

# VERS L'ENERGIE NUCLEAIRE : PROGRES ET ERREMENTS

par  
Lise Meitner

Il y a vingt ans, le 2 décembre 1942, Enrico Fermi réussit à mettre "en divergence" - c'est-à-dire en activité - le premier réacteur du monde. Ce n'est pas par hasard que la solution de ce problème très compliqué pour l'époque, quoique en principe assez simple, fut trouvée par Fermi. En matière de physique expérimentale et théorique, Fermi était un des plus grands génies de notre temps, toujours désireux et capable de s'attaquer, avec les idées les plus simples, à de nouvelles difficultés et, lorsque les moyens disponibles ne lui suffisaient pas, il n'hésitait pas à élargir ou découvrir même, grâce à ses dons exceptionnels d'observation, et toujours avec la plus grande simplicité, les méthodes expérimentales dont il avait besoin pour résoudre un problème donné.

Bien entendu, Fermi avait eu l'idée de construire ce premier réacteur à la suite de la découverte de la fission - qui se produit lorsque l'uranium ordinaire est bombardé par des neutrons - que nous devons à Otto Hahn et Fritz Strassmann. Etant donné nos connaissances actuelles, il nous semble qu'il a fallu bien longtemps pour aboutir et que bien des erreurs ont été commises en cours de route.

A travers ce dédale qui mena finalement à l'interprétation juste, Fermi fut encore une fois le pionnier.

Peu de temps après la découverte du neutron par Chadwick, et de la radioactivité artificielle par I. Curie et F. Joliot, Fermi se rendit compte que c'étaient précisément les neutrons qui, dépourvus de charge électrique, devaient pénétrer le mieux dans les noyaux atomiques lourds - c'est-à-dire fortement chargés - et se prêter particulièrement bien au déclenchement de réactions nucléaires. Avec un groupe de jeunes collaborateurs, en partie formés par lui, il se mit à exposer les éléments les plus divers à un bombardement de neutrons, obtenant ainsi un certain nombre de nouveaux radioisotopes, notamment d'isotopes d'éléments lourds. Les résultats les plus intéressants étaient ceux auxquels avait abouti le bombardement de l'élément le plus lourd connu à l'époque, l'uranium, car Fermi pensait qu'on parvenait ainsi aux éléments de numéro atomique 93 et 94, c'est-à-dire aux éléments transuraniens.

Ces expériences me fascinèrent à tel point que, dès la parution de leur compte rendu dans Nuovo Cimento et Nature, j'ai persuadé Otto Hahn de l'utilité de reprendre notre collaboration directe, interrom-



Lise Meitner (Photo USIS)

pue depuis plusieurs années, et de nous mettre à l'étude de ces problèmes.

C'est ainsi qu'en 1934, après plus de douze ans d'interruption, nous reprîmes nos travaux en commun; quelque temps après, un autre collaborateur de valeur, Fritz Strassmann, vint se joindre à nous.

Certes, nous étions dans une certaine mesure influencés par l'hypothèse de Fermi selon laquelle il s'agissait exclusivement, dans le cas de l'uranium, de la formation d'éléments transuraniens. Le comportement du thorium semblait d'ailleurs confirmer cette hypothèse. En procédant au bombardement du thorium-232 par des neutrons lents, nous avons détecté, en plus d'un thorium-233, émetteur de rayons bêta et ayant une période de 26 minutes - élément qui avait déjà été observé par Fermi - un protactinium-233, émetteur lui aussi de rayons bêta d'une période d'environ 25 jours, dont l'identité chimique ne faisait aucun doute. Pourtant, ce qui m'inquiétait, c'était le fait qu'il pût exister, dans le cas de l'uranium, une

aussi longue chaîne de désintégrations bêta successives et, par conséquent, une augmentation constante de la charge des noyaux, sans accroissement de la masse.

Pour dissiper ces inquiétudes, nous procédâmes à une étude minutieuse sur de l'uranium bombardé par des neutrons lents. Ce faisant, nous pûmes démontrer sans équivoque, du point de vue chimique, la formation d'uranium-239, émetteur de rayons bêta et dont la période est d'environ 23 minutes. Nous constatâmes qu'il s'agissait d'un phénomène de résonance dont l'énergie était de  $25 \pm 10$  V. L'émission de rayonnements bêta ayant été démontrée, on ne pouvait plus douter de la formation de l'élément de nombre atomique 93, que nous appelâmes ékahrénium et qui reçut plus tard le nom de neptunium; cependant, les préparations dont nous disposions étaient beaucoup trop faibles pour nous permettre d'examiner, par exemple, les propriétés chimiques ou la durée de vie du neptunium. La grande difficulté à laquelle nous nous heurtions était qu'en l'occurrence il nous fallait examiner toute la quantité d'uranium irradié, débarrassée au préalable de toute trace d'uranium X, alors que la formation d'uranium X nouveau compensait très rapidement l'activité de l'uranium-239 qui décroît rapidement au bout de 23 minutes.

