



Histoire

Extrait de la revue *Elémentaire* n°2 disponible à l'adresse : <http://elementaire.lal.in2p3.fr>

La découverte du neutron

L'année 1932 est une année faste pour la physique ; une suite impressionnante de découvertes la jalonne : le neutron, le deutérium, le positron, la radioactivité artificielle. Une théorie complète du rayonnement bêta vient cette même année compléter le palmarès expérimental. La découverte du neutron, par **James Chadwick**, au Laboratoire Cavendish de Cambridge, inaugure la série en janvier. Derrière la précision de cette date se cache cependant un cheminement sinueux, au long des années 20, dans une atmosphère fébrile de découvertes et d'élaborations théoriques intenses.

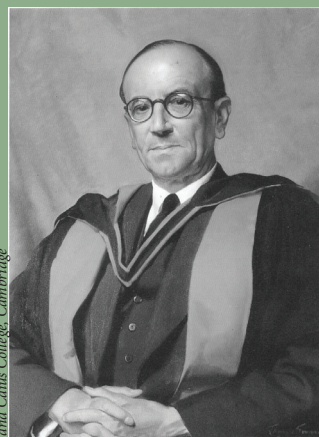
La théorie du noyau en 1930

En 1930, on se représentait un atome comme constitué d'un noyau très petit, entouré d'électrons (voir *Elémentaire* n°1). Au-delà de ce fait acquis, la théorie du noyau restait très confuse. L'idée la plus généralement acceptée était que ce dernier contenait des protons et des électrons en nombre tel que la neutralité électrique de l'ensemble de l'atome, en tenant compte aussi des électrons qui entourent le noyau, soit assurée. Mais l'arrangement interne des corpuscules composant le noyau restait une question ouverte. En 1920 Ernest Rutherford, avait émis l'idée qu'un électron puisse se lier à un proton pour former « une sorte de doublet neutre ». En cette hypothèse il était permis de supposer qu'une telle structure fût présente dans le noyau. Les disciples de Rutherford avaient désigné cet état lié, proton-électron, du nom de « neutron » (ce qui ne correspond plus à la conception actuelle du neutron). Cette idée resta importante dans l'école anglaise et en particulier chez Chadwick, mais ne rencontra pas un très large écho sur le continent. Rutherford, et quelques autres, cherchèrent à produire les fameux doublets par tous les moyens avouables (décharges électriques provoquées dans l'hydrogène, jets d'électrons, champs magnétiques) ou inavouables (relevant presque de l'alchimie, comme le déclara Chadwick lui-même). En vain.

Un rayonnement pénétrant

À vrai dire, en 1931, dans l'agitation ambiante, on ne pense plus tellement à l'hypothèse du neutron. Mais on fait beaucoup d'expériences de transmutation de noyaux à l'aide de rayonnement alpha. C'est alors que le physicien allemand Walther Bothe (1891-1957, prix Nobel de physique 1954) et un étudiant, Herbert Becker, détectent, en bombardant du béryllium à l'aide du rayonnement alpha (voir *Elémentaire* n°1, article « Radioactivité »), la production d'un rayonnement neutre pénétrant, qui ne se laisse pas arrêter par quelques centimètres de gaz. Il est naturel d'admettre qu'il s'agit de rayons gamma énergiques, bien que les conditions de leur production soient assez mystérieuses et que les résultats expérimentaux ne se laissent pas interpréter de manière

reproduit avec l'autorisation des Master and Fellows du Gonville and Caius College, Cambridge



James Chadwick

James Chadwick (1891-1974) est élève de E. Rutherford. En 1914, il découvre le caractère continu du spectre en énergie des électrons émis par le rayonnement bêta. Lors d'un séjour dans le laboratoire de H. Geiger à Berlin, il est surpris par la déclaration de guerre et contraint de rester dans la capitale allemande pendant quatre ans. Il est interné dans un camp de prisonniers civils. Il y poursuit des recherches et correspond avec Rutherford. Après la fin de la guerre, en 1919, il est nommé professeur à Cambridge (Gonville and Caius College), poste qu'il occupera jusqu'en 1935. Il rejoint Rutherford et travaille avec ce dernier à des expériences de transmutation par rayons alpha et étudie les propriétés et la structure du noyau atomique. Il est nommé sous-directeur du Laboratoire Cavendish en 1923. Il y découvre l'effet photoélectrique nucléaire (indépendamment de Maurice de Broglie). C'est en 1932 qu'il démontre l'existence du neutron. Il est alors membre de la Royal Society depuis 1927. En 1935, année où il reçoit le prix Nobel, il accepte un poste de professeur à Liverpool où il installe le premier cyclotron anglais. Pendant la seconde guerre mondiale, il dirige la délégation britannique qui participe au projet Manhattan à Los Alamos (USA), pour développer la bombe atomique.



