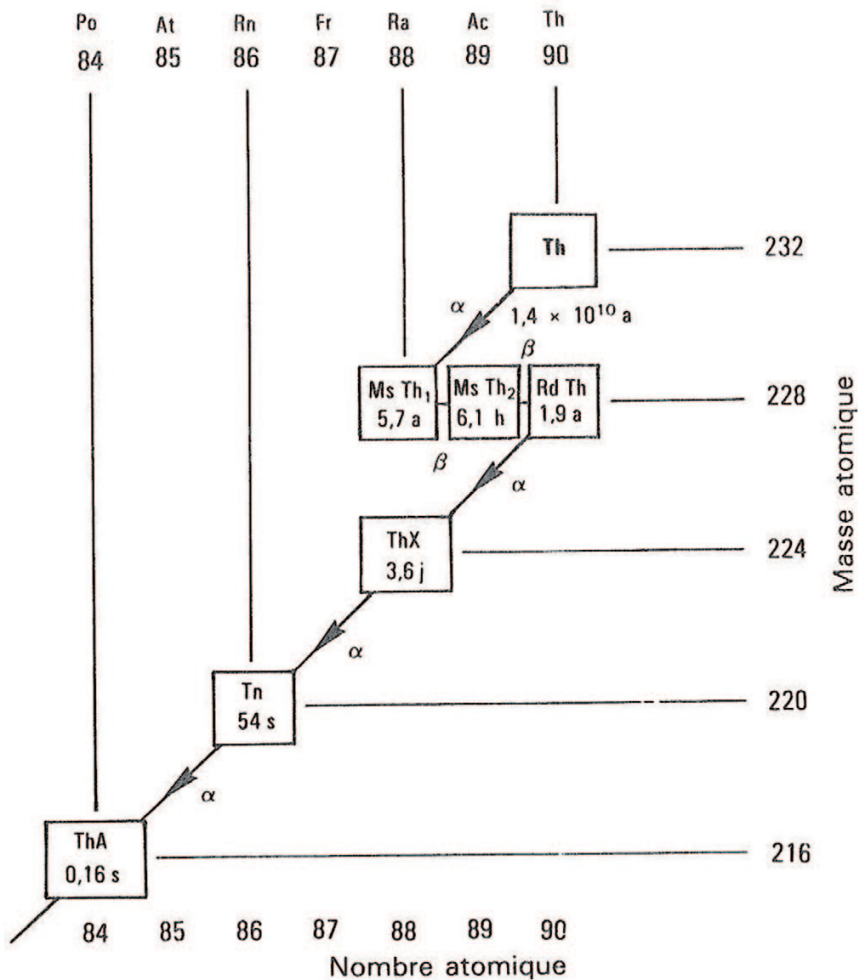
Lord Ernest Rutherford (1871-1937)

expérimentale... Cette frontière, pendant longtemps infranchissable, a maintenant été balayée. »

Depuis 1902, Rutherford s'intéresse aussi à la nature des particules alpha qui emportent beaucoup d'énergie. Il montre successivement qu'elles véhiculent une charge positive, double de celle de l'ion hydrogène, et que leur masse est sensiblement égale à quatre fois celle de cet ion. Dès 1903, Rutherford et Soddy avaient envisagé que les alpha pussent donner naissance à de l'hélium. Les particules alpha sont donc des atomes d'hélium portant deux unités de charge positive<sup>(1)</sup> (conférence Nobel, 1908).

En 1907, Rutherford retourne en Angleterre pour devenir professeur de physique à l'Université de Manchester, où il forme une nouvelle équipe. Il est rejoint par un jeune post-doc allemand, Hans Geiger, avec lequel il construit le premier compteur à particules alpha. Rutherford veut en savoir plus sur les propriétés de ces particules. Fin 1908, il propose à Geiger et à un étudiant anglais, Ernest Marsden, d'étudier la diffusion des particules alpha à travers des feuilles minces de différents métaux. Les jeunes

(1) On n'était pas encore sûr que l'atome d'hélium ne comportait que deux électrons.



