

Qui a découvert la fission nucléaire ?

Jacques Treiner (jtreiner@orange.fr)
Ancien professeur à l'Université Pierre et Marie Curie, Paris

En novembre 1945, l'Académie Nobel attribua le prix de chimie à Otto Hahn pour la « découverte de la fission des noyaux lourds », découverte faite en décembre 1938 à Berlin. Or le prix Nobel aurait dû être attribué conjointement à Lise Meitner, avec laquelle Hahn avait travaillé pendant plus de 30 ans à Berlin.

En effet, si Otto Hahn identifia, en tant que chimiste, la cassure du noyau d'uranium, c'est Lise Meitner qui comprit – avec son neveu Otto Frisch – le processus physique en jeu, et notamment l'origine de l'énergie libérée lors d'une fission.

C'est donc l'occasion de se demander : qui a découvert la fission nucléaire ?

Qu'est-ce qu'une découverte ?
Qu'est-ce que comprendre ?

Le texte de cet article reprend en grande partie celui paru dans *Le Bup* n° 984 (mai 2016) pp. 621-633.

Le contexte historique de l'attribution du prix

Le jury Nobel se réunit chaque année en automne, publie la liste des récipiendaires en novembre, et la cérémonie de remise a lieu le 10 décembre, date anniversaire de la mort d'Alfred Nobel. En 1945, le jury reconduisit le vote de l'année 1944 pour le prix de chimie. Mais, en 1944, l'annonce n'avait pas été officiellement faite, car l'élu, Otto Hahn, ne pouvait recevoir le prix : Hitler interdisait aux Allemands de le recevoir, depuis qu'un journaliste pacifiste et antinazi déclaré, Karl von Ossietzky, eût reçu le prix Nobel de la Paix en 1936.

En novembre 1945, l'Allemagne nazie était vaincue, et l'annonce du prix pouvait être faite. Mais il fallut encore un an pour qu'Otto Hahn puisse se rendre en Suède et délivrer sa conférence Nobel. De juillet à décembre 1945, il fut en effet retenu en Angleterre, à Farm Hall, un manoir situé près de Cambridge et appartenant à l'Intelligence Service, avec les principaux scientifiques allemands ayant participé, à divers niveaux de responsabilités, au projet allemand de bombe nucléaire. Une mission de renseignement américaine, dénommée Alsos, avait été mise en place en liaison avec le projet Manhattan, dans le but de réunir les informations sur les progrès allemands en matière de construction de réacteur et de bombe. Cette mission, placée sous la responsabilité scientifique du physicien néerlandais Samuel Goudsmit, accompagna les troupes alliées depuis le débarquement en Italie en 1943, réunit les principaux responsables du projet et les transféra d'abord en France, puis en Belgique, et enfin à Farm Hall. L'un des objectifs était tout simplement de les éloigner de la progression des troupes russes. Il s'agissait

aussi de déterminer où en était l'état des connaissances des Allemands en matière d'arme nucléaire. C'est la raison pour laquelle les parties communes de Farm Hall furent truffées de microphones. Les principales conversations des « détenus » furent ainsi enregistrées, transcrites puis transférées aux responsables du projet Manhattan. Ces transcriptions, assorties de commentaires extrêmement détaillés d'un physicien nucléaire américain, Jeremy Bernstein, ont été publiées sous le titre *Hitler's Uranium Club*^(a).

Étaient présents à Farm Hall : Otto Hahn, Walther Gerlach, Werner Heisenberg, Paul Harteck, Carl Friedrich von Weizsäcker, Karl Wirtz, Erich Baage, Horst Korsching, Kurt Diebner et Max von Laue. Leur éventail politique allait de gens proches du régime, tels Gerlach, à d'autres qui le voyaient comme un mal provisoire et peut-être nécessaire, jusqu'à un opposant déclaré comme von Laue. À la lecture de leurs conversations, on les sent inquiets pour leurs familles, incertains sur leur avenir, mais sûrs, au départ, de détenir une monnaie d'échange avec leurs connaissances en physique nucléaire. Alors lorsqu'ils apprennent à la BBC, le 6 août 1945, qu'une bombe d'une puissance inégalée a été larguée sur Hiroshima, ils n'en croient pas leurs oreilles, et, dans les premiers moments, ne peuvent accepter qu'il s'agisse bien d'une bombe atomique. Comment ! Les Américains ont réussi là où ils ont échoué ? ! La science allemande, qui avait raflé le tiers des prix Nobel de physique depuis leur création, pilier de la science européenne, donc mondiale, ne pouvait qu'être en avance sur la science américaine, balbutiante dans les grandes avancées du siècle – relativité et mécanique quantique –, et voilà qu'un démenti cinglant et



Otto Hahn et Lise Meitner dans l'Institut de chimie de l'université de Berlin, en 1919.

