

Ernest Rutherford (1871-1937)
Fondateur de la physique nucléaire
(A l'occasion du cinquantième de sa mort)

JÓZEF HURWIC

Université de Provence
3, place Victor-Hugo, 13331 Marseille Cedex 3

RESUME. E. Rutherford est l'auteur de la distinction entre les rayons α et β , de l'explication (avec F. Soddy) du mécanisme de la radioactivité, de la découverte du noyau atomique et du modèle planétaire de l'atome. C'est lui qui réalise la première réaction nucléaire artificielle. En 1908 il reçoit le prix Nobel. 12 de ses collaborateurs et disciples reçoivent aussi cette distinction.

Ernest Rutherford est un des derniers physiciens ayant fait des découvertes révolutionnaires avec des moyens expérimentaux très simples et sans utiliser de formalisme mathématique compliqué.

Né le 30 septembre 1871 à Brightwater (Spring Grove) en Nouvelle-Zélande, un pittoresque village situé près de la ville de Nelson, il descend d'une famille fermière d'origine écossaise [1]. C'est son grand-père, George Rutherford, qui en 1842 arrive en Nouvelle-Zélande avec sa famille. Le père d'Ernest Rutherford, James, est aussi fermier, comme le veut la tradition familiale, mais exerce également d'autres métiers. Sa mère, Martha Thomson, est enseignante jusqu'à son mariage. Ernest est le quatrième de leurs douze enfants, dont trois sont décédés très jeunes.

Ernest manifeste des capacités exceptionnelles dès l'école primaire et obtient les meilleures notes dans toutes les matières, tout en aidant son père dans son travail. Ses résultats au lycée sont aussi remarquables. Il continue ses études au Nelson College qui lui donne d'excellentes bases de mathématiques. Lorsque, environ un demi-siècle plus tard, le 1er janvier 1931, il deviendra, pour ses mérites scientifiques, pair d'Angleterre, il choisira le titre de Lord Rutherford of Nelson.

En 1890 Rutherford entre à Cantenbury College à Christchurch, université néo-zélandaise, fondée dix-sept ans auparavant. Elle compte à l'époque seulement quelque 150 étudiants et 7 professeurs. C'est là que Rutherford commence à s'intéresser sérieusement à la physique et, en particulier, aux décharges électriques oscillatoires. En effet, à cette époque le monde scientifique était fasciné par les ondes électromagnétiques, découvertes quelques années plus tôt par Heinrich Hertz et prédites théoriquement par Maxwell. Dans le modeste laboratoire du professeur A.W. Bickerton, Rutherford effectue son premier travail de recherche. Le sujet est l'aimantation du fer sous l'influence des décharges électriques de grande fréquence [2]. Dès cette époque déjà on peut reconnaître en lui un futur maître de l'expérience.

C'est par un étrange hasard que Marie Sklodowska, future Madame Curie, débute en même temps à Paris sa carrière scientifique par l'étude des propriétés magnétiques des aciers [3]. Mais pour Marie Curie c'est l'unique travail effectué dans le domaine du magnétisme : en 1897 elle commencera ses recherches sur le phénomène qu'elle appellera par la suite radioactivité. Rutherford, en revanche, continue un certain temps encore l'étude des phénomènes liés aux "ondes Hertiennes" et plus tard portera son intérêt à la radioactivité. Dorénavant, les recherches de ces deux savants s'interpénètrent et se complètent mutuellement. Tous les deux ont presque le même âge (Marie Curie est de quatre ans l'ainée de Rutherford ; Rutherford est mort à 66 ans, Madame Curie à 67). Signalons encore une convergence : dans l'enseignement primaire et secondaire tous les deux étaient des élèves modèles ce qui n'est pas toujours le cas de futurs grands savants : Röntgen, Pierre Curie, Einstein, Niels Bohr, ou Frédéric Joliot-Curie n'étaient pas des bons élèves.

Après avoir brillamment terminé ses études à l'université à Christchurch, Rutherford reçoit, en 1894, une bourse pour approfondir ses études. Il choisit le Cavendish Laboratory à Cambridge, dirigé à l'époque par Joseph John Thomson, futur découvreur de l'électron libre. Le jeune Néo-Zélandais y arrive en septembre 1894. Au début, il continue ses recherches sur le magnétisme : il met au point un détecteur magnétique des ondes électriques [4].

C'est à cette époque que Wilhelm Conrad Röntgen découvre à Wurtzbourg les rayons X [5]. La découverte provoque une sensation générale. De nombreux physiciens commencent à étudier les propriétés de ces rayons : leur pouvoir ionisant entre autres. Thomson l'utilise pour étudier le mécanisme d'ionisation et du comportement des ions gazeux (sous pression normale). Rutherford participe à ces recherches [6]. Il élabore une méthode pour mesurer l'ionisation

des gaz sous l'influence des rayons X [7]. Après que Henri Becquerel à Paris eut découvert la radioactivité et constaté que l'uranium et ses composés ionisent l'air de même que les rayons X [8,9], Rutherford, pour mesurer l'ionisation due au rayonnement de l'uranium, applique la méthode qu'il avait déjà utilisée dans les mesures de l'ionisation de l'air provoquée par les rayons X [10]. C'est ainsi qu'il commence ses recherches sur la radioactivité auxquelles il consacra son activité scientifique ultérieure et qui le conduiront à la découverte du noyau atomique et à la fondation de la physique nucléaire.

Il faut ajouter ici que, contrairement à Becquerel qui, dans ses études semi-qualitatives n'utilisait qu'un simple électroscope, Rutherford se sert, de même que les Curie à Paris, d'une méthode plus précise : l'utilisation d'électromètre à quadrants.

À la suite de longues recherches sur la capacité de pénétration des rayons émis par l'uranium, Rutherford arrive à la conclusion qu'il existe deux sortes de rayons, chacune absorbée différemment par la matière. Il appelle ces rayons α et β .

