

## Qui a découvert la fission nucléaire ?

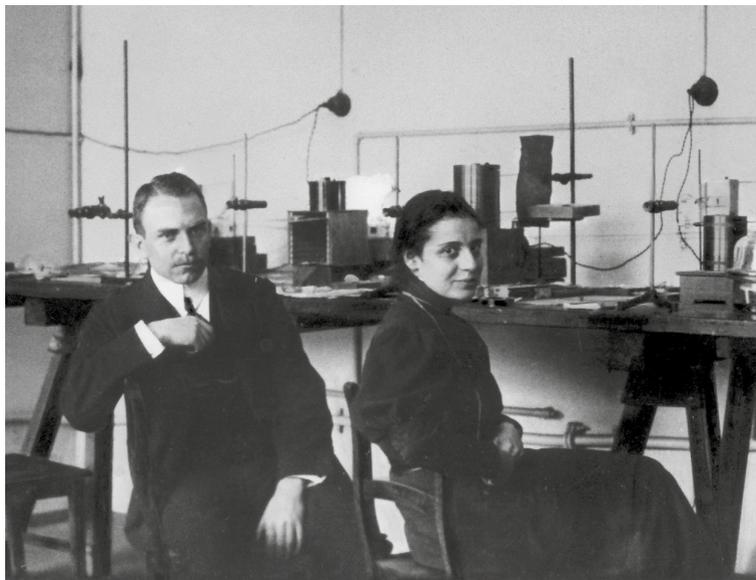
par Jacques TREINER  
Sciences Po - 75007 Paris  
jtreiner@orange.fr

**E**N 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. Cette attribution revêtait plusieurs caractères étonnants : d'une part, le prix était attribué au titre de l'année 1944, année où le Nobel de chimie n'avait pas été formellement attribué ; d'autre part, au moment de l'attribution, l'Académie Nobel ne savait pas officiellement où se trouvait le récipiendaire, car celui-ci avait été arrêté par les Alliés en juillet 1945, assigné à résidence et maintenu au secret avec une dizaine d'autres scientifiques allemands ; enfin, et c'est surtout ce dernier aspect qui va nous intéresser, le prix Nobel aurait dû être attribué conjointement à Lise Meitner, avec laquelle Hahn avait travaillé pendant plus de trente ans à Berlin. Physicienne d'une stature comparable à celle de Marie Curie, elle avait été à l'origine de la série d'expériences ayant conduit à la fameuse découverte fin 1938, mais elle fut pourtant écartée de la récompense. Pour résumer notre interrogation de façon concise, disons qu'Otto Hahn identifia, en tant que chimiste, la cassure du noyau d'uranium, mais que 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 ?

### 1. LE CONTEXTE 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<sup>(1)</sup>.

(1) Karl von Ossietzky, arrêté par les nazis, fut interné dans un camp, et mourut en 1938 d'une tuberculose contractée à la suite de mauvais traitements. Par la suite, deux chimistes pourtant proches du régime, Richard Kuhn en 1938 et Adolf Boutenandt en 1939, furent contraints à refuser le prix Nobel qui leur avait été attribué. Il en fut de même pour Gerhard Domagk, qui reçut le prix Nobel de médecine en 1939.



Otto Hahn (1879-1968) et Lise Meitner (1878-1968)  
dans leur laboratoire

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 spéciale, 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. Placée sous la responsabilité scientifique du physicien néerlandais Samuel Goudsmit, la mission avait accompagné les troupes alliées depuis le débarquement en Italie en 1943. C'est elle qui localisa, au printemps 1945, le site de la pile atomique allemande à Haigerloch, qui réunit les principaux responsables 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 chambres de Farm Hall furent truffées de microphones, et que les principales conversations des « détenus » furent enregistrées, traduites en anglais et retranscrites par une équipe de

secrétaires, puis transférées aux responsables du projet Manhattan. Ces transcriptions sont accessibles depuis le milieu des années 1990. Une traduction française en fut faite, mais la meilleure édition, sous le titre *Hitler's Uranium Club*, demeure celle effectuée sous la responsabilité d'un physicien nucléaire américain Jeremy Bernstein, qui a assorti les transcriptions de commentaires scientifiques extrêmement détaillés<sup>(2)</sup>.