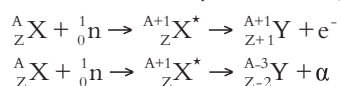
sanglant les remettait à leur place. Jusque-là, ils étaient vaincus en tant qu'Allemands, ils se découvrent dorénavant vaincus en tant que physiciens : leur monnaie d'échange s'évanouit, les Américains en savent à l'évidence plus qu'eux. Comment se reconstruire ? Comment affronter l'échec ? Au fil des jours, on suit l'évolution de leur état mental.

L'issue viendra de Weiszäcker, descendant d'une lignée prestigieuse de diplomates, qui propose à ses codétenus l'idée que, finalement, s'ils n'ont pas réussi à faire la bombe, c'est qu'ils n'avaient peut-être *pas vraiment* envie de la faire ? N'est-ce pas une chance de ne pas l'avoir faite ? Car, après la fin de la guerre, une fois l'Allemagne réintégrée dans le giron des démocraties, ils pourront se prévaloir d'une position morale forte : eux étaient avec le diable, certes, mais ils ne lui ont pas fourni l'arme terrible qui aurait pu le faire gagner, tandis que leurs collègues travaillant pour les démocraties ont construit cette bombe terrible qui a été larguée sur des civils ! Qui, alors, a le plus de sang sur les mains ? Cette reconstruction morale *a posteriori* – d'abord contestée notamment par le responsable officiel du projet allemand, Walther Gerlach, qui ne supporte pas que l'on mette en doute sa volonté de réussir – sera finalement adoptée par tous, car elle leur permet de gommer un passé dérangeant. Attitude renforcée lorsqu'ils apprennent, toujours à la BBC, que le prix Nobel de chimie est délivré à Otto Hahn, quelques mois après le largage des bombes sur Hiroshima et Nagasaki.

Retour en arrière : l'absorption des neutrons par les noyaux

Ce qui nous amène à reprendre toute l'histoire de la découverte de la fission nucléaire.

Prenons comme point de départ la découverte du neutron par Chadwick, en 1932. Cette découverte ouvrit une perspective nouvelle à la physique nucléaire de l'époque. En effet, on disposait, avec cette particule neutre, d'un outil pour aller explorer au plus près le noyau atomique, puisqu'elle pouvait s'en approcher, jusqu'à y être absorbée, alors qu'un proton ou une particule alpha subit la répulsion coulombienne des protons du noyau. Inspiré par la découverte de la radioactivité artificielle par les Joliot à Paris en 1934, Enrico Fermi constitua à Rome un groupe de jeunes physiciens (Segré, Rasetti, Pontecorvo, Amaldi) qui entreprit de bombarder tous les noyaux de la table des éléments par des neutrons, et de provoquer ainsi des transformations nucléaires. Le neutron peut être absorbé par un noyau de masse atomique A , formant un isotope $A+1$ dans un état excité. Ce noyau se désexcite soit par émission bêta – auquel cas on obtient un isotope de l'élément suivant du tableau périodique – soit par émission d'une particule alpha – auquel cas on obtient un isotope de l'élément décalé de deux colonnes. Ces transformations peuvent se représenter par les équations suivantes (l'étoile symbolise un état excité, e^- un électron, α un noyau d'hélium)^(b) :