L'utilisation du champ magnétique augmente l'efficacité de la recherche sur la radioactivité. Presque simultanément le radiochimiste allemand, Friedrich Oscar Giessel [11], les chercheurs autrichiens, Stefan Meyer et Egon Ritter von Schweidler [12] et aussi Henri Becquerel [13] constatent que le champ magnétique provoque la déviation des rayons β de la même façon et de la même direction que celle des rayons cathodiques ; les rayons α sont, dans ces expériences, presque complètement absorbés. Becquerel observe également une déviation des rayons β dans un champ existant entre les deux plaques d'un condensateur [14]. Il confirme de cette manière que les rayons en question représentent un faisceau de particules chargées négativement. D'après les mesures de cette déviation et de la courbure de leur trajectoire dans un champ magnétique, Becquerel fournit les premières caractéristiques de la particule β : sa charge spécifique, c'est-à-dire le rapport de la charge à la masse, et sa vitesse. Il résulte de ces données que la particule β est identique à l'électron de Thomson. La nature des rayons α demeurera encore assez longtemps non élucidée.

Un peu plus tard, Paul Villard en France découvre, en utilisant un champ magnétique, une troisième composante du rayonnement du radium, plus pénétrante que les deux autres et ne subissant pas une déviation dans un champ magnétique [15] et appelée ensuite par Rutherford rayons γ .

En 1898 un poste de professeur est déclaré vacant à l'Université anglaise

McGill à Montréal. Recommandé par Thomson, Rutherford dépose sa candidature et il est nommé professeur de physique à Montréal. Avant d'y aller, il part encore en Nouvelle-Zélande afin d'épouser sa fiancée, Mary Newton, avec laquelle il maintenait par correspondance un contact ininterrompu tout au long de son séjour à Cambridge.

Rutherford quitte donc le centre scientifique de Cambridge mondialement célèbre pour une université canadienne peu connue, mais bien équipée. C'est là qu'il poursuivra, dans de très bonnes conditions, avec de nouveaux collaborateurs, ses recherches sur la radioactivité.

Marie et Pierre Curie constatent que les objets se trouvant à proximité des corps radioactifs acquièrent une radioactivité "induite" [16]. Pour expliquer ce phénomène Rutherford suppose que les préparations radioactives dégagent, en plus de trois genres de rayons, un gaz radioactif. En collaboration avec un jeune chimiste, Frederick Soddy, qui, après avoir terminé ses études en Angleterre, était venu au Canada à la recherche d'un poste, il essaye de vérifier une telle éventualité. Les deux chercheurs effectuent une expérience très simple [17]. Dans un tube à électrodes ils introduisent de l'air ayant passé à travers une préparation de thorium et mesurent, ensuite, l'ionisation, provoquée par le gaz hypothétique enlevé avec l'air, en différents points du tube. En se fondant sur les résultats de ces mesures et sur la vitesse du gaz, ils démontrent non seulement que la préparation de thorium émet un gaz radioactif, mais aussi que sa radioactivité décroît exponentiellement en fonction de temps. Puis, ils calculent la période de ce gaz, auquel ils donnent le nom d'émanation. Dans la partie suivante de ce travail important ils expliquent le mécanisme de la radioactivité [18].

Déjà auparavant les Curie avaient essayé d'expliquer en quoi consistait la radioactivité ; parmi les différentes possibilités ils indiquent l'éventualité d'une transformation spontanée des atomes d'un élément radioactif en atomes d'un autre élément ; mais ils n'excluent pas d'autres éventualités [19-21]. C'est à Rutherford et Soddy qu'il revient d'avoir démontré expérimentalement que le thorium X (isotope du radium, comme on le sait aujourd'hui), qu'ils avaient découvert et isolé du thorium, se transforme spontanément en émanation (du thorium) qui est donc un nouvel élément. L'année suivante, les mêmes chercheurs démontrent que l'uranium et radium (^{226}Ra) se transforment eux aussi en d'autres éléments spontanément et de façon exponentielle en fonction du temps [22]. Ainsi s'écroule l'idée du 19^{ème} siècle sur l'invariabilité des éléments et indivisibilité des atomes.

Ajoutons que les deux courbes exponentielles complémentaires, l'une de l'accumulation d'un élément radioactif produit par une transformation radioactive, et l'autre de la décroissance de cet élément lorsqu'il est isolé de l'élément duquel il descend, se retrouveront, plusieurs années plus tard, dans les armes de Lord Rutherford.

Les rayons α sont un autre objet des recherches de Rutherford à Montréal. D'abord, le savant constate que dans un champ magnétique intense, ainsi que dans un champ électrique intense, ces rayons sont faiblement déviés, comme s'ils représentaient un faisceau de particules chargées positivement et se déplaçant avec une grande vitesse [23]. A l'aide de mesures précises il démontre que leur charge spécifique est à peu près la même que celle de l'hélium ionisé. Il découvre ensuite que les corps radioactifs chauffés dégagent de l'hélium [24]. Ainsi, les recherches menées pendant plusieurs années conduisent Rutherford à la conclusion que les particules α sont des ions d'hélium. Mais pour la confirmer il continue encore pendant quelques années les recherches sur ce sujet. La lettre α pouvait donc de même que les courbes d'évolution des éléments radioactifs, figurer dans les armes de Lord Rutherford.

Rutherford manifeste dans ses recherches sur les particules α , faites avec ses collaborateurs au cours de longues années, une énorme prudence du raisonnement. Il vérifie plusieurs fois et à tous points de vue chaque résultat avant de le publier. Il déconseille également à ses élèves de communiquer trop hâtivement leurs recherches.

