

# LA PARTICIPATION FRANÇAISE A LA DECOUVERTE DE LA REACTION EN CHAINE

par

**Bertrand Goldschmidt**

REPRESENTANT DE LA FRANCE AUPRES DE L'AIEA

Une des caractéristiques de la science et de la technologie modernes est l'extraordinaire imbrication des contributions des équipes travaillant le même problème dans différents pays. Il en résulte qu'il est délicat et parfois présomptueux de chercher à mettre en relief, en l'extrayant de son contexte international, la part apportée à l'ouvrage commun par une seule équipe. Je vais néanmoins essayer dans ces quelques lignes de montrer le rôle joué par l'école française dans la suite d'étapes qui devait aboutir à l'extraordinaire mise en marche de la pile de Fermi à Chicago, le 2 décembre 1942; événement primordial du problème atomique, de l'évolution duquel dépend le sort de notre civilisation.

L'aventure atomique a véritablement débuté par la découverte de la radioactivité et du radium par Henri Becquerel et Pierre et Marie Curie en France, à la fin du siècle dernier. Dès ce moment, les dés étaient jetés, la porte de l'alchimie était ouverte et la clef de l'étude de la structure de la matière était à la portée de la science moderne, par une suite d'étapes sur la longue route où nous cheminons encore aujourd'hui et qui fut brillamment éclairée surtout par Ernest Rutherford et Niels Bohr. La dernière et indispensable étape avant la découverte de la fission fut franchie en février 1934 à l'Institut du Radium de Paris, quelques mois avant la mort de Marie Curie. Mettant en jeu les réserves uniques de matériaux radioactifs que Madame Curie avait, pendant plus de trente ans, accumulées avec la patience et la ténacité qui lui étaient propres, son gendre et sa fille Frédéric et Irène Joliot préparent la plus forte source de polonium jusque là disponible, et, exposant de l'aluminium aux rayons de cette source, ils découvrent qu'il s'y produit des atomes d'un isotope radioactif du phosphore, inconnu dans la nature. Ils venaient de découvrir la radioactivité artificielle qui allait permettre à la science de passer du stade de l'alchimie naturelle à celui de l'alchimie dirigée.

Dans sa conférence Nobel en 1935, Joliot prévoyait déjà l'étape suivante: "Si, disait-il, tournés vers le passé, nous jetons un regard sur le progrès accompli par la science à une allure toujours croissante, nous sommes en droit de penser que les chercheurs, brisant ou construisant les atomes à volonté, sauront réaliser des réactions nucléaires en chaînes explosives. Si de telles transmutations arrivent à se



Bertrand Goldschmidt

propager dans la matière, on peut concevoir l'énorme énergie utilisable qui sera libérée".

Peu de temps après la découverte de Joliot en 1934, Enrico Fermi, à Rome, s'était attaqué aux transmutations obtenues par bombardement neutronique et avait montré que dans le cas de l'uranium, au lieu d'arriver à un nouveau corps radioactif, il s'en formait une vingtaine dont on n'arrivait pas à expliquer la nature et l'origine.

Il fallut près de cinq ans pour résoudre cette énigme à laquelle s'attaqua à Berlin Otto Hahn et ses collaborateurs, Lise Meitner et Fritz Strassmann. Ceux-ci, au bout d'un an, croyaient avoir réussi à résoudre le puzzle chimique de l'identification des nouveaux radioéléments en leur donnant des identités allant des dernières cases connues du tableau de Mendéléev à celles de plusieurs éléments inconnus, d'un nombre atomique plus élevé que l'uranium.

L'année suivante, doutant des résultats de Hahn, Irène Curie, assistée du physicien yougoslave Paul Savitch, concentra ses efforts sur l'identification d'un seul de ces radioéléments, pensant qu'il était impossible de s'attaquer à tout le complexe chimique à la fois. Le problème était difficile à résoudre et, par deux fois, Irène Curie proposa une solution qui s'avéra inexacte à l'expérience; mais elle ne se découragea pas, et avec une obstination et une patience dignes de sa mère, elle réussit enfin, en 1938, à démontrer que les propriétés chimiques du radioélément étudié ressemblaient de très près à celles d'un élément connu, le lanthane, situé au milieu de la classification périodique. Cette hypothèse était en contradiction totale avec celle avancée antérieurement par l'école de Berlin.