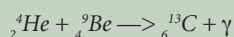
La découverte du neutron



Irène et Frédéric Joliot-Curie dans leur laboratoire.

Les premières expériences des Joliot-Curie

Le dispositif décrit dans l'article original des Joliot-Curie, est représenté sur la figure ci-contre. Les rayons alpha émis par la source de polonium (haut de la figure) bombardent une cible (bore, béryllium ou lithium). Le rayonnement produit, après avoir traversé un écran de plomb, pénètre dans une enceinte sous tension et ionise l'air qu'elle contient. Les ions produits sont collectés par une électrode centrale reliée à l'électromètre Hoffmann. En variant l'épaisseur de l'écran et en mesurant les variations correspondantes du courant induit dans l'électromètre, les Joliot-Curie en déduisent l'énergie des rayonnements. En effet, plus le rayonnement est énergétique, plus l'épaisseur de l'écran de plomb doit être importante pour obtenir le même courant induit. On dispose par ailleurs de courbes donnant l'absorption de rayons gamma en fonction de l'énergie des gammas incidents ; en comparant avec ces données les absorptions déduites du courant induit mesuré, on remonte aux énergies. Les résultats les plus spectaculaires sont obtenus avec une cible de béryllium : une énergie de rayons émis de l'ordre de 15 à 20 MeV. Les Joliot-Curie concluent ce premier groupe d'expériences en attribuant ces rayons à un processus « d'agrégation » (fusion) proposé par Bothe, qui s'écrit dans le cas du béryllium :



immédiatement convaincante. C'est probablement en décembre 1931 que Frédéric Joliot et Irène Curie entreprennent des expériences sur ces rayonnements.

L'atout des Joliot-Curie est un accès aisé à de bonnes sources de rayons alpha (notamment la source de polonium la plus intense du monde à l'époque) allié à un savoir-faire éprouvé. Ils sont experts dans l'utilisation d'une chambre à ionisation reliée à un électromètre Hoffmann (du nom de son inventeur).

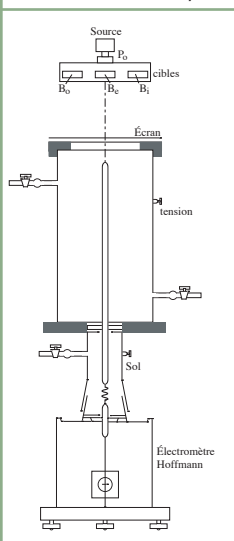
Leurs premières expériences sont décrites dans l'encadré ci-contre. Sous l'effet de rayons alpha, certains éléments, tel le béryllium, émettent un « rayonnement pénétrant » qui ressemble au rayonnement gamma,

mais avec une énergie qu'on n'a jamais observée jusqu'à. Cette énergie, mesurée par une méthode d'absorption dans le plomb, est de l'ordre de 15 à 20 MeV. Frédéric Joliot et Irène Curie attribuent ces rayons à un processus dit « d'agrégation », proposé par Bothe.

Mais cette interprétation repose essentiellement sur des extrapolations et les Joliot-Curie souhaitent l'éprouver par de nouvelles expériences. Certaines substances sont connues pour émettre des protons, par transmutation nucléaire, quand on les bombarde avec des rayons gamma « ordinaires ». Une idée est donc de soumettre ces substances aux rayons « gamma » pénétrants et d'analyser les protons produits.

La surprise fut que seules les substances contenant de l'hydrogène (dont le noyau est en fait un proton), comme la paraffine, donnaient lieu à une détection de protons. Après différents tests, les Joliot-Curie acquièrent la conviction que les protons détectés ne provenaient pas

d'une transmutation nucléaire mais qu'ils étaient éjectés de la cible par la radiation pénétrante. Les deux physiciens expliquèrent le phénomène par un processus nouveau, analogue au phénomène de **diffusion Compton** : une diffusion des fameux rayons « gamma » pénétrants par les protons de la cible, qui en étaient alors éjectés par effet de recul. Ils laissèrent en suspens une interprétation définitive et conclurent par ce résultat : « il paraît donc établi par ces expériences qu'un rayonnement électromagnétique de haute fréquence [donc de haute énergie] est capable de libérer, dans les corps hydrogénés, des protons animés d'une grande vitesse. » La suite montrera que la conclusion est erronée du simple fait qu'en réalité ce n'est pas de rayonnement électromagnétique qu'il s'agit. Néanmoins un grand pas est franchi vers la bonne interprétation grâce à l'affirmation capitale de la présence de ce que nous appelons aujourd'hui des protons de recul.