En énumérant les différentes réussites de Rutherford il faut rappeler que c'est aussi lui qui résout la dissension entre les physiciens et les géologues quant à l'âge de la Terre. William Thomson, mieux connu sous le nom de Lord Kelvin, trouva le temps correspondant au refroidissement d'une sphère liquide incandescente à blanc que devait représenter la Terre à l'époque, en se fondant sur l'augmentation de la température de la Terre, à partir de sa surface vers l'intérieur, et aussi sur la conductivité thermique et le point de fusion des roches [25]. Selon ses calculs, il avait fallu de 20 à 40 millions d'années pour passer de cet état à l'état actuel. Cependant, d'après des considérations de géologues et biologistes, l'âge de notre planète devait être incomparablement plus long. Rutherford supprime la contradiction, tenant compte de la chaleur dégagée par les éléments radioactifs contenus dans la croûte terrestre [26].

Le laboratoire de Rutherford à Montréal devient de plus en plus connu dans le milieu scientifique et, par conséquent, commence à attirer des chercheurs

étrangers. Le physicien polonais Tadeusz Godlewski, futur professeur à l'École polytechnique de Lvov, est le premier collaborateur de Rutherford hors de l'Empire britannique. En étudiant à Montréal la famille radioactive de l'actino-uranium il découvre l'actinium X, c'est-à-dire l'isotope 223 du radium [27]. Le radiochimiste allemand Otto Hahn, qui découvrira plusieurs années plus tard la fission de l'uranium et en 1945 obtiendra pour cette découverte le prix Nobel de chimie de l'année précédente, passe aussi un an dans le laboratoire de Rutherford à Montréal. La plus importante école d'études sur la radioactivité se forme autour de Rutherford. Elle sera transférée, avec Rutherford, à Manchester en 1907.

En effet, en 1907, Sir Ernest Schuster, un spectroscopiste connu, directeur de la chaire de physique à l'Université de Manchester, décide de démissionner, mais à condition d'être remplacé par Rutherford, et ceci bien que leurs domaines de recherches soient tout à fait différents. S'étant procuré une quantité suffisante de radium, Rutherford continuera donc à Manchester ses recherches sur la radioactivité.

En 1908 il reçoit le prix Nobel de chimie pour ses recherches sur les transformations des radioéléments et leur identification chimique. Il consacre son discours à Stockholm à l'étude de la nature chimique des particules α . Ironie du sort : il se moquait toujours de la chimie et des chimistes.

À Manchester, ses méthodes de recherche s'enrichissent de méthodes spectroscopiques du laboratoire de Schuster. Cela permet à Rutherford et Thomas Royds de confirmer par l'analyse spectroscopique que les particules α représentent bien l'hélium ionisé [28].

L'Allemand Hans Geiger, ancien assistant de Schuster, devient maintenant le plus proche collaborateur de Rutherford. Leur collaboration concerne surtout les recherches sur les particules α . Un microscope à faible grossissement leur permet l'observation et le comptage, en complète obscurité, des scintillations provoquées par ces particules sur un écran de sulfure de zinc [29,30]. Le nombre d'Avogadro et la charge de l'électron, trouvés par Rutherford et Geiger, grâce à cette méthode, sont en accord avec les résultats obtenus par d'autres moyens. C'est une confirmation directe de l'existence des atomes, que plusieurs physiciens traitaient encore comme un moyen commode, mais sans réalité physique, de considérer certains problèmes de la physique.

Pour augmenter la précision de l'observation des particules α , Rutherford et Geiger procèdent de la façon suivante : deux personnes regardent simultanément

le même écran et chacune enregistre les scintillations observées en appuyant sur un interrupteur à chaque scintillation ; d'après les nombres des scintillations enregistrées par chacun des observateurs seul et par les deux ensemble, on établit statistiquement le nombre le plus probable des scintillations [31]. La méthode d'observation optique directe, fatigante et subjective, est, dans certains travaux, remplacée par les mesures effectuées à l'aide du tube compteur inventé par Geiger [32]. Cet appareil, amélioré plus tard, avec la participation de W. Müller, porte aujourd'hui le nom de Geiger-Müller.

Toutes ces recherches confirment définitivement que les particules α sont les ions positifs divalents de l'hélium. Remarquons que les deux produits gazeux des transformations radioactives, l'émanation et l'hélium, appartiennent au groupe des gaz rares.

Par la suite, les particules α seront utilisées en tant que moyen de recherche par l'école de Rutherford.

En 1909, un jeune compatriote de Rutherford, le Néo-Zélandais Ernest Marsden, arrive chez lui à Manchester. Bien évidemment, il y étudie, de même que presque tous ses collègues, les propriétés des particules α . En étudiant la diffusion de ces particules à travers des minces feuilles métalliques il aperçoit, par hasard, que certaines des particules, au lieu de passer tout droit, subissent une déviation, parfois sous un angle très important, atteignant 90° ou même plus : c'est-à-dire qu'elles sont rejetées en arrière. Rutherford, surpris par ce résultat étonnant, recommande au jeune chercheur de répéter l'expérience. En collaborant avec Geiger, Marsden confirme ses premières observations [33]. Les fortes déviations sont en contradiction flagrante avec les idées de l'époque sur la structure de la matière.

Un quart de siècle plus tard, Rutherford, dans une de ses conférences, décrira ainsi l'impression que cette expérience lui avait produite : "C'était à peu près aussi invraisemblable que de tirer sur un bout de papier à cigarette avec un obusier de 15 pouces et de voir la charge revenir en arrière et vous tomber dessus".

La structure complexe de l'atome était suggérée par la découverte de l'électron libre par Thomson. L'atome dans son ensemble est électriquement neutre. Du fait que, dans sa composition, on trouve des électrons de charge négative, on déduit que l'atome doit contenir également un composant de charge positive. Partant de ce raisonnement, Thomson élaborait, en 1897, le premier modèle de l'atome : un genre de globule rempli de matière de charge positive, dans laquelle

”flottaient” des électrons. Dans ses travaux ultérieurs Thomson introduit certaines conditions concernant la répartition des électrons, mais le principe resta inchangé.