1. Première partie de la famille radioactive du thorium, jusqu'au premier radioélément constituant le dépôt actif dans l'expérience de Rutherford (les symboles dans les petits carrés sont les dénominations de l'époque ; les dénominations actuelles apparaissent sur les abscisses et les ordonnées). Les périodes radiactives sont indiquées. (Figure tirée de P. Radvanyi et M. Bordry, *Histoires d'atomes*, Éditions Belin (1988)).

gens construisent les montages expérimentaux appropriés (fig. 2 ; voir aussi la figure 1 de l'article de J. Pouthas, p. 21). La source de particules est d'abord de l'émanation du radium (radon 222) dans un tube, puis un dépôt radioactif de cette émanation. Les particules alpha émises par ces sources sont détectées et comptées grâce aux scintillations produites sur un écran recouvert de sulfure de zinc que l'on observe – dans l'obscurité – au microscope. Les résultats qu'ils obtiennent au printemps 1909 [1] pour des feuilles minces de platine et d'or sont surprenants : une partie des particules alpha est diffusée à petit angle, comme on s'y attend, mais quelques-unes sont défléchies de plus d'un angle droit et repartent vers l'arrière ! Une petite fraction des particules alpha incidentes, environ une sur 20 000, est déviée en moyenne d'un angle de 90° après le passage à travers

une feuille d'or d'environ 0,4 μm d'épaisseur. Rutherford dira : « C'était comme si vous aviez tiré un obus de 15 pouces sur une feuille de papier de soie, qu'il ait rebondi et vous ait atteint. »

Rutherford réfléchit là-dessus pendant un an et demi. Il suit même un cours de statistique. Fin 1910 il dit à Geiger avoir enfin compris. Dans son célèbre article de mai 1911 [2], il écrit : « Il semble raisonnable de supposer que la déflexion d'un grand angle est due à une unique rencontre atomique... Un calcul simple montre que l'atome doit être le siège d'un champ électrique intense pour produire une telle déflexion lors d'une seule rencontre. » Il indique plus loin que l'atome doit être constitué d'une charge centrale positive quasi ponctuelle, entourée par la charge compensatrice de ses électrons. La trajectoire de la particule alpha, sous l'effet de la force coulombienne répulsive variant en

raison inverse du carré de la distance au centre de l'atome, est alors une hyperbole (fig. 3). En conclusion, indique Rutherford, l'atome doit contenir une charge centrale distribuée dans un très petit volume. En 1912 il utilise le terme de « noyau » pour désigner cette région centrale de l'atome où sont concentrés sa charge positive et l'essentiel de sa masse. De nouvelles expériences de Geiger et Marsden confirment les prévisions quantitatives de l'analyse de Rutherford.

Les contemporains saisissent immédiatement l'importance et les conséquences de cette découverte.

Un avocat néerlandais en affaires immobilières, physicien théoricien amateur à ses heures perdues, Antonius Van den Broek, prend connaissance avec beaucoup d'intérêt du nouveau modèle de l'atome élaboré par Rutherford. S'appuyant sur les données expérimentales de Geiger et Marsden, l'amateur hollandais fait deux propositions très importantes, publiées sous la forme de deux courtes notes dans *Nature* en 1911 et en 1913 et d'un article dans la *Physikalische Zeitschrift* de 1913 : « à chaque charge permanente possible (des deux signes) par atome correspond un élément possible », et : « si tous les éléments étaient disposés dans l'ordre croissant des poids atomiques, le numéro de chaque élément dans cette série devrait être égal à sa charge intratomique. » De plus, « la charge portée par le noyau n'est pas égale à la moitié du poids atomique ». Le numéro d'ordre dans la classification de Mendeleïev reçoit ainsi une signification physique.

