

>>>

est lent que lorsqu'il est rapide. Sa probabilité de rencontrer un autre noyau est donc plus grande, et c'est la raison pour laquelle son absorption augmente^(c).

Remontant ainsi la table de Mendeleiev, l'équipe de Rome parvient à l'uranium. Fermi pense fabriquer des « transuraniens », qui n'existent pas à l'état naturel, selon le schéma de la première équation ci-dessus, mais l'identification est compliquée. Entre-temps – nous sommes en 1938 – Fermi reçoit le prix Nobel de physique pour l'ensemble de ces études. Il se rend à Stockholm, mais ne revient pas à Rome. Sa femme Laura, d'origine juive, est menacée, et les Fermi décident d'émigrer aux États-Unis. Pendant quelques mois, son activité de recherche est ralentie.

D'autres groupes ont suivi la piste qu'il a ouverte. Notamment Irène et Frédéric Joliot-Curie à Paris, et Lise Meitner et Otto Hahn à Berlin. Ils butent sur le cas de l'uranium, car ils ont du mal à identifier les noyaux produits. La signature est toujours l'activité nucléaire. Ils identifient ainsi les diverses périodes radioactives qui, en général, se superposent : on peut par exemple se trouver en présence de plusieurs désintégrations bêta en cascade. Il faut donc décomposer le signal en plusieurs exponentielles, avec des temps caractéristiques (durées de vie) distinctes et deviner la nature du noyau père. Comme les nouveaux noyaux sont produits en petite quantité, il

faut les concentrer. Diverses méthodes chimiques sont utilisées pour cela, par exemple celle de Marie Curie pour identifier le radium : la cristallisation fractionnée. On dissout la cible à l'aide de différents types de solvants, et on ajoute au mélange un entraîneur, susceptible d'entraîner une substance chimie appartenant à la même colonne du tableau périodique qu'elle. Lorsque le mélange cristallise, la phase solide et la phase liquide n'ont *a priori* pas la même activité, car l'entraîneur – et donc l'entraîné – ne se répartissent pas de façon égale entre les différentes phases. On conserve alors la phase la plus active, qui concentre le noyau cherché, et on recommence.

La fission de l'uranium

Dans le cas de l'uranium, les noyaux résultant de l'irradiation aux neutrons peuvent être des transuraniens, obtenus par désintégration bêta, ou des noyaux plus légers, obtenus par émission alpha. Or, justement, l'addition de baryum comme entraîneur semble suggérer que l'un des noyaux produits est du radium, qui appartient à la même colonne du tableau. Mais pour cela, il faudrait que le noyau d'uranium intermédiaire formé émette deux alpha : en effet, le noyau de radium possède 88 protons, soit 4 de moins que le noyau d'uranium. Or l'émission

alpha procède par effet tunnel sous la barrière coulombienne du noyau – on savait cela depuis 1927, année où Georges Gamow avait proposé cette explication – et un neutron thermique ne peut apporter suffisamment d'énergie d'excitation pour que deux particules alpha franchissent cette barrière.

La situation semble donc inextricable, d'autant que Lise Meitner n'est plus à Berlin en cette fin d'année 1938. Juive d'origine autrichienne, elle n'est plus protégée par sa nationalité depuis que l'Autriche a été annexée par l'Allemagne en mars 1938. Aidée par des amis physiciens hollandais, elle a fui en juillet 1938 un pays où elle a vécu et travaillé pendant 30 ans. Mais elle reste en contact avec Hahn, et pour tenter de démêler l'écheveau de l'uranium, elle le fait inviter par Niels Bohr à Copenhague, où elle se rend elle-même pour le rencontrer le 13 novembre 1938. Bohr partage l'avis de Meitner : l'émission successive de deux particules alpha est très improbable. Une nouvelle série d'expériences est décidée, et Hahn repart pour Berlin. Un mois plus tard, Hahn fait part de sa consternation à Meitner. Malgré tout le soin apporté, il ne parvient pas à séparer du baryum ce qui devrait être des isotopes du radium. « Nos isotopes du radium se comportent comme du baryum » lui écrit-il le 19 décembre. « Nous sommes convenus avec Strassmann [un jeune chimiste qui les

a rejoint quelques années auparavant] que nous n'allons en parler à personne d'autre qu'à toi. [...] Avant que l'Institut ne ferme pour les vacances [de Noël], nous voulons vraiment écrire quelque chose pour *Naturwissenschaften* à propos des supposés isotopes du radium, car nous avons de très belles courbes de décroissance radioactive. Réfléchis à la question de ton côté. Si tu peux trouver une explication publiable – peut-être un isotope du baryum avec une masse atomique très supérieure à 137 ? – ce serait comme si nous travaillions encore tous les trois ensemble. »