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, tel 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 suit leur état mental jour après jour. Ils sont inquiets pour leurs familles, incertains sur leur avenir, mais pensent détenir une monnaie d'échange avec leurs connaissances en physique nucléaire. Mais on les sent toucher le fond lorsqu'ils apprennent à la BBC, le 6 août, qu'une bombe d'une puissance inégalée a été larguée sur Hiroshima et a détruit la ville. 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 rafflé le tiers des prix Nobel 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 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, passionnante, de leur état mental. Car ils vont trouver l'issue. Elle viendra de Weizsäcker, 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, alors 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, Walter Gerlach, qui ne supporte pas que l'on mette en doute sa volonté de

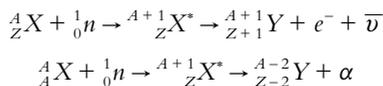
(2) La pièce *Fission*, au programme du théâtre de la Reine Blanche du 8 avril au 22 juin 2016, retrace cet épisode, en le replaçant dans le contexte de la découverte de la fission nucléaire et de la fission de la communauté des physiciens européens consécutive à la venue au pouvoir des nazis.

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.

## 2. 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 James Chadwick, en 1932. Ernest Rutherford avait dès 1920 spéculé sur l'existence d'un état composite proton-électron, hypothèse qu'il formula explicitement lors d'une conférence devant la Royal Society, si bien que son entourage baignait dans cette idée depuis une dizaine d'années. Est-ce cela qui fit que c'est Chadwick qui identifia formellement le neutron, alors que les Joliot, à Paris, avaient tout ce qu'il fallait dans leurs expériences pour le faire eux-mêmes avant Chadwick ? C'est probable. Toujours est-il que cette découverte ouvrit une perspective nouvelle à toute la physique nucléaire de l'époque. En effet, on disposait, avec cette particule neutre, d'un outil pour aller explorer au plus près la structure du noyau atomique, puisqu'elle pouvait s'en approcher, jusqu'à y être absorbé, alors qu'un proton ou une particule alpha subit la répulsion coulombienne des protons du noyau. C'est Enrico Fermi qui comprit l'importance de cet outil d'investigation, ce qui le conduisit à constituer un groupe de jeunes physiciens (Emilio Gino Segrè, Franco Rasetti, Bruno Pontecorvo, Edoardo Amaldi) pour développer cette idée sur le plan expérimental : le « groupe de Rome » était constitué. L'équipe entreprit de bombarder tous les noyaux de la table des éléments par des neutrons, et de provoquer ainsi des transformations nucléaires. Par exemple, le neutron peut être absorbé par un noyau de masse atomique  $A$ , ce qui donne un isotope  $A + 1$  dans un état excité. Ensuite, ce noyau se désexcite soit par émissions 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,  $\alpha$  un noyau d'hélium et  $\nu$  un neutrino) :



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 jour, Fermi, qui avait prévu d'interposer une feuille de plomb entre la source de neutrons et le matériau à irra-

dier, 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, qui est mesurée par la désintégration des noyaux produits, augmente à des taux jamais vus auparavant. Les mesures prennent la matinée, puis chacun rentre chez soi pour le déjeuner – c'était la règle imposée par « le patron ». 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, beaucoup plus lourd, le neutron ne fait que rebondir, car il est incapable de mettre en mouvement un noyau d'une inertie tellement plus grande que la sienne : il garde donc 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. D'où l'importance de la distinction entre neutrons lents, « thermiques », c'est-à-dire dont l'énergie cinétique correspond à la température ambiante, et neutrons « rapides », tels qu'ils émanent d'une transformation nucléaire. Un autre phénomène viendra ensuite compléter cette première explication, lorsque l'on s'aperçoit que l'absorption des neutrons lents est très sélective. Le noyau  $A + 1$  comporte des états excités de basse énergie, appelés résonance 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.

L'équipe de Rome explore ainsi, de façon systématique, tous les noyaux de la table des éléments, jusqu'à l'uranium. Fermi pense fabriquer ainsi 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. Ils s'installent à New York, Fermi étant accueilli par l'Université Columbia. Mais pendant quelques mois, son activité de recherche a été ralentie.

D'autres groupes ont suivi la piste qu'il a ouverte, et sondent les noyaux de la table des éléments en les bombardant de neutrons. 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. Comment procèdent-ils ? Comme les nouveaux noyaux sont produits en petite quantité, il faut les concentrer. La signature est toujours l'activité nucléaire, mesurée à l'aide de compteurs. 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) distincts et, d'après la nature du rayonnement émis, deviner la nature du noyau père. Diverses méthodes chimiques sont utilisées pour l'enrichissement, par exemple celle que Marie Curie a utilisée pour identifier le radium : la cristallisation fractionnée. On utilise différents types de solvants, en général acides, 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.