Au cours de ces études, l'équipe se demande quelles sont les meilleures conditions pour que le neutron soit absorbé par un noyau, et pour cela interpose sur le chemin du neutron divers obstacles, de façon à changer sa vitesse. Et un matin, Fermi, qui avait prévu d'interposer une feuille de plomb entre la source de neutrons et le matériau à irradier, est pris d'un mouvement brusque, incontrôlé, non préparé – raconté par la suite comme un de ces moments de jaillissement spontané d'une idée juste – et introduit à la place un bloc de paraffine. À la surprise de toute l'équipe, l'absorption, mesurée par la désintégration des noyaux produits dans la cible, augmente à des taux jamais vus auparavant. Chacun rentre chez soi pour le déjeuner – c'était la règle imposée par « le patron » – et dans l'après midi, Fermi revient avec l'explication : la paraffine contient beaucoup d'hydrogène. Lors des chocs avec ces noyaux légers, le neutron cède peu à peu son énergie, un peu comme, au jeu de boules, une boule cède son énergie lors d'un choc avec une autre boule. En revanche, dans le cas d'un noyau de plomb, d'une inertie beaucoup plus grande, le neutron rebondit élastiquement : il conserve son énergie. Or la longueur d'onde de l'onde quantique associée au neutron est d'autant plus grande que le neutron est lent (c'est la relation de de Broglie $\lambda = h/p$, avec h la constante de Planck et p la quantité de mouvement du neutron), et l'extension spatiale de l'onde est au moins de l'ordre de cette longueur d'onde. En conséquence, le neutron « explore » une plus grande région de l'espace autour de lui lorsqu'il





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 Mendeleïev, 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 chimique 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

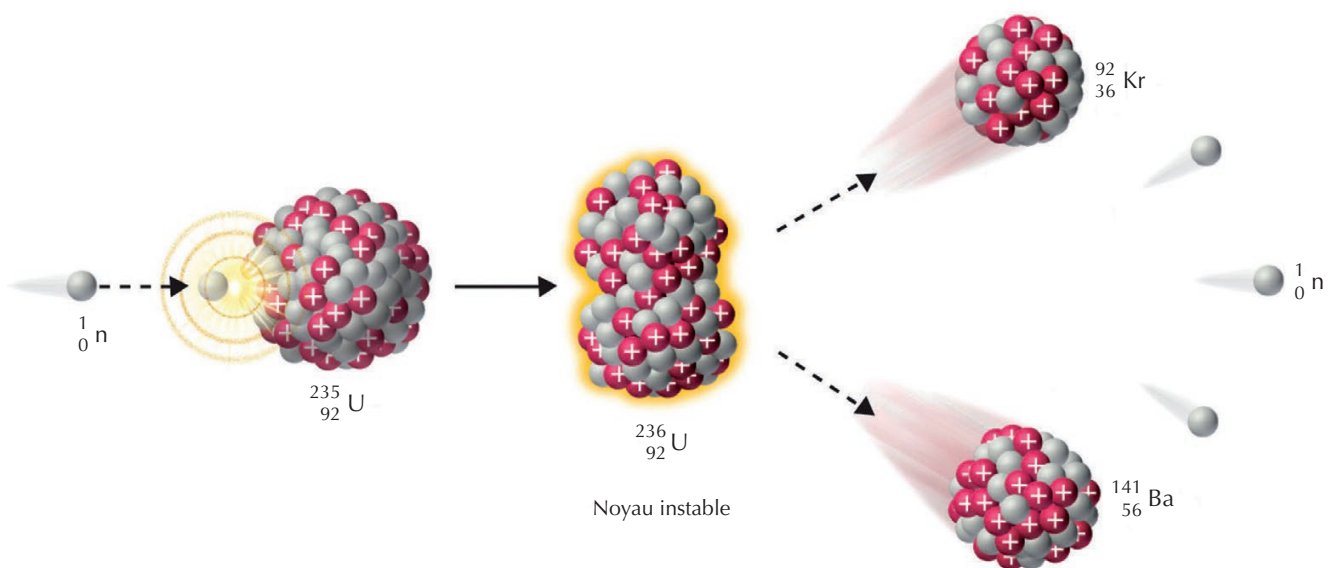


Schéma de la fission nucléaire de l'uranium 235. Un neutron est absorbé par un noyau d'uranium 235, le transformant en un noyau d'uranium 236. Ce dernier, instable, se divise en deux éléments légers (krypton 92 et baryum 141) appelés fragments de fission, et libère trois neutrons. Des rayons gamma de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

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 tronc 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





par lequel une cellule se divise en deux. « La fission », répond celui-ci. C'est ainsi que le terme « fission nucléaire » fut introduit dans l'article, puis universellement accepté. Quelques semaines plus tard, tous les groupes qui, de par le monde, travaillaient sur cette physique avaient confirmé les résultats du groupe de Berlin et accepté l'interprétation de Meitner et Frisch.

Qu'est-ce que « comprendre » ?

Nous pouvons à présent aborder notre interrogation initiale : qui a découvert la fission nucléaire ?