Le modèle de Thomson ne pouvait pas expliquer les fortes déviations des particules α dans les expériences de Geiger et Marsden. Il est évident que, pour qu’une particule se déplaçant à une très grande vitesse puisse changer brusquement la direction de sa trajectoire et ceci pendant un très court laps de temps où elle se trouve très proche des atomes constituant la feuille métallique, il faut que la force qui s’exerce sur la particule soit énorme. Naturellement, il ne peut s’agir que de la force électrostatique (de répulsion ou attraction) exercée sur la particule α par des particules chargées qui se trouvent à l’intérieur de l’atome. L’attraction entre un électron, plus de 7000 fois plus léger qu’une particule α , et la particule α , ne peut pratiquement pas changer le parcours de cette dernière. Donc, une forte déviation d’une particule α – raisonne Rutherford – ne peut être provoquée que par une charge positive concentrée dans un volume très réduit, de masse importante. En effectuant une analyse mathématique précise du phénomène, Rutherford arrive à une conclusion révolutionnaire : l’atome de diamètre de l’ordre de 10^{-10} m est presque vide ; sa partie centrale occupant une très faible partie de son volume, de diamètre de l’ordre de 10^{-14} m, est chargée positivement et contient presque toute la masse de l’atome [34]. C’est la découverte du noyau atomique et, par conséquent, la naissance de la physique nucléaire.

A la séance du 7 mars 1911 de la Manchester Philosophical Society, Rutherford, pour la première fois, évoque cette grande découverte. Rapportons le témoignage de Kasimir Fajans qui effectuait à cette époque un stage chez Rutherford et était présent à cette séance historique [35]. L’assistance était composée presque uniquement des jeunes collaborateurs de Rutherford et parmi eux Charles Galton Darwin, petit-fils du créateur de la théorie de l’évolution. La communication ne provoqua pas de discussion. Le président de la séance s’adressa donc à Darwin, en tant que porteur du nom célèbre, en lui demandant : -”Qu’en pensez-vous ?”. -”Intéressant”- fut toute sa réponse. Personne alors, Rutherford inclus, ne se rendit compte que cette découverte, non seulement allait causer une révolution dans la science, mais serait à l’origine d’une nouvelle époque, appelée par la suite époque de l’énergie nucléaire. Celui qui découvrit le noyau atomique pensait jusqu’à la fin de sa vie, même quand on connaissait déjà l’énorme quantité d’énergie emmagasinée dans le noyau, qu’il ne serait pas possible de la libérer à l’échelle industrielle. Et c’est seulement un an

après la mort de Rutherford que Otto Hahn et Fritz Strassmann ont découvert la fission de l'uranium ; cette découverte permit de réaliser ce que Rutherford pensait impossible. Pareillement, quand Heinrich Hertz découvrit les ondes électromagnétiques, il n'imaginait pas qu'elles pourraient servir à transmettre des signaux à distance, sans parler de la transmission du son et de l'image.

Ajoutons que Rutherford prononça sa communication en 1911 dans la même salle où, en 1803, John Dalton avait présenté son hypothèse atomistique. Pendant les 108 années qui séparent ces deux séances, la science non seulement démontra l'existence de l'atome mais aussi montra qu'il a une structure complexe.

La découverte du noyau conduisit Rutherford à remplacer le modèle de Thomson de l'atome compact par un modèle planétaire. Dans ce dernier modèle les électrons légers, portant la charge négative, gravitent autour d'un noyau lourd, chargé positivement, comme les planètes se déplacent autour du Soleil. L'attraction électrostatique entre le noyau et les électrons joue dans l'atome le rôle de l'attraction gravitationnelle entre le Soleil et les planètes.

La pensée humaine a une tendance à comparer le microcosme au macrocosme. Cette comparaison est aussi venue à l'esprit de Jean Perrin. Le 16 janvier 1901, au cours d'une conférence faite aux étudiants et aux Amis de l'Université de Paris, il supposa, mais sans aucun fondement expérimental, que : "Chaque atome serait constitué, d'une part, par une ou plusieurs masses très fortement chargées d'électricité positive, sorte de soleils positifs dont la charge serait très supérieure à celle d'un corpuscule, et d'autre part, par une multitude de corpuscules, sorte de petites planètes négatives, l'ensemble de ces masses gravitant sous l'action des forces électriques, et la charge négative totale équivalant exactement à la charge positive totale, en sorte que l'atome soit électriquement neutre". Le texte de cette conférence fut publié [36]. Rutherford connaissait l'article de Perrin et même il le cita en 1904 dans sa monographie sur la radioactivité dont la deuxième édition parut l'année suivante [37]. Probablement, Rutherford puisa dans cet article l'idée qu'il développa dans son modèle planétaire, bien qu'il ne mentionne pas Perrin dans son travail de 1911 [34].

En lisant la correspondance de Rutherford avec son ami, le radiochimiste américain, Bertram Borden Boltwood [38], on s'aperçoit qu'il lui a fallu un certain temps pour comprendre l'importance de sa découverte.

Le modèle planétaire de Rutherford interprète bien les résultats de l'expérience de Marsden et Geiger mais ne remplit pas les conditions de stabilité

(mécanique et électrique) de l'atome. L'électron, qui circule autour du noyau, doit rayonner en perdant ainsi de l'énergie et, par conséquent, subir un freinage. Il doit donc rapidement tomber sur le noyau, ce qui veut dire que l'atome de Rutherford n'est pas stable. En plus, ce modèle, comme celui de Thomson, n'est pas en mesure d'expliquer la présence dans le spectre atomique des raies correspondant à des longueurs d'onde bien déterminées.

Le jeune théoricien danois, Niels Bohr, aperçoit la contradiction entre le caractère discontinu du spectre et les calculs fondés sur la théorie électromagnétique de la lumière décrivant d'une manière continue l'apparition et la propagation des ondes. Au printemps 1912 il devient membre de l'équipe de Rutherford à Manchester. Il effectue certaines recherches dans le domaine de la radioactivité mais il profite de l'occasion pour exposer à Rutherford son point de vue. Selon lui, la théorie électromagnétique classique ne peut pas expliquer la structure discontinue du spectre atomique. Rutherford n'est pas du tout étonné par l'opinion de Bohr et l'encourage à poursuivre ses réflexions.