La découverte du neutron

Le rayonnement pénétrant traverse la Manche

À Cambridge, ces résultats produisirent un grand remue-ménage. Chadwick, qui a toujours l'idée du neutron derrière la tête, se précipite sur ses appareils pour refaire l'expérience. Par chance il dispose d'une source composée de béryllium et de polonium, qui vient tout juste d'arriver des États-Unis.

Grâce à l'amplificateur dont est munie sa chambre à ionisation (mais dont ne disposaient pas les Joliot-Curie), il peut faire des mesures précises. Celle des reculs de noyaux d'azote le convainc que les rayons «gamma» supposés par les Joliot-Curie n'ont pas une énergie suffisante pour produire un « **effet Compton** ». En effet l'application des lois de conservation de l'énergie et de l'impulsion dans ce type de réaction exigerait que le rayon gamma incident eût une énergie supérieure à 50 MeV, alors que le processus de production de ces rayons (à la Bothe) supposé par les Joliot-Curie ne peut leur communiquer qu'une énergie de 14 MeV (toujours pour des raisons de conservation). Ainsi, les protons de recul ne peuvent pas être produits par des rayons gamma

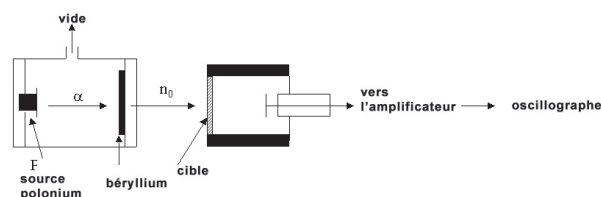


Schéma du dispositif de Chadwick.

L'effet Compton

On appelle **diffusion Compton** un processus qui se produit entre un photon et un électron, dans des conditions telles qu'on peut le décrire comme un choc élastique entre deux corpuscules classiques. Ici, les Joliot-Curie remplacent l'électron par un proton.

Irène et Frédéric Joliot-Curie



Irène (1897-1956) est la fille de Pierre et Marie Curie. Son père étant mort accidentellement quand elle avait neuf ans, elle est élevée par sa mère. Elle est élève d'une école «élémentaire» animée par Marie Curie et quelques autres savants et intellectuels à l'intention de leurs propres enfants. Marie y est chargée de l'enseignement de science. Entrée comme préparatrice dans le laboratoire de sa mère, Irène présente, en 1925, une thèse sur les particules alpha émises par le polonium.

Frédéric Joliot (1900-1958), a été recommandé à Marie Curie par son ami Paul Langevin, pour son habileté technique. Il est embauché au laboratoire Curie pour préparer une source extrêmement active de polonium, puis pour construire une chambre à brouillard (chambre de Wilson). Il épouse Irène en 1927 et présente en 1930 un travail de thèse sur l'électrochimie du polonium.



Irène Joliot-Curie travaille avec Frédéric jusqu'en 1935. Ils découvrent ensemble, en 1934, la radioactivité artificielle, travail pour lequel ils obtiennent le prix Nobel de chimie l'année suivante. En 1936, Irène est pendant quelques mois sous-secrétaire d'état à la recherche dans le gouvernement du Front populaire de Léon Blum. Elle est nommée professeur en Sorbonne en 1937.

En cette même année, Frédéric Joliot est nommé professeur au Collège de France. Il y entreprend la construction du premier cyclotron européen. En 1939-40, avec L. Kowarski et H. von Halban, il montre que la fission de l'uranium libère plusieurs neutrons, ce qui rend possible des réactions en chaîne et la production d'énergie. Des brevets secrets sont déposés. Sous la menace de l'invasion allemande, les documents et les matériaux sensibles sont transportés en Grande-Bretagne.

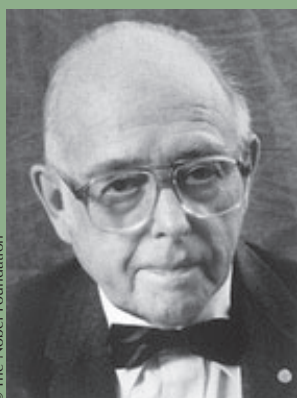
Sous l'occupation, un groupe de scientifiques allemands est « accueilli » au laboratoire du Collège de France que Joliot continue à diriger, sous la « protection » relative d'un collègue allemand, le physicien W. Gentner. Parallèlement, il devient président du mouvement de résistance clandestin « Front national de lutte pour la libération de la France » et adhère au parti communiste. À la libération, il est nommé directeur du Centre national de la recherche scientifique (CNRS) puis, en janvier 1946, haut-commissaire à l'énergie atomique (CEA). Il dirige la construction de la première pile atomique française ZOE, à laquelle participe Irène, elle-même commissaire à l'énergie atomique.