### 3. LA FISSION DE L'URANIUM

Dans le cas de l'uranium, les candidats possibles sont suggérés par les deux réactions rappelées ci-dessus : des transuraniens, obtenus par désintégration bêta, et des noyaux plus légers, obtenus par émission alpha. Or, justement, l'addition de baryum comme entraîneur semble suggérer que l'un des produits de fission est du radium, car il est entraîné par addition de baryum. Mais pour cela, il faudrait que le noyau d'uranium intermédiaire formé émette deux particules alpha : en effet, le noyau de radium possède quatre-vingt-huit protons, soit quatre 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 à 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 trente ans. Mais elle reste en contact avec Otto 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 rejoints quelques années auparavant] que nous n'allons en parler à personne d'autre qu'à toi ». « Avant que l'Institut

  
THÉÂTRE  
LA REINE  
BLANCHE

08 AVRIL > 22 JUIN 2016

# FISSION

DE JACQUES TREINER ET OLIVIER TREINER

MISE EN SCÈNE ET COSTUMES VINCENT DEBOST

SCÉNOGRAPHIE PASCAL CROSNIER

ASSISTANTE À LA MISE EN SCÈNE ROXANE DRIAY

MUSIQUE RAPHAËL TREINER

LUMIÈRES PAUL HOURLIER

DISTRIBUTION ROMAIN BERGER, BENOIT DI MARCO,

CHRISTIAN FRANÇOIS, ALEXANDRE LACHAUX,

STÉPHANE LARA, MARIE-PAULE SIRVENT

CRÉATION ET PRODUCTION LA REINE BLANCHE

© Webproduction



RÉSERVATIONS: 01 40 05 06 96  
2BIS PASSAGE RUELLE - 75018 PARIS  
M° LA CHAPELLE/MARX DORMOY  
[WWW.REINEBLANCHE.COM](http://WWW.REINEBLANCHE.COM)



**THÉÂTRE  
LA REINE  
BLANCHE**

UNE PRODUCTION  
LA REINE BLANCHE

**DU 8 AVRIL AU 22  
JUIN 2016  
À 21H**

**LES DIMANCHES  
À 17H**

**LES MERCREDIS  
ET VENDREDIS  
À 21H**

**Tarif**

Plein: 20€  
Réduit: 15€



## FISSION

DE JACQUES TREINER ET OLIVIER TREINER

MISE EN SCÈNE ET COSTUMES **VINCENT DEBOST** · SCÉNOGRAPHIE  
**PASCAL CROSNIER** · ASSISTANTE À LA MISE EN SCÈNE **ROXANE DRIAY**  
MUSIQUE **RAPHAËL TREINER** · AVEC **ROMAIN BERGER, BENOIT DI MARCO,**  
**CHRISTIAN FRANÇOIS, ALEXANDRE LACHAUX, STÉPHANE LARA, MARIE-  
PAULE SIRVENT**

En 1945, les principaux responsables du projet de bombe nucléaire allemand, le Club de l'uranium d'Hitler, sont enlevés par les Alliés et placés au secret dans un manoir anglais, Farm Hall, où leurs conversations sont enregistrées à leur insu par les services secrets anglais.

Le 6 août 1945, ils apprennent à la radio que les Américains ont largué une bombe sur Hiroshima. Vaincus comme Allemands, ils se découvrent vaincus sur le plan scientifique. Démoralisés, isolés du monde dans le huis-clos de Farm Hall, sans idée du sort qui les attend, ils tentent de deviner de quoi l'avenir sera fait et d'imaginer comment s'y insérer.

Trouveront-ils dans leur échec à construire une bombe de quoi s'affranchir de leur participation au régime nazi ? Parviendront-ils à réinterpréter leur propre passé et en faire un conte acceptable ?

Au cours de cette journée tragique, ils se remémorent les événements qui les ont amenés à Farm Hall : *la fission nucléaire* en 1938, dans le contexte de la guerre mondiale qui couvait, conduit à *la fission de la communauté des savants*, dans leur course effrénée pour détenir avant l'autre l'arme atomique.

**Réservations** : 01 40 05 06 96  
reservation@reineblanche.com

**ATAGLIO**  
AGENCE DE THÉÂTRE

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 relatant leurs derniers travaux. Cet article est d'une curieuse construction. Après avoir décrit leurs expériences, il donne une première interprétation en termes de formation d'isotopes du radium. Puis, aux deux tiers de l'article, il opère un changement brutal en décrivant ce qu'ils ont fait pour tenter d'identifier avec précision la nature chimique des éléments radioactifs qu'ils ont désignés jusque là comme des isotopes du radium. Il détaille à nouveau la méthode de cristallisation fractionnée utilisant le baryum comme «entraîneur» et explique qu'il ne parvient à obtenir aucun enrichissement : les phases se comportent, du point de vue de leur radioactivité, de façon identique. 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 en spéculant sur le noyau complémentaire possible.