Convaincus que les résultats d'Irène Curie étaient inexacts, Hahn et Strassmann furent néanmoins conduits par ce dernier travail à vérifier de nouveau leurs conclusions antérieures; ils allaient ainsi aboutir à la vraie piste. Utilisant le même processus de cristallisation fractionnée, qui, quarante ans auparavant, avait permis aux Curie d'isoler le radium, Hahn montra que les radioéléments formés dans l'action des neutrons sur l'uranium se comportent chimiquement exactement comme des éléments appartenant à la région moyenne de la classification périodique. Un mois après la publication de Hahn datant de la fin de l'année 1938, la preuve physique de l'éclatement du noyau d'uranium était donnée en janvier 1939 par Otto Frisch à Copenhague, puis indépendamment, une quinzaine de jours plus tard, par Frédéric Joliot à Paris, suivis par d'autres aux Etats-Unis et en Angleterre.

Un mois plus tard, Joliot et ses deux collaborateurs, Hans Halban et Lew Kowarski, étaient les premiers à découvrir expérimentalement, au Collège de France, le fait primordial que la fission du noyau d'uranium est accompagnée d'une émission de neutrons secondaires.

Du jour au lendemain, la physique atomique cessait d'être seulement le domaine de la recherche fondamentale et l'apanage du chercheur isolé. Une nouvelle élite allait voir le jour et prendre une part croissante à la vie des grandes nations: celle du savant nucléaire conscient de ses responsabilités morales et politiques.

Une ère nouvelle venait de s'ouvrir, où, sur certains fronts de la recherche scientifique, l'avance allait nécessiter une mobilisation de toutes les forces d'un pays, parfois même de plusieurs nations: l'énergie atomique allait en être le premier exemple.

Dès le printemps 1939, les savants des pays les plus avancés avertissent leurs gouvernements et ne ménagent pas leurs efforts pour les convaincre de

l'importance du problème de l'uranium sur les plans civil et militaire et pour obtenir l'aide nécessaire pour poursuivre les études à une plus grande échelle.

Le plus obsédé par la puissance éventuelle de l'arme envisagée est, à cette époque, le physicien hongrois Léo Szilard. Dès le mois de février 1939, il entre en relation, de New York, avec les savants des pays destinés à être alliés dans la guerre, qu'il prévoit avec certitude. Il leur propose de cesser d'un commun accord toute publication sur la fission nucléaire. Je me rappelle la surprise que provoqua, à son arrivée au laboratoire Joliot du Collège de France, un télégramme de plus de cent quarante mots, le plus long que nous ayons jamais vu, envoyé par un collègue de Szilard, et la discussion qui s'ensuit pour savoir s'il serait possible, ou non, d'obtenir un accord général volontaire pour garder le secret sur les résultats des recherches en cours et à venir. La chose paraissait inapplicable en physique nucléaire, jusque là domaine de la science pure par excellence. Le libre échange des connaissances avait toujours été complet et avait parfois même l'aspect d'une course où quelques jours de plus ou de moins dans l'envoi d'une communication à un journal scientifique pouvait représenter pour son auteur la différence entre la gloire de la découverte ou la satisfaction moindre de la confirmation de celle-ci. Ceci venait d'ailleurs d'être le cas pour la découverte des neutrons secondaires publiée le 3 mars 1939 à Paris par l'équipe de Joliot, et une semaine plus tard par Szilard et Fermi à New York.

La proposition dont Szilard avait pris l'initiative ne fut pas complètement comprise ni acceptée, mais peu de mois plus tard, juste avant le début de la guerre, chaque pays commença indépendamment à tenir secret le résultat de ses recherches sur l'uranium.