On pourrait dire que la fission est découverte lorsqu'on s'aperçoit que l'absorption d'un neutron par un noyau d'uranium produit un noyau de baryum. Mais, au sens strict, ce qui est observé, c'est l'impossibilité d'identifier – au moyen de la technique d'entraînement décrite plus haut – un autre noyau que le baryum. Cette impossibilité est *interprétée* comme une cassure du noyau d'uranium. Mais Hahn lui-même, dans son article, évoque la possibilité de « coïncidences inhabituelles », et demande à Meitner de trouver une *explication* quelconque : il n'est donc pas absolument sûr de ce qu'il a observé car il n'en a pas l'explication !

Le malaise que l'on perçoit chez Hahn n'est pas anodin, il renvoie à la nature même du travail scientifique, qui ne consiste pas à accumuler des « faits », mais bien à concevoir des « explications » qui légitiment les faits. L'expérimentation et l'observation viennent faire le tri entre les diverses explications possibles d'un phénomène. Il peut certes s'écouler beaucoup de temps entre la formulation d'une conjecture théorique et le verdict de l'expérience – laquelle, bien sûr, appelle d'autres conjectures. L'observation des satellites de Jupiter par Galilée en 1610 confirme à ses yeux la vision héliocentrique de Copernic publiée en 1543. La découverte de la supraconductivité en 1911 par Gilles Holst au laboratoire de Kammerlingh Onnes ne recevra d'explication qu'en 1956 par la théorie BCS^(d), mais il s'agissait à l'époque de répondre à la question : comment un métal conduit-il l'électricité à très basse température^(e) ? Dans le cas de la fission, quelques jours seulement ont séparé l'observation de Hahn et Strassmann de l'explication de Meitner et Frisch.

Une explication permet de créer une représentation abstraite de la réalité, qui fonctionne... comme la réalité. En ce sens,



Fritz Strassmann, Lise Meitner et Otto Hahn (de gauche à droite).

comprendre, c'est être capable de recréer le monde par la pensée. Une bonne explication – une bonne théorie, si l'on préfère – doit répondre à trois critères :

1. Elle doit s'appliquer au plus grand nombre de phénomènes possible, en les mettant en relation les uns avec les autres.
2. Elle doit permettre de faire des prédictions testables.
3. Elle doit être difficile à modifier.

Illustrons ces trois conditions avec le cas de la fission.

En expliquant l'origine de l'énergie cinétique des fragments de fission par la perte de masse, selon la formule d'Einstein, Meitner et Frisch réalisent une synthèse d'autant plus convaincante qu'elle est inattendue. Un tel accord ne peut être fortuit, il rapproche l'inconnu du connu en unifiant deux secteurs de la physique, sans qu'il soit nécessaire d'inventer un mécanisme spécifique. Il permet aussi de considérer l'émission alpha comme une fission... très asymétrique.

Le deuxième critère est rempli une première fois quelques jours seulement après la discussion de Meitner et Frisch : l'observation directe par Frisch des fragments de fission animés de grandes vitesses. Mais d'autres conséquences plus subtiles suivront bientôt, comme la compréhension par Bohr du fait que c'est l'uranium 235 qui fissionne sous l'effet des neutrons lents, pas l'uranium 238. Détaillons un peu ce point.

Lorsqu'un noyau se déforme, son énergie de surface augmente et son énergie coulombienne diminue (car les protons sont en moyenne plus éloignés les uns des autres que dans une configuration compacte). Pour de petites déformations, c'est l'énergie de surface qui l'emporte, et c'est ce qui stabilise le noyau et l'empêche de se fragmenter. Mais pour de larges déformations, la diminution de l'énergie coulombienne finit par l'emporter, car elle varie comme le carré du nombre de charges. Il existe donc une « barrière de fission », de quelques MeV, que le noyau doit traverser pour fissionner. Considérons à présent le cas de l'uranium. L'uranium 236 qui résulte de l'absorption d'un neutron par l'uranium 235 est un noyau pair-pair, alors que l'uranium 239 est un noyau pair-impair. Or un noyau pair-pair a une énergie de liaison plus grande qu'un pair-impair, donc l'énergie d'excitation de l'uranium 239 est inférieure à celle de l'uranium 236. Les quelques MeV de différence suffisent pour que l'uranium 239 ne puisse traverser la barrière et fissionner ! Lorsqu'il absorbe un neutron, il subit deux désintégrations bêta qui conduisent à un noyau de plutonium 239.