La lettre parvient à Meitner le 21, et elle répond immédiatement : « Tes résultats concernant le radium sont très surprenants. Une réaction avec des neutrons lents qui conduirait à du baryum ! [...] L'hypothèse d'une rupture du noyau aussi importante me paraît très difficile à tenir aujourd'hui, mais nous avons rencontré de telles surprises en physique nucléaire qu'on ne peut pas dire de façon certaine : c'est impossible. » Hahn reçoit cette lettre encourageante le 23, le lendemain du jour où il a déposé un article à la revue. Cet article est d'une construction inhabituelle. Après avoir décrit leurs expériences, Hahn donne une première interprétation en termes de formation d'isotopes du radium. Puis, aux deux tiers de l'article, changement brutal : après avoir décrit à nouveau la méthode de cristallisation fractionnée, Hahn explique qu'ils ne parviennent à obtenir aucun enrichissement. La conclusion qui en découle, présentée « avec hésitation » en raison de son caractère « étrange », est la suivante : « En tant que chimistes, nous devrions dire en fait que les nouveaux produits ne sont pas du radium, mais du baryum, car des éléments autres que le radium et le baryum sont hors de question. » Plus loin, il reprend l'argument en le plaçant dans un contexte plus large : « En tant que chimistes, nous devrions vraiment réviser le schéma de désintégration présenté ci-dessus. [...] Cependant, en tant que chimistes nucléaires, travaillant à proximité du champ de la physique, nous ne pouvons nous résoudre à franchir un pas aussi crucial, qui vient contredire toute l'expérience passée de la physique nucléaire. Il se pourrait qu'une série de coïncidences inhabituelles nous ait mis sur une fausse piste. » Après réception de la lettre de Meitner, il a téléphoné au directeur de la revue pour lui demander de rajouter un paragraphe où il donne plus de corps à l'hypothèse du baryum. L'origine de la



L'ancien Institut de chimie Kaiser-Wilhelm à Berlin, fondé en 1912, où la fission nucléaire a été découverte en 1938.

prudence de l'article de Hahn et Strassmann est donc clairement identifiée : aucun physicien de l'époque n'a imaginé, depuis que ces expériences de capture neutronique ont été développées, qu'un neutron pouvait conduire à la rupture du noyau atomique. L'explication va venir de Lise Meitner et de son neveu Otto Frisch. L'épisode est connu dans ses détails, car il a été raconté par Frisch lui-même dans son livre de mémoires, *What little I remember*.

Frisch, jeune physicien, fait un séjour à Copenhague, et rend visite à sa tante en Suède à Noël. Il la trouve absorbée par la lettre de Hahn du 19 décembre faisant état du baryum. Sa première réaction est sceptique. Mais Meitner lui assure que Hahn est trop bon chimiste pour s'être trompé dans l'identification du baryum. Tout en continuant de discuter, ils sortent faire une promenade dans la neige, lui à ski de fond, elle à pied. Évoquant les différents mécanismes possibles, ils explorent l'image de Bohr, selon laquelle le noyau est comme une goutte liquide chargée. « Nous savions, se souvient-il, que des forces intenses s'opposeraient à une telle évolution, comme la tension superficielle d'un liquide ordinaire s'oppose à sa fragmentation en gouttelettes plus petites. Mais les noyaux différaient de gouttes ordinaires par un aspect important : ils étaient électriquement chargés, et il était connu que cela diminue l'effet de la tension superficielle. À ce moment nous nous arrêtons et nous assîmes sur un tronç d'arbre et nous mîmes à faire quelques calculs sur un morceau de papier. Il nous

