

ENRICO FERMI ET LA FISSION DE L'URANIUM

par
Otto Hahn

Il me semble quelque peu étrange que l'Agence internationale de l'énergie atomique me demandât d'écrire un article pour commémorer la date du 2 décembre 1942. A vrai dire, rien ne me rattache directement à cette date si importante. En septembre 1939, l'ouverture des hostilités avait mis fin aux relations scientifiques de l'Allemagne avec l'étranger - notamment avec l'Angleterre, bientôt suivie de l'Amérique - tout au moins dans le domaine de la recherche atomique.

Les revues des pays occidentaux ne publiaient plus aucun détail sur la fission de l'uranium, découverte qui avait été rendue publique en janvier 1939. Et puisqu'il avait été démontré peu après que la fission de l'uranium s'accompagnait de l'"évaporation" de quelques neutrons, le monde scientifique savait désormais qu'il était possible de déclencher une "réaction en chaîne" pour tirer parti de l'énergie contenue dans les noyaux des atomes. En temps de guerre, tout moyen qui peut servir à affaiblir ou à anéantir l'adversaire prend le pas sur les réalisations d'utilité publique. C'est ce qui arriva à l'époque, et l'on se mit à étudier la possibilité de construire une bombe atomique.*

Je me souviens de divers entretiens que j'ai eus avec mon ami Fritz Strassmann, au cours desquels nous nous montrions fort préoccupés de la construction imminente de la bombe. Nous nous rassurions mutuellement en nous disant qu'il faudrait sans doute encore une vingtaine d'années, ou même davantage, pour que l'humanité puisse disposer d'une telle arme et qu'il n'y avait pas lieu de penser qu'on l'utiliserait pendant la guerre en cours.

C'est ainsi que nous ignorions tout de la réussite d'Enrico Fermi et de ses nombreux collaborateurs; nous étions heureux qu'il nous fût possible de poursuivre et de publier nos études strictement scientifiques qui visaient à élucider les divers phénomènes qui accompagnent la fission de l'uranium.

Je n'ai donc, à proprement parler, ni le droit, ni même aucune raison de commémorer le jour où le réacteur de Fermi "entra en divergence", ce jour où il s'avéra possible de provoquer une réaction en chaîne pour mettre à profit les énergies qui sommeillent dans les noyaux des atomes.

Et pourtant, il y a tout lieu d'évoquer le nom d'Enrico Fermi. En effet, les expériences de Fermi

* Cf. l'article de S. Flügge, dans *die Naturwissenschaften*, 27, 402-410 (1959).



Otto Hahn

sur le bombardement de l'uranium par des neutrons nous amenèrent - Lise Meitner, ma collègue de vieille date, et moi-même - à procéder en 1934 à une vérification des données, car les expériences de Fermi avaient fait l'objet d'interprétations divergentes. Fermi avait eu la brillante idée de provoquer artificiellement des transformations dans l'atome à l'aide de particules dépourvues de charge, les neutrons, alors qu'on s'était servi jusque là de particules alpha à charge positive ou de protons. En effet, Fermi et ses collaborateurs avaient exposé à des bombardements neutroniques presque tous les éléments du système périodique jusqu'à l'uranium, et avaient ainsi obtenu des conversions nucléaires artificielles, lors desquelles le noyau de l'atome, renforcé par un neutron, passait à l'élément immédiatement supérieur en émettant des rayons bêta.

Ayant d'autre part démontré, lors de l'irradiation de l'uranium, l'existence d'espèces atomiques artificielles, Fermi avait conclu à la formation d'un, voire de plusieurs éléments situés au-delà de l'uranium, appelés "éléments transuraniens". Cette conclusion de Fermi était cependant contestée par mon ancien collaborateur, A. V. Grosse, qui avait le pre-