En procédant à des bombardements avec des neutrons rapides, nous avons toujours veillé à ce que les précipités se produisent de telle façon que U, Pa et Th demeurent dans le filtrat, ce qui - dans notre esprit - devait confirmer la nature transurannique des éléments précipités. En conséquence, nous n'avions jamais examiné (et c'était là notre erreur) les produits de filtration de nos précipités, même pas dans les essais de bombardement avec des neutrons lents. Nous ne l'avons fait qu'après avoir lu, dans le premier compte rendu publié par Curie et Savitch sur cette question, que leurs essais avaient abouti à la découverte d'un nouvel isotope du thorium. En refaisant l'expérience des deux savants français, nous nous sommes malheureusement bornés à chercher un isotope du thorium dans le filtrat; cependant, notre analyse aboutit à un résultat négatif.

Nous écrivîmes à Irène Curie pour lui faire part de ce résultat si bien que, dans un article ultérieur où ils décrivaient leur fameuse substance "de 3,5 heures", Curie et Savitch confirmaient, sous forme d'une note, le bien-fondé de nos observations. A la suite de leurs études, les deux auteurs conclurent, non sans quelque hésitation, que la substance "de 3,5 heures" était un élément transurannique, qui se comportait cependant jusqu'à un certain point comme une terre rare (lanthane). Nous savons aujourd'hui que cette substance dite "de 3,5 heures" était un mélange de Ba et de La. Peut-être est-il intéressant de signaler le détail suivant, que je tiens de von Hevesy :

en 1938, Irène Curie aurait déclaré à celui-ci qu'elle s'imaginait parfois retrouver, dans son uranium irradié, tous les éléments chimiques à la fois.

Au moment où parut l'étude relative à la substance "de 3,5 heures", je venais de quitter l'Allemagne (juillet 1938) et, après un bref séjour aux Pays-Bas, je m'étais fixée à Stockholm, où l'on avait mis à ma disposition un laboratoire dans le nouvel Institut de Manne Siegbahn.

Hahn et Strassmann, qui considéraient, à juste titre, les résultats des savants français comme intéressants et dignes d'être vérifiés, ont refait les expériences pour obtenir cette substance "de 3,5 heures" et l'identifier au point de vue chimique. Leurs analyses poussées ont abouti à la conclusion qu'il ne s'agissait pas d'une substance chimiquement homogène mais d'un mélange d'isotopes du radium à activité bêta et de l'isotope de l'actinium résultant de ces isotopes et émetteur, lui aussi, de rayons bêta.

On avait obtenu la séparation des isotopes du radium en les précipitant avec du baryum. Cependant, lorsque Hahn et Strassmann ont tenté par la suite de séparer ces "isotopes du radium" du baryum additionné, ils ont constaté à leur grande surprise que c'était impossible; or, les isotopes connus du radium, Th X et mésothorium I, pouvaient parfaitement être séparés du baryum par des méthodes identiques, même si l'on travaillait sur de très petites quantités, ainsi que les deux chercheurs ont pu le constater. La conclusion était inéluctable: les "isotopes du radium" étaient en réalité des isotopes du baryum. J'aimerais souligner qu'étant donné la faible intensité des préparations à identifier, cette démonstration était un vrai tour de force sur le plan de la chimie des corps radioactifs, dont seuls Hahn et Strassmann étaient capables à l'époque.

A Noël 1938, Hahn me fit connaître par écrit le résultat des derniers essais effectués, résultat qui était aussi surprenant pour Strassmann que pour lui-même. Je me trouvais alors sur la côte occidentale de la Suède, à Kungälv, où je me proposais de passer les fêtes de Noël en compagnie de O. R. Frisch, venu de Copenhague. On conçoit aisément que la lettre de Hahn fut pleine d'émotion; il m'y demandait d'ailleurs ce que je pensais de ce résultat en tant que physicienne. Je dois avouer que la teneur de la lettre m'avait non seulement étonnée et émue, mais fortement inquiétée. Je connaissais trop bien la haute compétence de Hahn et de Strassmann en chimie pour douter une seule seconde de l'exactitude de ces résultats surprenants. J'ai compris que ceux-ci ouvraient une voie entièrement nouvelle dans le domaine de la science, même si les deux savants avaient fait fausse route dans le passé.