Les travaux français se poursuivent pendant l'été 1939 et Francis Perrin, qui le premier exposa le principe de la masse critique pour la réaction en chaîne, se joint à l'équipe de Joliot; celle-ci détermine expérimentalement le nombre de neutrons secondaires émis par la fission et l'estime à une valeur comprise entre 3 et 4 qui se révéla trop élevée par la suite. Ces résultats devaient rapidement amener à la conclusion qu'une réaction en chaîne dans l'uranium naturel entraîne l'obligation de mélanger celui-ci avec une substance composée d'éléments légers qui ralentissent les neutrons sans trop les absorber. Ce principe a constitué la base des premières demandes de brevets, déposés en France au début du mois de mai 1939; l'un d'eux est consacré à l'utilisation explosive de l'uranium, les autres sont relatifs aux machines génératrices d'énergie à base d'uranium, qu'on devait nommer plus tard piles ou réacteurs atomiques. Ces brevets, les pre-

miers du genre à avoir été déposés dans le monde, sont reconnus par de nombreux pays. Ils appartiennent à la nation française et constituent une première anticipation des futures armes et des machines actuellement en fonction.

En automne 1939, la guerre est déclarée. La poursuite des travaux s'en trouve encouragée. Il n'est pas question en France, à cette époque, d'envisager la réalisation d'une bombe considérée comme trop difficile, mais plutôt la construction de générateurs d'énergie : les techniciens ne réalisent pas exactement la difficulté des problèmes, et ils considèrent qu'un moteur de sous-marin serait peut-être réalisable en quelques années et présenterait pour la propulsion sous-marine l'énorme avantage de ne pas nécessiter de consommation d'oxygène.

Le problème des ralentisseurs est abordé en commençant par l'hydrogène, mais l'étude du mélange eau ordinaire-uranium montre rapidement que l'hydrogène absorbe trop facilement les neutrons pour convenir. Finalement, l'équipe de Joliot arrive à la conclusion que le meilleur modérateur est l'oxyde de deutérium, l'eau lourde découverte en 1932 par le physicien américain Harold Urey. A la veille de la guerre, elle valait un demi-dollar le gramme et n'était utilisée que pour des recherches scientifiques ; néanmoins, une société industrielle franco-norvégienne d'ammoniaque de synthèse en avait entrepris la fabrication, en l'absence de débouché prévisible, à l'échelle des kilogrammes, en mettant à profit le coût réduit de l'électricité en Norvège et un système d'électrolyse fractionnée lié à la production principale d'ammoniaque.

Le ministre de l'Armement français est mis au courant des recherches et grâce à son appui, une mission secrète part à Oslo en mars 1940, quelques semaines avant l'invasion de la Norvège, pour rapporter cent soixante-cinq litres d'eau lourde, stock unique au monde de cette précieuse substance.

Le gouvernement comprend l'importance du problème et donne à Joliot des facilités exceptionnelles : crédits illimités, possibilité de rappeler des armées tout collaborateur qui lui serait nécessaire. Il amorce, en même temps, une collaboration avec la recherche britannique en envoyant à Londres pendant quelques heures, en avril 1940, un représentant pour y communiquer les premiers résultats français. Parallèlement, des contrats sont passés avec la firme norvégienne productrice pour assurer à la France la totalité de l'eau lourde des années à venir ; un autre contrat en négociation avec l'industrie belge nous aurait réservé la production en uranium du Congo belge, la plus riche source d'uranium du monde à cette date. De plus, une fourniture de six tonnes d'oxyde d'uranium belge est faite à Joliot.

Ainsi, à la fois dans le domaine technique comme dans celui de l'approvisionnement en matières premières, le démarrage de l'effort français apparaît excellent. Il fut malheureusement arrêté dans son essor par l'invasion du pays.