mier réussi à produire du protactinium pur. Grosse et Agruss ne croyaient pas à l'existence d'atomes dont la charge nucléaire fût supérieure à 92 ; d'après eux, il s'agissait de représentants de l'élément 91, c'est-à-dire d'isotopes du protactinium. Or, Lise Meitner et moi connaissions parfaitement les propriétés du protactinium ; j'avais d'ailleurs découvert moi-même, des années auparavant, un isotope du protactinium émetteur de rayons bêta, l'uranium Z. Il était donc naturel que nous désirions refaire les expériences de Fermi pour voir si c'était lui ou Grosse qui avait raison ; autrement dit, nous voulions déterminer si les nouveaux atomes artificiels correspondaient à des éléments de nombre atomique supérieur à 92, ou bien à l'élément 91, c'est-à-dire le protactinium. En utilisant l'uranium Z comme indicateur pour l'élément 91, Lise Meitner et moi avons pu démontrer d'une façon certaine que les substances observées par Fermi n'étaient pas des isotopes du protactinium et que l'on était donc en droit de conclure à des éléments situés au-delà de l'uranium, des éléments transuraniens. (Les éléments thorium et actinium, respectivement de nombre atomique 90 et 89, avaient été exclus par avance). Le processus s'expliquait donc comme suit :

Lors du bombardement de l'uranium par les neutrons, un neutron est capté par le noyau d'uranium et il se forme un isotope artificiel de l'uranium dont la masse s'est accrue d'une unité. A l'intérieur du noyau, un neutron se transforme donc en proton. L'isotope de l'uranium émet un rayon bêta et se convertit en un représentant de l'élément 93, élément transuraniens. Ce que Fermi et ses collaborateurs avaient trouvé, ce n'était pas un seul émetteur bêta de courte période, mais plusieurs émetteurs bêta formés simultanément : une substance d'une période de 10 secondes et une autre de 40 secondes. Compte tenu de l'expérience qu'on avait acquise avec tous les autres éléments du système périodique, il ne pouvait s'agir que d'isotopes de l'uranium à courte période. Ceux-ci se transforment manifestement à leur tour en d'autres produits artificiels.

Lise Meitner et moi-même avons pu confirmer, en les élargissant, les résultats des expériences effectuées par l'équipe de Fermi. Le processus s'étant révélé très complexe, nous avons réussi à établir en l'espace de quatre ans, en collaboration avec Fritz Strassmann, deux grandes séries d'"éléments transuraniens" artificiels, dont les charges nucléaires présumées allaient de 93 pour l'ékarhénium jusqu'à 96 pour l'ékaplatine. La première de ces séries commençait par l'isotope de l'uranium isolé par Fermi et ayant une période de 10 secondes, l'autre par l'isotope dont la période est de 40 secondes. Vu que les produits de conversion de ces isotopes pouvaient tous être précipités par l'acide sulfhydrique en solution fortement acide, les propriétés chimiques des "éléments transuraniens" répondaient très bien

à l'hypothèse relative à l'ékarhénium et aux homologues des métaux du groupe "platine", ékaosmium-94, ékairidium-95 et ékaplatine-96.

Et pourtant, tout l'édifice de nos "éléments transuraniens" reposait sur l'erreur presque tragique qui nous faisait présumer l'existence des isotopes à courte période de Fermi, d'une durée de vie respective de 10 et 40 secondes. La conclusion que Fermi avait formulée en 1934, au moment de procéder au bombardement de l'uranium par des neutrons, était exacte à l'époque, mais nos longues séries de conversion semblaient tout aussi exactes. Fermi ne pouvait savoir que le processus qui intervient dans l'uranium bombardé par les neutrons est très différent de celui que l'on observe en pareil cas pour les éléments inférieurs de la classification périodique. Il fallait des résultats complémentaires pour expliquer les phénomènes qui se produisent lors de l'irradiation de l'uranium ; d'abord, la confusion s'accrut, mais on finit par élucider le problème.