Je m'empressai de mettre Frisch au courant de cette nouvelle palpitante, mais il me fallut tout

d'abord le dissuader de se lancer dans la description d'un aimant de grande dimension dont il venait d'établir les plans. Pour finir, le sujet nous captiva tous les deux, car nous étions convaincus qu'il s'agissait de tout autre chose que de l'éjection d'un nucléon ou d'une particule alpha.

Peu à peu, nous avons fini par comprendre ce nouveau phénomène grâce au modèle de la goutte nucléaire de Bohr, dans lequel la tension superficielle exerce une action stabilisatrice sur les faibles déformations que pourrait subir le noyau. Au cours de la discussion du problème, nous avons abouti à la conception suivante : si, dans le noyau d'uranium fortement chargé et dont la tension superficielle est sensiblement diminuée par la force de répulsion réciproque des protons, le mouvement collectif du noyau est rendu suffisamment violent sous l'action du neutron capturé, le noyau peut s'étirer ; il se forme une sorte de "goulot" qui provoque, en fin de compte, une division en deux noyaux plus légers de dimension sensiblement égale qui, se repoussant mutuellement avec violence, s'éloignent rapidement l'un de l'autre. Partant de cette conception, nous avons pu évaluer à environ 200 MeV l'énergie ainsi libérée. Etant donné que ce phénomène rappelait celui de la division des cellules, nous lui avons donné, sur la proposition de Frisch, le nom de "fission" ; son caractère inédit ressortait d'ailleurs du titre de notre mémoire : "A New Type of Nuclear Reaction".

La publication de ce mémoire eut lieu dans des circonstances quelque peu inusitées : à la suite d'un certain nombre d'entretiens téléphoniques. En effet, avant que nous soyons parvenus à mettre nos idées au clair, Frisch était retourné à Copenhague et moi à Stockholm. C'est encore par téléphone que nous nous sommes mis d'accord sur la manière dont il convenait d'expliquer l'énorme quantité d'énergie libérée lors du processus de fission : mesure de l'ionisation par les fragments de fission à haute énergie - méthode proposée par Frisch et qu'il mit en application sans tarder - ou rassemblement des produits de fission grâce à l'action de leur énergie de recul, opération qui fut réalisée peu après par Joliot.

Le 16 janvier 1939, nous envoyâmes à Nature deux mémoires qui contenaient, d'une part, l'interprétation que nous donnions au processus de fission et, d'autre part, la preuve expérimentale de Frisch

touchant la forte quantité d'énergie inhérente aux noyaux plus légers, formés lors du processus. Comme nous n'avions pas insisté sur une publication rapide, les deux communications n'ont paru que les 11 et 18 février.

Dans l'intervalle, plusieurs événements inattendus s'étaient produits. Bohr était allé aux Etats-Unis pour faire rapport à Washington, le 26 janvier, à l'American Physical Society sur le mémoire de Hahn et de Strassmann, paru entre-temps, notamment pour exposer l'interprétation que nous avions donnée au phénomène en cause et que Frisch avait communiquée à Bohr après son retour de Kungälv. (Je tiens à signaler que Bohr s'était montré fort surpris du fait que les théoriciens n'avaient pas prévu ce phénomène.) Avant que Bohr n'eût achevé son exposé, plusieurs expérimentateurs américains avaient quitté la salle pour entreprendre sans tarder la démonstration de l'énergie d'ionisation accompagnant les produits de fission, telle que nous l'avions indiquée dans notre schéma. Leurs résultats ont été immédiatement publiés dans un quotidien avant que Bohr ait pu apprendre que la démonstration avait déjà été faite par Frisch. Dès qu'il en eut connaissance par une lettre de son fils, Bohr insista lors d'une entrevue avec des journalistes américains pour que la priorité de la découverte soit reconnue à Frisch. La question se débattait toujours lorsque quelqu'un lança le bruit que Frisch était le gendre de Bohr ; cette rumeur était d'autant plus étonnante que Bohr n'avait jamais eu de fille et que Frisch n'était pas marié à l'époque.

On connaît la suite.

Je ne voudrais pas terminer cet exposé sans dire à quel point j'aurais souhaité que cette source d'énergie nouvelle fût affectée exclusivement à des fins pacifiques. Pendant la guerre, je disais bien souvent à Oskar Klein, mon ami de Stockholm : "J'espère que l'on ne réussira pas à construire une bombe atomique, mais j'ai bien peur qu'on y parvienne quand même."

Ma crainte était justifiée : voyez donc le monde d'aujourd'hui ! J'ose espérer que la Conférence de Pugwash qui siège en ce moment à Cambridge et d'autres initiatives de ce genre finiront par résoudre les problèmes si compliqués qui se posent à l'heure actuelle ; du reste, je ne doute pas que Fermi aurait partagé cette espérance.