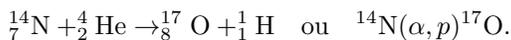
Après quelques mois de séjour à Manchester Bohr retourne à Copenhague. Il recherche la solution du problème de la structure de l'atome dans la théorie quantique de la lumière. Il arrive ainsi à la notion de l'état quantique qu'il applique à l'atome d'hydrogène. Au début de 1913 il termine un vaste mémoire sur le modèle quantique de l'atome d'hydrogène. Il y complète le modèle planétaire de Rutherford par deux postulats quantiques. D'après le premier, l'électron ne peut décrire que certaines orbites quantiques bien déterminées et sur chacune il conserve son énergie. Selon le deuxième, le saut de l'électron d'une orbite à une autre est lié à l'émission ou l'absorption d'un photon dont l'énergie est égale à la différence entre celles correspondant à ces deux orbites. C'est Rutherford qui transmet le travail de Bohr à la rédaction du journal "Philosophical Magazine" [39]. L'amitié qui lia à Manchester ces deux savants, si différents à tous points de vue, durera jusqu'à la fin de la vie de Rutherford. Bohr retournera encore à Manchester, pour plus longtemps, de 1914 à 1916. Pour ses travaux sur la structure des atomes et leur rayonnement le savant danois recevra, en 1922, le prix Nobel de physique.

En 1914, Rutherford avec Edward Neville da Costa Andrade et John Harling, démontrent le caractère ondulatoire du rayonnement γ et déterminent ses caractéristiques quantitatives [40,41]. Dans le même année Rutherford et James Chadwick, en étudiant, avec grande précision, la déviation des rayons β dans un champ magnétique, constatent qu'ils représentent un faisceau de particules se déplaçant à des vitesses différentes et que leur spectre énergétique est continu

[42,43]. Ainsi ils confirment les résultats moins précis obtenus par Becquerel dès 1900 [44].

Comme nous l'avons dit, la particule α constituait le sujet principal de recherches de l'école de Rutherford, aussi bien à Montréal qu'à Manchester. Après que sa nature fut définitivement élucidée, cette particule, utilisée ensuite comme moyen de recherche par Marsden, conduisit Rutherford à la découverte du noyau atomique. C'est encore Marsden qui, en 1917, en bombardant l'air avec des particules α , constate l'apparition de particules d'un long parcours qui paraissent être des noyaux atomiques de l'hydrogène. Rutherford cherche longtemps une explication de ce phénomène étrange en effectuant, comme c'était toujours son habitude, de nombreuses expériences de vérification. Remarquons qu'il n'avait pas beaucoup de temps pour ces travaux, étant pendant la première guerre mondiale mobilisé pour élaborer des méthodes acoustiques de localisation des sous-marins. C'est seulement après la guerre qu'il réussit à résoudre l'énigme. Il communique la solution dans la dernière partie [45] d'un mémoire de quatre parties, publié en 1919 sous le titre "Collisions des particules α avec des atomes légers". Suivant l'interprétation donnée dans cette publication, une particule α entrant en collision avec un noyau atomique de l'azote expulse de celui-ci un noyau atomique d'hydrogène, c'est-à-dire un proton, nom que lui donna Rutherford. L'expérience décrite est donc une réaction nucléaire réalisée, pour la première fois, artificiellement. Cette réaction consiste en une désintégration d'un noyau atomique ; elle indique donc que le noyau de l'azote contient des protons. Rutherford démontre ensuite que cela est vrai également pour d'autres éléments.

Plusieurs années plus tard, Patrick Maynard Stuart Blackett, un collaborateur de Rutherford à Cambridge, en répétant cette expérience dans une chambre de Wilson, visualisa les trajectoires de toutes les particules participant à ce processus : des particules α utilisées comme projectiles, des protons expulsés des noyaux atomiques de l'azote et, enfin, des noyaux produits par la transmutation des noyaux de l'azote. Il identifia le nucléide ainsi obtenu comme un isotope d'oxygène de nombre de masse 17, inconnu jusqu'alors [46,47]. Il est donc possible de décrire cette réaction par l'équation:



En 1932 Carl David Anderson à California Technological University à Pasadena découvre le positon dans des rayons cosmiques [48,49]. Peu après

Blackett et l'Italien Giuseppe Paolo Stanislao Occhialini, un autre collaborateur de Rutherford, observent l'apparition de paires négaton-positon produites par irradiation des éléments de nombre atomique élevé par des rayons γ dans une chambre de Wilson placée dans un champ magnétique [50]. Remarquons que les Joliot-Curie signalèrent, parmi les trajectoires d'électrons de grande énergie observés dans une chambre de Wilson, des trajectoires courbées par le champ magnétique en sens inverse de celle des électrons venant de la source. Mais les chercheurs français donnèrent une fausse interprétation, à savoir qu'il s'agissait d'électrons se dirigeant vers la source [51,52]. Ainsi, la découverte du positon a échappé aux Joliot. C'est seulement un peu plus tard qu'ils constateront l'existence des électrons positifs : la "matérialisation" de photons γ donne naissance à des positons [53].

En 1948, Blackett recevra le prix Nobel de physique pour ses travaux en physique nucléaire et ses recherches sur les rayons cosmiques.

Cecil Frank Powell, aussi collaborateur de Rutherford à Cambridge, appliquera dans les années 30 la méthode améliorée de l'émulsion photographique, proposée avant la première guerre mondiale dans le laboratoire de Rutherford par le physicien japonais Kinoshita, pour la détection des particules élémentaires. Powell continuera, ensuite, ses recherches à l'Université de Bristol, à partir de 1945 en collaboration avec Occhialini. En 1947 Occhialini et Powell découvriront, par cette méthode, le pion [54] prévu par la théorie de Yukawa. Ce travail contribuera à apporter à Powell, en 1950, le prix Nobel de physique. Les prix Nobel de Blackett et Powell sont dus en grande partie au talent d'expérimentateur d'Occhialini. Ce dernier est toujours resté dans l'ombre sans aucun prix.