Le laboratoire de Joliot et l'eau lourde sont d'abord repliés à Clermont-Ferrand, puis, finalement, une grave décision est prise à Bordeaux le 16 juin 1940 : Halban et Kowarski partiront en Angleterre avec le précieux produit et se mettront à la disposition des autorités britanniques pour y poursuivre les expériences commencées en France ; Joliot, qui ne se rend pas assez compte du rôle capital qu'il aurait pu jouer dans la poursuite des travaux au Royaume-Uni et aux Etats-Unis, renonce à les suivre, décidant de rester à la tête de son laboratoire dans le pays occupé.

Les Anglais étaient tout aussi conscients de l'importance du problème de l'uranium mais le MAUD Committee créé en avril 1940 pour l'étudier s'était jusque là plus penché sur l'application militaire que sur la réalisation d'appareils générateurs d'énergie. Halban et Kowarski, avec leur eau lourde et leurs projets, furent accueillis avec un vif intérêt ; un laboratoire fut mis à leur disposition à Cambridge. Ils y réalisèrent en 1940 l'expérience qui avait été décidée avec Joliot. L'étude neutronique d'une suspension d'oxyde d'uranium dans une sphère d'aluminium remplie d'eau lourde leur permit d'être les premiers, sinon à réaliser expérimentalement un réacteur en chaîne divergente, du moins à montrer avec une quasi-certitude que celle-ci était possible dans un système d'uranium naturel et d'eau lourde, mais que la masse critique d'un pareil système exigerait des tonnes de chaque composant. On en était loin avec les cent soixante-cinq litres d'eau lourde disponibles.

Cette expérience a une importance considérable et son résultat fut à plusieurs reprises utilisé par les savants américains dans leurs efforts outre-Atlantique pour convaincre à leur tour leur gouvernement de se lancer dans l'entreprise à une grande échelle.

Dès octobre 1939, le Président Roosevelt avait été alerté par une lettre d'Einstein et un rapport de Szilard ; celui-ci mentionne les travaux français comme probablement les plus avancés de l'époque.

Quand les résultats de l'expérience d'Halban et Kowarski furent connus aux Etats-Unis, au printemps 1941, la question se posa s'il ne fallait pas attaquer la voie de l'eau lourde plutôt que celle du graphite étudiée par Fermi et Szilard pour essayer d'obtenir une réaction en chaîne divergente.

L'impossibilité de préparer avant près de trois ans l'eau lourde à l'échelle industrielle de la dizaine de tonnes permit aux partisans de la solution graphite d'obtenir la priorité sur ceux de l'eau lourde dont le principal protagoniste américain était Urey lui-même, qui, comme Halban, craignait que le graphite absorbât trop les neutrons pour permettre la divergence de la réaction en chaîne avec de l'uranium naturel. Pendant toute la période de 1941 à la mi 1942, où les résultats des expériences exponentielles graphite-uranium de Fermi à Columbia University ne permettaient pas encore d'affirmer que le système pourrait diverger, l'eau lourde resta comme une solution de secours pour l'équipe qui était attelée à la production éventuelle de plutonium.

Détaché par les Forces Françaises Libres auprès du Groupe Atomique anglais, j'ai eu la chance d'être envoyé par celui-ci au Metallurgical Project à Chicago en juillet 1942. Plus de cent travailleurs scientifiques y étaient déjà à l'oeuvre, dispersés dans les laboratoires de l'université, et une atmosphère excellente régnait dans ce groupe de jeunes techniciens enthousiastes.

Le planning envisagé à cette date et qui devait être miraculeusement respecté prévoyait la fabrication des premiers kilogrammes de matière fissile pure en trois ans; les ingénieurs savaient qu'il s'agissait d'explosifs dont le potentiel de destruction n'aurait rien de commun avec le passé, mais leurs scrupules moraux étaient à cette date étouffés, à la fois par la crainte révélée par la suite injustifiée que les Allemands ne soient sur la même voie et sans doute en avance, et aussi par l'intérêt passionnant des recherches.