Un jeune physicien théoricien danois, Niels Bohr, après sa thèse soutenue à Copenhague, était allé travailler à Cambridge auprès de J.J. Thomson. Ayant appris que Rutherford venait de découvrir que l'atome avait un noyau, il se rend à Manchester, en mars 1912, pour entreprendre des recherches auprès de lui. L'atmosphère lui plaît d'emblée. Dans ce laboratoire, sur la base de la nouvelle description de l'atome, il élabore ses premières idées de ce qui allait devenir l'année suivante le premier modèle de « l'atome de Bohr » (*Philosophical Magazine*, 1913). Dans un atome stable, les électrons doivent être en mouvement autour du noyau ; classiquement ils devraient alors rayonner et finir par rejoindre le noyau ; or, ce n'est pas le cas et Bohr introduit la notion d'état stationnaire, dont la stabilité est assurée par la quantification du rayonnement introduite par Max Planck. Il parvient ainsi à calculer le spectre de raies de l'hydrogène, en remarquable accord avec l'expérience,

ainsi que la valeur de la constante de Rydberg. Après avoir étudié les systèmes à un noyau, Bohr examine les molécules : des systèmes comportant plusieurs noyaux.

Un jeune expérimentateur du laboratoire de Rutherford, Henry G. J. Moseley, décide de vérifier les propositions de Van den Broek que Bohr a incorporées à sa théorie. Il utilise pour cela la spectrométrie par cristal qui vient d'être introduite par W.H. et W.L. Bragg. Il détermine ainsi avec précision les longueurs d'onde du rayonnement X caractéristique, émis par les éléments cible étudiés, réfléchi par le cristal. Moseley passe en revue un grand nombre d'éléments et notamment une suite continue du calcium au zinc. Il montre « *qu'il y a dans l'atome une grandeur fondamentale qui augmente par intervalles réguliers lorsque l'on passe d'un élément au suivant* » : cette grandeur est la charge positive du noyau, le numéro d'ordre dans la classification périodique comme l'avait postulé Van den Broek, qui régit les propriétés chimiques de l'élément (1913 et 1914). Il doit y avoir 92 éléments jusqu'à l'uranium.

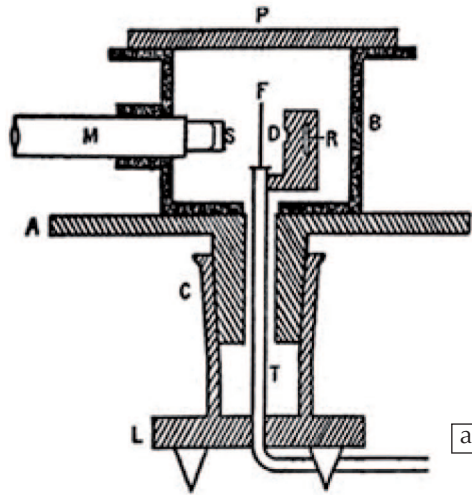
En 1919, Rutherford met en évidence la première transmutation provoquée d'un noyau, la première « réaction nucléaire ». À la fin de l'année, le physicien est nommé directeur du laboratoire Cavendish à Cambridge, prenant la suite de J.J. Thomson. Ses élèves et collaborateurs remporteront d'autres succès. Nous sommes au début de la physique nucléaire, considérée alors comme une partie de la physique de la radioactivité. Vingt ans après, la radioactivité sera considérée comme une partie de la physique nucléaire. ■