Revenons au laboratoire de Manchester et rappelons d'autres résultats les plus importants obtenus par Rutherford et son école.

C'est à Manchester que naquit la relation de Geiger-Nuttal entre le parcours des particules α , toujours étudiées dans ce laboratoire, et la constante de désintégration de la substance qui les émet [55].

Dans le laboratoire de Rutherford à Manchester, Henry Gvyn-Jeffreys Moseley découvre la liaison entre le spectre des rayons X émis par un élément et son numéro dans la classification périodique [56]. Ainsi, la physique et la chimie obtiennent une méthode expérimentale objective pour établir le numéro de l'élément dans le tableau de Mendeleiev. La première guerre mondiale coupe, malheureusement, l'activité scientifique si prometteuse du jeune Moseley. En 1915, à 25 ans, il est tué dans la presqu'île de Gallipoli pendant l'expédition des Dardanelles.

Le Russe George Antonoff découvre dans ce laboratoire l'uranium Y, un des isotopes du thorium [57].

Kasimir Fajans, déjà mentionné, passe à Manchester l'année universitaire 1910-1911. Dans ce laboratoire, en partie en collaboration avec Walter Makower, il découvre, entre autres, le premier cas de l'embranchement d'une série radioactive (Ra C dans la famille de l'uranium) [58]. Rapportons ici une conversation amusante entre Fajans et Rutherford. Le jeune stagiaire, enthousiasmé par l'espéranto, demande à Rutherford s'il considère utile une langue internationale. Celui-ci répond sans hésitation : - "Naturellement, mais à condition que ce soit l'anglais". Ces mots qui, à l'époque, pouvaient être considérés comme une plaisanterie, s'avèrent prophétiques. Après son retour en Allemagne, Fajans continue à Karlsruhe ses recherches dans le domaine de la radioactivité et découvre la loi des déplacements radioactifs [59]. A l'époque le nombre des espèces radioactives, considérées comme des éléments distincts, dépassait la trentaine, tandis que le nombre des cases disponibles dans la classification périodique, entre le plomb et l'uranium, était bien inférieur. La loi de Fajans supprime cette contradiction, en plaçant dans une même case plusieurs radionucléides ayant des masses atomiques et des propriétés radioactives différentes. Le jeune radiochimiste donne à l'ensemble des nucléides occupant la même case le nom de pléiade, emprunté à l'astronomie. C'est la constatation de l'existence de l'isotopie. Un autre ancien collaborateur de Rutherford, Frederick Soddy, arrive à la notion d'isotopie à partir d'inséparabilité chimique de certains radionucléides [60]. Pour ces travaux il obtiendra, en 1921, le prix Nobel de chimie.

Partant de sa loi des déplacements radioactifs Fajans arrive à la conclusion que le plomb doit posséder des isotopes stables. Avec son collaborateur Osvald Helmuth Göhring, il découvre l'élément no. 91 auquel il donne le nom de brevium (qui s'appelle aujourd'hui protactinium) [61].

En parlant des radiochimistes qui passèrent par le laboratoire de Rutherford à Manchester, il faut mentionner aussi le Hongrois Georg von Hevesy qui deviendra célèbre en tant que cocréateur de la méthode des indicateurs radioactifs en chimie et en biologie, lauréat du prix Nobel de chimie en 1944 (pour l'année précédente).

A la fin de la première guerre mondiale, Joseph John Thomson, le troisième directeur du célèbre Cavendish Laboratory à l'université de Cambridge, après James Clerk Maxwell et Lord Rayleigh, démissionne de son poste qu'on pro-

pose à Rutherford. Ainsi, l'ancien boursier revient à ce laboratoire en tant que directeur. Maintenant il n'effectue plus les expériences lui-même mais dirige une équipe de jeunes physiciens extrêmement doués, parmi lesquels Blackett, Occhialini et Powell. Jusqu'à la fin de ses jours il est l'âme de tout ce qui s'y passe.

C'est dans ce laboratoire que James Chadwick, collaborateur de Rutherford déjà à Manchester, découvre le neutron [62]. Soit dit entre parenthèses, Irène et Frédéric Joliot-Curie avaient "en mains" le neutron déjà un peu auparavant [63], mais, comme dans le cas du positon, ils n'ont pas su l'identifier. Chadwick devait son succès, dans une certaine mesure, à l'influence de Rutherford qui depuis longtemps soupçonnait intuitivement l'existence de cette particule. Déjà en 1923, dans une de ses conférences il utilisa même le nom de "neutron" pour définir une particule électriquement neutre qui, avec le proton, devrait faire partie du noyau atomique. La découverte du neutron valut à Chadwick le prix Nobel de physique en 1935.

Un raisonnement logique ainsi que les expériences systématiques et les observations planifiées sont indispensables dans la recherche expérimentale. Mais ils ne suffisent que pour des petites découvertes ou des améliorations techniques. Les grandes découvertes exigent, en plus, l'intuition, liée à l'imagination du chercheur. Et Rutherford était particulièrement doté de cette forme de connaissance immédiate.