Décrivons brièvement les autres erreurs commises et le succès qui finalement s'ensuivit. A côté des substances d'une période de 10 et de 40 secondes que Fermi avait prises pour des isotopes de l'uranium, Lise Meitner et moi-même avons trouvé, dans des conditions d'irradiation spéciales, un produit artificiel d'une période de 23 minutes qui, grâce à l'emploi de la méthode des indicateurs, s'est révélé, lui, comme un véritable isotope de l'uranium. Etant donné que ce produit émettait des rayons bêta, il devait nécessairement se transformer en un élément 93, l'ékarhénium. Mais, en dépit de recherches très poussées, il nous fut impossible de le repérer, nos sources de rayonnement n'étant pas assez puissantes. Il est vrai qu'à l'époque, nous ne nous y intéressions pas outre mesure, car nous croyions avoir déjà identifié des représentants de l'ékarhénium sous forme de produits de conversion des isotopes de l'uranium qui étaient précisément les isotopes à courte période de Fermi. Ici encore, le malentendu qui s'était produit à propos de ces isotopes faillit avoir une issue tragique. Sans ces derniers, nous nous serions certainement efforcés d'élucider le produit de conversion de l'isotope de l'uranium ayant une période de 23 minutes. Il est probable que, par une séparation systématique de l'uranium à période de 23 minutes, c'est-à-dire grâce à un enrichissement de son produit de conversion encore inconnu, nous aurions fini par repérer l'ékarhénium qui s'était formé ; nous aurions alors été surpris de constater que l'ékarhénium ne possédait nullement les propriétés que nous avions nécessairement attribuées à cette substance sur la base des transformations auxquelles nous l'avions soumise, selon l'exemple de Fermi. Après la découverte de la fission de l'uranium, McMillan et Abelson ont trouvé le véritable élément 93 et l'ont baptisé "neptunium".

Mais retournons à l'année 1938. Le nombre des nucléides artificiels qui se forment, directement ou indirectement, lors de l'irradiation de l'uranium s'était encore accru depuis que M. Strassmann et moi-même, en contrôlant une substance à période de 2,3 heures, décrite par Curie et Savitch, avions pu identifier pas moins de quatre substances nouvelles, qu'il nous fallut désigner toutes comme des isotopes artificiels du radium. En effet, étant donné leurs réactions chimiques, il ne pouvait s'agir que de radium, ou de baryum qu'on y aurait ajouté aux fins de précipitation. Or, ce dernier était "proscrit" eu égard à l'ensemble de l'expérience acquise dans le domaine de la physique nucléaire.

C'est alors que l'on procéda enfin aux expériences qui permirent de résoudre le problème. En ayant recours à la cristallisation fractionnée, nous cherchions à séparer notre "radium" artificiel de ce lest inactif qu'était le baryum; en effet, pour le contrôle des rayons bêta, des couches plus minces étaient indispensables. On connaît le résultat : malgré l'application des méthodes les plus diverses que nous pratiquions depuis fort longtemps, nous ne parvenions pas à séparer le "radium" du "baryum". Certains essais, pour lesquels nous utilisions, comme indicateurs, des isotopes naturels du radium tels que le mésothorium et le thorium X, conjointement avec notre "radium" artificiel, nous permirent enfin de nous rendre compte que notre "radium" artificiel n'était pas du radium, mais du baryum. Lors de l'irradiation par les neutrons, l'uranium s'était "scindé" en éléments de poids moyen, dont le premier était

du baryum, tandis que l'autre ne tarda pas à être identifié comme du crypton, l'un et l'autre se présentant sous forme de plusieurs isotopes.

La première explication de ce "scindement" a été fournie par Lise Meitner et O. R. Frisch. Conformément à leurs propositions, on appelle désormais ce processus la "fission".

Au début de ce bref exposé historique, j'ai dit qu'à proprement parler rien ne me rattachait au 2 décembre 1942, date à laquelle le réacteur atomique de Fermi "entra en divergence". C'est la vérité même. En revanche, j'eus des rapports suivis avec Fermi personnellement et il en fut de même pour mes collaborateurs Lise Meitner et Fritz Strassmann. Les produits de conversion à courte période de Fermi que l'on avait pris pour des "isotopes de l'uranium" furent le point de départ d'une collaboration qui ne dura pas moins de quatre ans. Si, après avoir trouvé la véritable explication du phénomène, on s'est rendu compte que l'hypothèse des "isotopes de l'uranium à courte période" était erronée - erreur sans doute nécessaire à l'époque - les études systématiques sur cette question ont quand même fini par être couronnées de succès. Si Fermi n'avait pas existé, il se peut fort bien que Hahn, Meitner et Strassmann ne se soient jamais intéressés à l'uranium.

Ce n'est donc pas tant le réacteur de M. Enrico Fermi que nous devons saluer aujourd'hui; c'est plutôt les expériences de Fermi, et notamment ces neutrons dépourvus de charge qui permettent de provoquer artificiellement des réactions nucléaires.