L'origine de la prudence de l'article de Hahn et Strassmann est donc clairement identifiée : aucun physicien de l'époque n'a jamais 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 quelques jours plus tard, lors d'une promenade dans la neige avec 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,

intitulé *What little I remember*. Frisch, jeune physicien, fait un séjour à Copenhague, et rend visite à sa tante en Suède pour Noël. Lorsqu'il arrive, il la trouve absorbée par la lettre de Hahn du 19 décembre qui fait état de la production de baryum. Elle lui décrit la situation, et la première réaction du jeune physicien est de se montrer 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, qui peut se déformer et se diviser. « 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 arrê tâmes 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 acquerraient 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, très excité, et raconte en quelques mots à Bohr 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 on 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.

#### 4. QU'EST-CE QUE « COMPRENDRE » ?

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

Au sens étroit du terme, 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 convaincu de ce qu'il a observé ! Cette nécessité d'une explication permettant d'assurer ce que l'on observe est essentielle : elle est au cœur de la démarche scientifique. Une explication permet de se faire une image mentale de la réalité, qui fonctionne... comme la réalité. En ce sens, comprendre, c'est être capable de recréer le monde par la pensée. Le *but* de la science ne se situe pas dans l'observation – qui n'est qu'un moyen –, mais dans la recherche des *bonnes explications*. L'observation et l'expérimentation viennent faire le tri entre les diverses explications possibles d'un phénomène. On peut observer le ciel pendant des siècles sans produire aucune science. Ce n'est que lorsqu'on s'interroge sur *la raison* pour laquelle certains objets célestes ont des trajectoires différentes des autres (les planètes par rapport aux étoiles) qu'on se situe dans une perspective propice à la production de connaissances.

Une bonne explication – une bonne théorie, si l'on préfère – doit répondre à trois critères :

- ◆ Elle doit s'appliquer au plus grand nombre de phénomènes possible, en les mettant en relation les uns avec les autres.
- ◆ Elle doit permettre de prévoir des phénomènes non encore observés.
- ◆ 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 ramène de l'inconnu à 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. Cela satisfait un « principe d'économie » rassurant.
- ◆ 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 s'en

suiront bientôt, comme la compréhension 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. Partant d'une situation d'équilibre sphérique, lorsqu'un noyau se déforme, son énergie de surface augmente (car sa surface augmente) et son énergie coulombienne diminue (car les protons sont en moyenne plus éloignés les uns des autres que dans une configuration sphérique). Pour de petites déformations, c'est l'énergie de surface qui l'emporte, et c'est ce qui stabilise le noyau à l'équilibre 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 énergétique de fission», de quelques mégaélectronvolts (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-236 est plus grande que celle de l'uranium-239. Les quelques MeV de différence suffisent pour que l'uranium-239 ne fissionne pas ! Lorsqu'il absorbe un neutron, il subit deux désintégrations bêta qui conduisent à un noyau de plutonium-239 qui, lui, est fissile.

- ◆ Le troisième critère d'une bonne théorie est bien rempli. Il n'est pas facile – en fait, 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 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 de la sociologie plus que de la science...

Hahn, Strassmann et Meitner finirent par recevoir ensemble, en 1966, la plus haute distinction délivrée par la Société américaine de physique, le prix 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

ment (elle était née en 1878 et lui en 1879). Il fut décidé que la cérémonie aurait lieu à Vienne en septembre 1966, et que Glenn Seaborg, alors président de la Commission de l'énergie atomique des États-Unis, 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 ne pensait pas avoir quitté Berlin trop tôt, elle était reconnaissante à tous ceux qui l'avaient aidée à partir. Elle avait des sentiments contradictoires à cause de la bombe.

## BIBLIOGRAPHIE

- ◆ B. Goldschmidt, «La course à la réaction en chaîne», *Bull. Un. Phys.*, vol. 94, n° 823, p. 663-678, avril 2000.
- ◆ O. Frisch, *What little I remember*, Cambridge Paperbacks, 1979, Canto, 1991.
- ◆ Ruth 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*, 2013.



**Jacques TREINER**

*Physicien*

*Ancien professeur*

Université Pierre et Marie Curie (UPMC)  
Paris