### En savoir plus

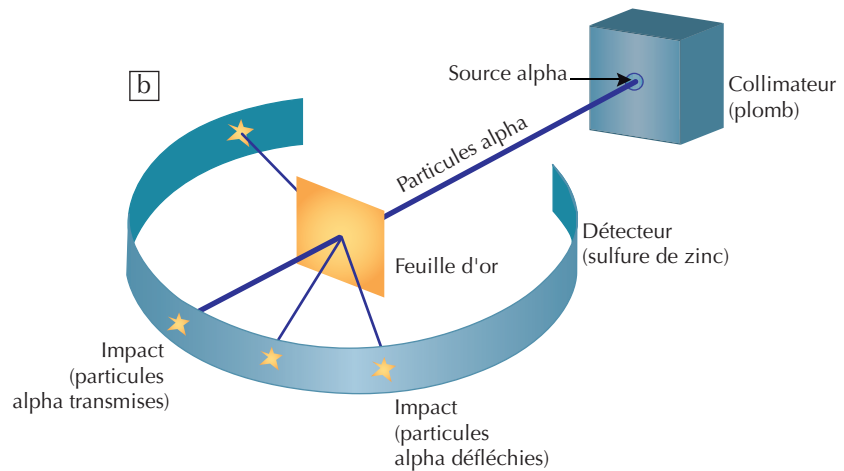
- 1• H. Geiger et E. Marsden, "On a Diffuse Reflection of the  $\alpha$ -Partides", *Proc. Roy. Soc. A*, **82** (1909) 495-500.
- 2• E. Rutherford, "The Scattering of  $\alpha$  and  $\beta$  Particles by Matter and the Structure of the Atom", *Phil. Mag. Series 6*, **21** (1911) 669-688.

En dehors des articles originaux de Rutherford, publiés en majeure partie dans *Philosophical Magazine*, on peut consulter :

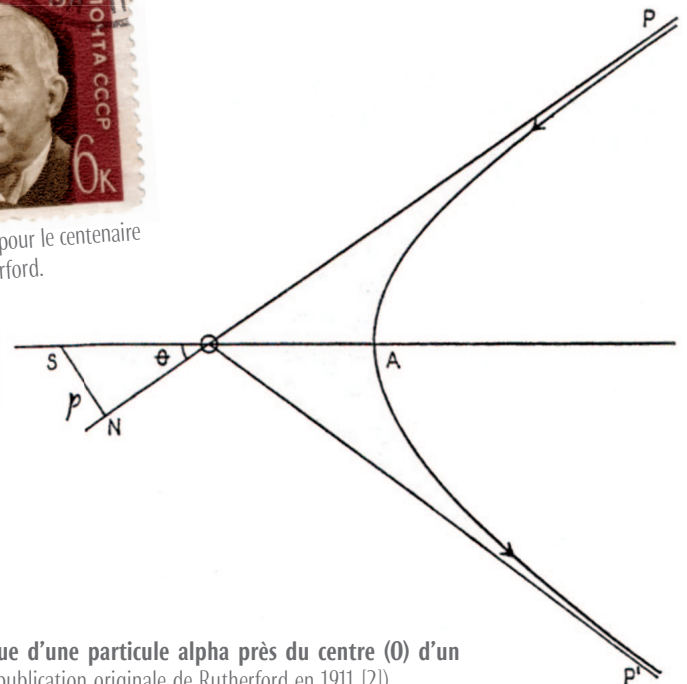
- N. Feather, *Lord Rutherford*, Priory Press, Londres (1973).
- D. Wilson, *Rutherford, simple genius*, Hodder and Stoughton, Londres (1983).
- P. Radvanyi, *Histoire de l'atome, de l'intuition à la réalité*, Éditions Belin, Paris (2007).



**2. Appareillage de Geiger et Marsden.**  
 (a) Schéma original (1909). Les particules  $\alpha$  (issues de R) sont diffusées par la feuille F. Le microscope M peut tourner autour du boîtier cylindrique B pour compter les particules diffusées en fonction de leur direction. (D'après : [www-outreach.phy.cam.ac.uk](http://www-outreach.phy.cam.ac.uk)).  
 (b) Schéma de principe de l'expérience.



Timbre imprimé en URSS, pour le centenaire de la naissance de Rutherford.



**3. Trajectoire hyperbolique d'une particule alpha près du centre (O) d'un atome d'or** (figure 1 de la publication originale de Rutherford en 1911 [2]).