L'un de ses derniers collaborateurs à Cambridge, l'Australien Mark Lawrence Elwin Oliphant, raconte dans ses souvenirs [64] le fait suivant. Dans des interactions entre des noyaux du deutérium, Oliphant obtint des particules dont la nature restait inexpliquée pour lui et pour Rutherford. Après toute une journée de réflexions sans effet, Oliphant rentra à la maison. Vers 3 heures du matin le téléphone sonne chez Oliphant. C'est Rutherford, en demandant de l'excuser pour cette heure inhabituelle de conversation, qui communique à son collaborateur, pas encore bien réveillé, que les particules énigmatiques représentent des noyaux de l'hélium 3. Oliphant ne pouvant pas comprendre comment deux particules, chacune de masse 2, puissent former une particule de masse 3, demande les raisons de sa conclusion. La réponse fut : - "J'ai senti cela en ... pissant". Le lendemain Oliphant se rendit compte que Rutherford ne s'était pas trompé. Par la suite nous y reviendrons.

En 1917 à Manchester, Rutherford et ses collaborateurs utilisèrent, pour réaliser la première transformation nucléaire artificielle, en tant que projectiles,

des particules α émises par les préparations naturelles. 15 ans plus tard, à Cambridge, deux collaborateurs de Rutherford, John Douglas Cockcroft et Ernest T.S. Walton, pour la première fois, appliquent, pour provoquer une transformation nucléaire, comme projectiles, les protons accélérés artificiellement. Ils bombardent une cible de lithium, rejetant des particules α enregistrées par scintillations de l'écran de sulfure de zinc [65]. On peut décrire cette réaction par l'équation :



Pour communiquer des énergies élevées aux protons, ils construisent un simple accélérateur électrostatique à montage multiplicateur.

Ce fut la naissance des nouvelles méthodes de la physique expérimentale, utilisant les dispositifs de plus en plus compliqués et, par conséquent, très coûteux. En même temps, la physique théorique devenait de plus en plus abstraite. Ces méthodes se développeront déjà en dehors de l'école de Rutherford bien que certains de ses disciples, comme Oliphant, créateur du synchrocyclotron, soient à l'origine de ce nouveau courant.

Revenons à la réaction avec le deutérium. Tout de suite après la découverte de cet isotope de l'hydrogène ($\text{D} \equiv {}^2\text{H}$) par Harold C. Urey [66] on commence à utiliser des deuteron (d), c'est-à-dire des noyaux du deutérium, pour provoquer des réactions nucléaires. La réaction consistant en l'interactions des deutérons, peut être décrite par l'équation $\text{D}(d, n) {}^3\text{He}$ [67]. Les auteurs de cette réaction constatent que le processus peut aussi se dérouler autrement : $\text{D}(d, p)\text{T}$. Ils obtiennent ainsi le plus lourd isotope de l'hydrogène, le tritium ($\text{T} \equiv {}^3\text{H}$).

Cockcroft et Walton recevront en 1951 le prix Nobel de physique pour la réalisation de la réaction nucléaire par les particules incidentes artificiellement accélérées. A part les nombreux collaborateurs de Rutherford, lauréats du prix Nobel, déjà mentionnés, on peut encore signaler le physicien soviétique Piotr Kapitsa (Kapitza) qui obtiendra le prix Nobel de physique en 1978 pour ses recherches dans le domaine de basses températures. Au total, 12 parmi les disciples de Rutherford obtinrent cette plus haute distinction scientifique.

C'est, dans une certaine mesure, les méthodes pédagogiques de Rutherford qui sont responsables des succès scientifiques de ses élèves. Il s'intéressait au travail de chacun. Il était leur conseiller irremplaçable mais en aucun cas ne voulait leur imposer ses conclusions pour ne pas porter atteinte à leur initiative et à l'originalité de leur pensée. Il attribuait la plus grande importance à la réflexion indépendante et ne supportait pas le travail machinal. Il n'autorisait pas le

travail dans son laboratoire après 6 heures du soir et les dimanches. Kapitsa racontait que lorsque quelqu'un voulut, une fois, rester plus longtemps au laboratoire, la réaction de Rutherford fut : - "Il suffit de bien travailler jusqu'à 6 heures et pendant le reste du temps il faut réfléchir. Ceux qui travaillent trop et réfléchissent peu ne valent pas grand-chose". Quand Oliphant devient son adjoint pour la recherche il l'avertit : - "N'oubliez pas que vos élèves peuvent avoir des idées meilleures que les vôtres et il ne faut jamais leur envier leurs succès".

Ernest Rutherford, couvert des plus hautes distinctions, mourut subitement (au cours d'une opération suivant un malaise) le 19 octobre 1937. Il fut inhumé dans l'abbaye de Westminster à côté de Newton et Kelvin.

Références

- [1] Les données biographiques sont tirées des sources suivantes : E.S. Eve *Rutherford. Being the life and letters of Ernest Rutherford*, Cambridge University Press, Cambridge 1939 ; *Rutherford at Manchester*, Edited by J.B. Birks, Heywood & Company Ltd., London 1962 ; *Rutherford - ucenyj i ucitel k 100-letiju so dnja rozdenija*, pod redakcij P.L. Kapicy, Nauka, Moskva 1973 ; E. Segrè, *Les physiciens modernes et leurs découvertes. Des rayons X aux quarks*, Traduit de l'anglais par P.L. Hugon, Fayard, Paris 1984.
- [2] E. Rutherford, Trans. N. Z. Inst. **27**, 481 (1894).
- [3] Mme Sklodowska Curie, in : *Oeuvres de Marie Sklodowska Curie*, Recueilles par I. Joliot-Curie, Acad. Polon. Sci., PWN, Varsovie 1954, p. 3.
- [4] E. Rutherford, Roy. Soc. Phil. Trans. **189**, 1 (1896).
- [5] W.C. Röntgen, Sitzungsber. physik.-med. Ges. Würzburg, Dez. 1895, p. 132.
- [6] J.J. Thomson et E. Rutherford, Phil. Mag. (5) **42**, 392 (1895).
- [7] E. Rutherford, Ibid. **43**, 241 (1897).
- [8] H. Becquerel, C. R. Acad. Sci. Paris **122**, 559 (1896).
- [9] H. Becquerel, Ibid. **122**, 1086 (1896).
- [10] E. Rutherford, Phil. Mag. (5) **47**, 109 (1899).
- [11] F. Giesel, Ann. Physik **69**, 834 (1899).