Le troisième critère d'une bonne théorie est bien rempli. Il est impossible de trouver une explication du phénomène de fission qui s'intègre de façon aussi harmonieuse à tout ce que l'on sait déjà, tout en prévoyant des phénomènes nouveaux confirmés par l'expérience.

Conclusion

Ces considérations conduisent à s'interroger sur la non-attribution du prix Nobel de physique à Lise Meitner. Son rôle déterminant dans toutes les phases préparatoires de la découverte, et son rôle non moins déterminant dans la compréhension du phénomène ne font aucun doute. D'ailleurs Bohr lui-même a fait tout ce qui était en son pouvoir pour tenter, sans y parvenir, de convaincre l'Académie Nobel de lui attribuer le prix, et ceci pendant plusieurs années après l'attribution du prix Nobel de chimie à Otto Hahn. Comment expliquer une telle injustice ? Nous n'aborderons pas ici cette question, qui relève plus de la sociologie, voire de la politique, que de la science...

Hahn, Strassmann et Meitner finirent par recevoir ensemble, en 1966, la plus haute distinction délivrée par le Département de l'énergie des États-Unis (le DOE), le prix Enrico Fermi. Hahn et

Meitner sont cités pour « leurs recherches pionnières dans l'étude de la radioactivité naturelle et leurs intenses études expérimentales culminant avec la découverte de la fission ». Ce prix est d'habitude délivré lors d'une cérémonie qui se tient à Washington. Mais ni la santé de Meitner ni celle de Hahn ne leur permettaient de faire ce déplacement (ils avaient alors plus de 85 ans). Il fut décidé que la cérémonie aurait lieu à Vienne, et que Glenn Seaborg, alors président du DOE, se déplacerait pour remettre le prix. Mais Meitner ne put s'y rendre, et ce fut Frisch qui vint à sa place. Meitner écrivit à Hahn qu'elle était heureuse pour lui et Strassmann, mais qu'elle éprouvait quant à elle des sentiments contradictoires, tout en ressentant une « forme de plaisir ». « Pourquoi seulement une forme de plaisir ? », demanda Hahn à Frisch. Pensait-elle avoir quitté Berlin trop tôt ? Pas du tout, répondit Frisch. Elle avait des sentiments contradictoires à cause de la bombe. ■

(a) La pièce *Fission*, jouée au théâtre de la Reine Blanche du 8 avril au 22 juin 2016, retrace cet épisode, en le replaçant dans le contexte de la découverte de la fission nucléaire et de la fission de la communauté des physiciens européens consécutive à l'arrivée au pouvoir des Nazis.

(b) L'antineutrino émis lors de la première réaction n'est pas représenté ici (il n'était pas connu à l'époque).

(c) D'où l'importance de la distinction entre neutrons lents, « thermiques », c'est-à-dire dont l'énergie cinétique correspond à l'agitation à la température ambiante, et neutrons « rapides », tels qu'ils émanent d'une transformation nucléaire. Un autre phénomène viendra ensuite compléter cette première explication, lorsqu'on s'aperçoit que l'absorption des neutrons lents est très sélective. Le noyau $A+1$ comporte des états excités de basse énergie, appelés résonances de neutron ; et lorsque le neutron incident possède l'énergie correspondant à l'une de ces résonances, la section efficace de capture devient très grande.

(d) Bardeen, Cooper et Schrieffer.

(e) On pouvait penser que la résistivité augmenterait à l'infini car, à basse température, les électrons ne pourraient plus quitter les atomes ; ou que la résistivité s'annulerait car l'agitation thermique ne viendrait plus gêner le mouvement des électrons. Il est intéressant de constater que la découverte de la supraconductivité ne valut pas de prix Nobel à son découvreur, tandis que la théorie BCS fut, elle, récompensée.

Bibliographie

- O. Hahn et F. Strassmann, "Concerning the Existence of Alkaline Earth Metals Resulting from Neutron Irradiation of Uranium", traduction de l'article original de janvier 1939, dans *American Journal of Physics* (janvier 1964), pp. 9-15.

- O. Frisch, *What little I remember*, Cambridge Paperbacks (1979), Canto (1991).

- R. Lewin Sime, *Lise Meitner, A life in physics*, University of California Press (1996).

- B. Fernandez, *De l'atome au noyau*, Ellipses (2006).

- O. Treiner et J. Treiner, *Fission* (2008), Éditions Nucléon.