Il est à l'origine en 1950 du célèbre « Appel de Stockholm » contre la bombe atomique et est révoqué de son poste de haut-commissaire.

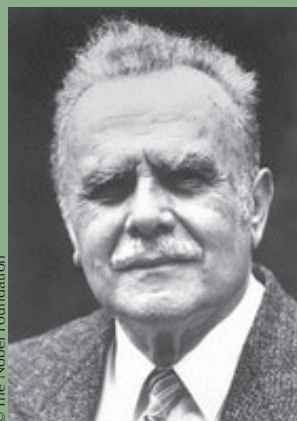
Irène Joliot-Curie est devenue, en 1946, directrice de l'Institut du radium. Elle lance le projet de construction de l'Institut de physique nucléaire d'Orsay mais meurt d'une leucémie en 1956. Frédéric succède à son épouse à la chaire de Physique nucléaire et radioactivité de la Faculté des sciences de Paris et se consacre à la réalisation du projet d'Orsay. Il meurt le 14 août 1958. Des obsèques nationales furent célébrées à la Sorbonne.



La découverte du neutron



© The Nobel Foundation



© The Nobel Foundation

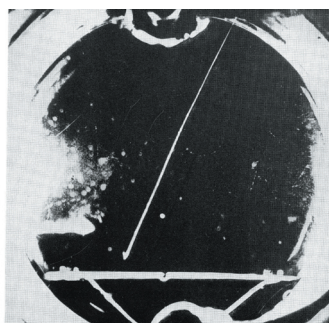
Soixante dix ans après sa découverte le neutron reste toujours d'actualité ! En 1994, Clifford G. Shull et Bertram N. Brockhouse ont reçu le prix Nobel de physique pour leur contribution au développement de techniques de diffusion de neutrons pour les recherches en physique de la matière condensée (voir rubrique « Centre »).

mais bien plutôt par des objets massifs : « Ces résultats (...) sont très difficiles à expliquer dans l'hypothèse où la radiation sortant du béryllium est un quantum de radiation [rayon gamma], produit dans une collision conservant énergie et impulsion (le processus d'agrégation de Bothe). Les difficultés disparaissent cependant si l'on suppose que la radiation est formée de particules de masse 1 (masse correspondant à celle d'un atome d'hydrogène) et de charge 0, c'est-à-dire de neutrons. On peut supposer que la capture de la particule α par le noyau ${}^9\text{Be}$ donne lieu à la formation d'un noyau ${}^{12}\text{C}$ et à l'émission d'un neutron. » (lettre de Chadwick du 17 février 1932, publiée le 27 février dans la revue *Nature*). En 1935, il recevra le prix Nobel de physique.

Pourquoi les Joliot-Curie ont-ils manqué le neutron ?

Avant la publication du résultat de Chadwick, les Joliot-Curie qui avaient refait des expériences avec d'autres appareillages (chambre de Wilson) en étaient arrivés à la conviction d'avoir mis en évidence une propriété nouvelle des rayons gamma énergiques.

Pourquoi n'ont-ils pas « vu » le neutron ? Il est assez difficile de le déterminer de manière décisive. Tout d'abord, l'idée de neutron était dans l'air à Cambridge alors qu'elle était, semble-t-il, tombée dans l'oubli à Paris. Ensuite, le monde des Joliot est celui des noyaux, des rayons alpha, bêta, gamma ; leur domaine est l'étude des gammas produits par transmutation. Cela constituait un environnement de laboratoire qui ne les mettait pas en condition psychologique pour « inventer » une nouvelle particule. Enfin, on évoquait, à cette époque, des idées essentiellement dues à Bohr, selon lesquelles la loi de conservation de l'énergie ne serait valable que statistiquement sans être nécessairement vérifiée dans chaque processus individuel. Or, c'est bien cette loi, appliquée strictement, qui, pour Chadwick, rendit nécessaire l'existence du neutron. Les Joliot-Curie ont pu se laisser influencer par ce genre de conceptions et manquer ainsi la découverte. Ce n'est que partie remise, car, ils seront les auteurs incontestés de la découverte de la radioactivité artificielle en 1934, qui leur vaudra le prix Nobel de chimie en 1935, la même année que Chadwick pour la physique !



Observation d'une trajectoire de proton de recul dans une chambre de Wilson par les Joliot-Curie. On observe la cible de paraffine en bas de la photo. La source de polonium-béryllium est placée à l'extérieur de la chambre.