apparut que la charge du noyau d'uranium était suffisante pour annuler presque complètement l'effet de la tension superficielle, de sorte que le noyau pouvait se présenter comme une goutte d'une forme molle, instable, prête à se diviser en deux à la moindre pichenette (comme l'impact d'un neutron). Mais il y avait un autre problème. Lorsque les deux gouttelettes se formaient, elles se repoussaient fortement à cause de leur charge électrique, et acquéraient ainsi une grande énergie, environ 200 MeV au total ; d'où venait l'énergie ? Heureusement, Lise Meitner se rappelait comment calculer la masse des noyaux à partir de ce qu'on appelle la formule de masse, et de cette façon elle trouva que la masse des deux fragments serait plus petite que celle du noyau d'uranium initial d'une quantité égale à environ le cinquième de la masse du proton. Or, à chaque fois que de la masse disparaît, de l'énergie apparaît, selon la formule d'Einstein $E = mc^2$, et un cinquième de la masse du proton correspond justement à 200 MeV. C'était donc là l'origine de l'énergie, tout concordait. »

Deux jours plus tard, Frisch retourne à Copenhague et raconte à Bohr en quelques mots ce que Lise et lui viennent d'imaginer. « Quels idiots avons-nous tous été, commente Bohr en se frappant le front ! Mais c'est magnifique ! Pas de doute, il faut bien qu'il en soit ainsi ! Avez-vous déjà écrit un article sur le sujet ? » Frisch et Meitner se mettent au travail, affinant le texte lors de longues conversations téléphoniques. Parlant avec un biologiste, Frisch lui demande comment s'appelle le processus

>>>

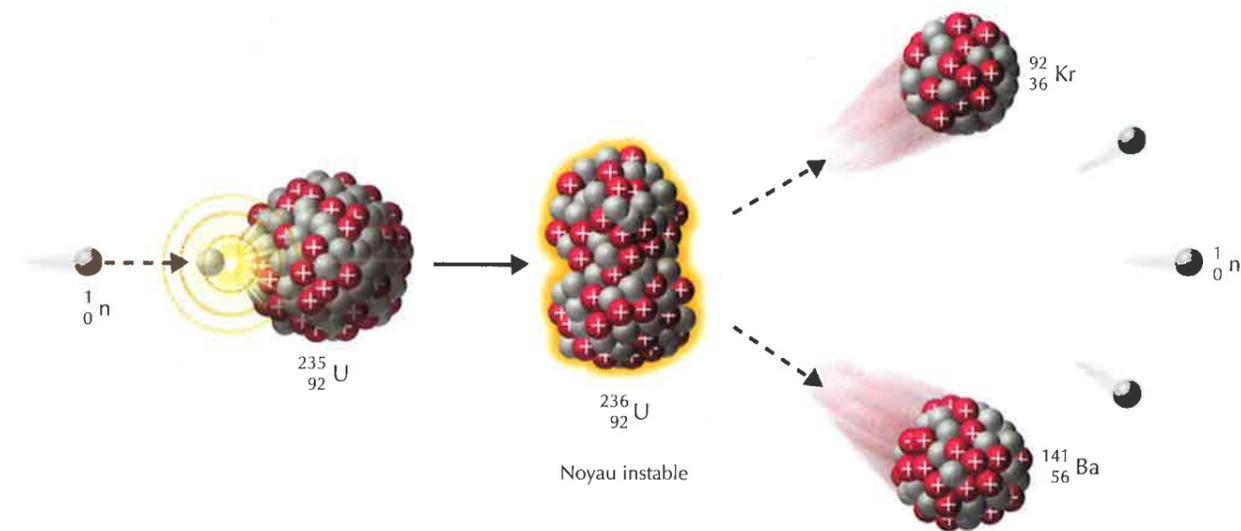


Schéma de la fission nucléaire de l'uranium 235. Un neutron est absorbé par un noyau d'uranium 235, le transformant en un noyau d'uranium 236. Ce dernier, instable, se divise en deux éléments légers (krypton 92 et baryum 141) appelés fragments de fission, et libère trois neutrons. Des rayons gamma de haute énergie (non indiqués sur la figure) sont également produits. (Source : vevansphysics.wikispaces.com)