Nous allions souvent dans le grand hangar aménagé sous les gradins du terrain de football de l'université, où se montait dans le plus grand secret l'édifice à base de graphite et d'uranium auquel Fermi allait donner le nom de pile atomique.

Dans une enceinte mystérieuse toute brillante de poudre de graphite, des hommes, noirs de la tête aux pieds, construisaient dans le plus grand secret une structure noire et brillante de plusieurs mètres de côté, composée de barres de graphite dont certaines étaient creuses et contenaient une masse d'uranium métal ou d'oxyde d'uranium comprimé. La vue de cette construction étrange était émouvante, car nous savions que l'issue de la guerre et par conséquent le destin du monde y étaient peut-être suspendus.

Par ailleurs, l'équipe de Seaborg (à laquelle j'avais été assigné, et qui comprenait une trentaine de chimistes dont l'aîné, son chef, avait trente ans) réussissait à isoler un cinquième de milligramme de plutonium, la première quantité visible à l'oeil nu,

à partir de quelques centaines de kilos de sels d'uranium, bombardés par le plus puissant cyclotron du monde à cette date, celui de Californie. Quand, le 18 août 1942, au cours de la réunion des chercheurs du projet (réunion hebdomadaire qui, de séance en séance, voyait croître le nombre des travailleurs avec une cadence digne de la réaction en chaîne), Seaborg se leva pour annoncer qu'il avait vu pour la première fois - une substance transmutée par l'homme - une infime quantité d'un sel de plutonium, de couleur rosée, Edward Teller, le chef du groupe de physique théorique, demanda de quel sel il s'agissait; Seaborg répondit qu'il ne pouvait le lui dire, tant était strict le compartimentage des connaissances destiné à éviter les fuites.

Pendant ce même été 1942, les partisans américains de la solution de la pile à eau lourde avaient poursuivi leurs efforts et avaient obtenu des décisions relatives à la production industrielle de ce modérateur au Canada puis aux Etats-Unis. La solution un moment envisagée d'installer à Chicago au sein du Metallurgical Project une équipe anglaise sous la direction de Halban fut abandonnée par les Anglais et remplacée par la décision de créer au Canada un projet important qui jouirait des avantages du voisinage des travaux américains en plus des facilités existant en Amérique du Nord et qu'un Royaume-Uni entièrement mobilisé par l'effort de guerre ne pouvait plus fournir.

C'est ainsi qu'est né le projet anglo-canadien installé dès novembre 1942 à Montréal et qui aboutit deux années plus tard à la création à Chalk River du grand centre nucléaire canadien spécialisé uniquement dans les réacteurs et centrales à eau lourde. Le projet fut dirigé jusqu'à la mi 1944 par Halban lui-même, remplacé ensuite par Sir John Cockcroft. L'équipe comprenait en outre quatre autres Français: Pierre Auger qui dirigea la physique, Lew Kowarski qui fut à la tête du groupe responsable de la construction de la première pile à eau lourde canadienne Z.E.E.P. mise en route en septembre 1945, la première pile au monde à fonctionner en dehors du territoire des Etats-Unis (la première pile à eau lourde C.P. 3 avait fonctionné à Chicago dès mai 1944), et deux chimistes, Jules Guéron et moi-même; j'étais responsable de la mise au point au Canada de certaines des premières méthodes d'extraction du plutonium par solvants organiques. Nous devions tous les quatre revenir en France en 1946 pour participer à la création du Commissariat à l'Energie Atomique dont la première réalisation fut la mise en marche dès décembre 1948 d'une pile à eau lourde de puissance nulle.

Ainsi, les travaux français, s'ils n'ont pas contribué directement à l'éclatante réussite du 2 décembre 1942, ont joué un rôle important, d'une part

en épaulant l'effort britannique qui lui-même fut un des facteurs de la décision américaine d'attaquer le problème de l'uranium à l'échelle industrielle, d'au-

tre part dans la création même de l'effort atomique canadien et dans le développement des réacteurs à eau lourde.