- [12] S. Meyer et E.R. Schweidler, *Physik. Z.* **1**, 90, 113 (1899).
- [13] H. Becquerel, *C.R. Acad. Sci. Paris* **129**, 996 (1899).
- [14] H. Becquerel, *Ibid.* **130**, 809 (1900).
- [15] P. Villard, *Ibid.* **130**, 1010 (1900).
- [16] P. Curie et M. Curie, *Ibid.* **129**, 714 (1899).
- [17] E. Rutherford et F. Soddy, *Trans. Chem. Soc. London* **81**, 321 (1902).
- [18] E. Rutherford et F. Soddy, *Phil. Mag. (6)* **4**, 370, 569 (1902).
- [19] Sklodowska Curie, *Rev. gén. Sci. pur. appl.* **10**, 41 (1899).
- [20] P. Curie et M. Curie, in : *Rapports présentés au Congrès international de Physique, 1900*, vol. III, p. 79.
- [21] Mme Curie, *Rev. sc. (Rev. rose)*, Sér. 4, **14**, 65 (1900).
- [22] E. Rutherford et P. Soddy, *Phil. Mag. (6)*, **5**, 445 (1903).
- [23] E. Rutherford, *Physik. Z.* **4**, 235 (1903).
- [24] E. Rutherford, *Nature* **68**, 366 (1903).
- [25] Lord Kelvin, *Science* **9**, 665, 704 (1899).
- [26] E. Rutherford, *Technics*, 1904, p. 11, 171.
- [27] T. Godlewski, *Nature* **71**, 294 (1905).
- [28] E. Rutherford et T. Royds, *Phil. Mag. (6)* **17**, 281 (1909).
- [29] E. Rutherford et H. Geiger, *Manchester Lit. Phil. Soc., Mem. IV*, **52**, no. 9 (1908), p. 1.
- [30] H. Geiger et E. Rutherford, *Phil. Mag. (6)* **20**, 691 (1910).
- [31] E. Rutherford et H. Geiger, *Ibid.* **20**, 698 (1910).
- [32] E. Rutherford et H. Geiger, *Proc. Roy. Soc. A* **81**, 141 (1908) ; *Physik. Z.* **10**, 1 (1909).
- [33] H. Geiger et E. Marsden, *Proc. Roy. Soc. A* **82**, 495 (1909).
- [34] E. Rutherford, *Phil. Mag. (6)* **21**, 669 (1911).
- [35] K. Fajans, *Problemy* **24**, 392 (1968).
- [36] J. Perrin, *Rev. sc. (Rev. rose)* **15**, 449 (1901), p. 460.
- [37] E. Rutherford : *Radio-activity*, 2ème ed., Cambridge at the University Press, 1905, p. 437.

- [38] Rutherford et Boltwood : *Letters on Radioactivity*, Ed. L. Badash, Yale University Press, New Haven 1969.
- [39] N. Bohr, Phil. Mag. (6) **26**, 1, 476, 857 (1913).
- [40] E. Rutherford, E.N. da C. Andrade et J. Harling, Ibid. **27**, 854 (1914).
- [41] E. Rutherford, E.N. da C. Andrade et J. Harling, Ibid. **28**, 263 (1914).
- [42] J. Chadwick, Verh. dtsch. phys. Ges. **16**, 383 (1914).
- [43] E. Rutherford, Phil. Mag. (6) **28**, 305 (1914).
- [44] H. Becquerel, C. R. Acad. Sci. Paris **130**, 372 (1900).
- [45] E. Rutherford, Phil. Mag. (6) **37**, 581 (1919).
- [46] P.M.S. Blackett, Proc. Roy. Soc. **A 107**, 349 (1925).
- [47] P.M.S. Blackett et D.S. Lees, Ibid. **A 136**, 325 (1932).
- [48] C.D. Anderson, Science **76**, 328 (1932).
- [49] C.D. Anderson, Phys. Rev. **43**, 491 (1933).
- [50] P.M.S. Blackett et G.P.S. Occhialini, Proc. Roy. Soc. **A 139**, 699 (1933).
- [51] F. Joliot et I. Joliot-Curie, Lettre à N. Bohr du 26 août 1932.
- [52] I. Curie et F. Joliot-Curie, J. Phys. Radium (7) **4**, 21 (1933).
- [53] I. Curie et F. Joliot, C. R. Acad. Sci. Paris **196**, 1105 (1933).
- [54] G.P.S. Occhialini et C.F. Powell, Nature **159**, 186 (1947).
- [55] H. Geiger et J.M. Nuttall, Phil. Mag. (6) **22**, 613 (1911).
- [56] H.G.J. Moseley, Ibid. **26**, 1024 (1913) ; **27**, 703 (1914).
- [57] G.N. Antonoff, Ibid. **22**, 419 (1911).
- [58] K. Fajans, Physik. Z. **13**, 699 (1912).
- [59] K. Fajans, Ibid. **14**, 136 (1913).
- [60] F. Soddy, J. Chem. Soc. **99**, 72 (1911).
- [61] K. Fajans et O. Göhring, Physik. Z. **14**, 877 (1913).
- [62] J. Chadwick, Nature **129**, 312 (1932).
- [63] I. Curie et F. Joliot, C. R. Acad. Sci. Paris **194**, 273 (1932).
- [64] Sir M. Oliphant : *Rutherford, Recollections of Cambridge Days*, Elsevier, Amsterdam 1972.
- [65] J.D. Cockcroft et E.T.S. Walton, Proc. Roy. Soc. **A 137**, 229 (1933).
- [66] H.C. Urey, F.G. Brickwede et G.M. Murphy, Phys. Rev. **39**, 164 (1932).

- [67] M.L. Oliphant, P. Harteck et Lord Rutherford, Proc. Roy. Soc. **A 144**, 692 (1934).

Manuscrit reçu le 15 juin 1987