

LES PREMIERS PROJETS D'ENERGIE ATOMIQUE AU CANADA ET EN GRANDE-BRETAGNE

par
Sir John Cockcroft

L'intérêt que les milieux scientifiques du Canada et de Grande-Bretagne portent à l'énergie atomique remonte à l'époque où Rutherford enseignait à l'Université McGill de Montréal et méditait sur l'énorme quantité d'énergie que recèle le noyau de l'atome. Pendant son séjour au Laboratoire Cavendish, il douta de la possibilité de libérer cette énergie ; hélas, un sort cruel a voulu qu'il meure peu de temps avant la découverte par Hahn de la fission nucléaire, qui ouvrait la voie vers la libération de l'énergie atomique.

C'est vers la fin de 1939 que des recherches systématiques furent entreprises en Grande-Bretagne, au Laboratoire Chadwick de Liverpool, sur la libération de l'énergie atomique par la fission nucléaire ; ces recherches devaient être étayées par les calculs auxquels se livrèrent Frisch et Peierls à Birmingham. Elles permirent de fabriquer au moment choisi la bombe atomique. Une deuxième série de travaux commença en Grande-Bretagne avec l'arrivée en juin 1940 de Halban et Kowarski qui venaient du laboratoire de Frédéric Joliot et amenaient avec eux 180 litres d'eau lourde de provenance norvégienne ; je réussis à leur faire attribuer des locaux et des installations rudimentaires au Laboratoire Cavendish. Ils y furent rejoints par quelques physiciens qui n'étaient pas partis pour participer aux travaux sur le radar, et le groupe se mit à étudier la possibilité d'amorcer une réaction en chaîne dans une pile à eau lourde. Les expériences que Halban et Kowarski firent à Cambridge en 1940 montrèrent qu'une réaction en chaîne divergente, entretenue par des neutrons lents, pouvait être déclenchée dans un mélange d'oxyde d'uranium et d'eau lourde.

Au laboratoire des hautes énergies de l'Institut Cavendish, Bretscher et Feather cherchaient alors à produire des éléments transuraniens. Aux Etats-Unis, McMillan et Abelson avaient découvert l'existence d'un nouvel élément 94, pouvant être obtenu à partir de l'uranium-238. Bretscher et Feather prédirent, à la fin de 1940, que cet élément pourrait, sous l'effet de neutrons thermiques ou de neutrons rapides, devenir fissile encore plus facilement que l'uranium-235 et pourrait constituer un explosif très puissant. Le matériel de Cambridge n'était pas assez perfectionné pour permettre d'isoler l'élément 94 ; aussi demandai-je par télégramme à Ralph Fowler, notre représentant scientifique, d'insister auprès d'Ernest Lawrence pour qu'il prenne les mesures nécessaires en



Sir John Cockcroft

vue d'une étude des propriétés fissiles de cet élément. Or, Seaborg avait déjà entrepris ce travail et put en mai 1941 établir par voie expérimentale que la fission du plutonium-239 pouvait être réalisée à l'aide de neutrons lents.

Les travaux des deux groupes étaient coordonnés par le Comité MAUD ; en juillet 1940, ce dernier fit savoir que la bombe atomique et l'engin dit "chaudière" étaient réalisables. A propos de cette dernière, le rapport disait qu'à en juger par les expériences d'Halban-Kowarski, il devait être possible d'amorcer une réaction nucléaire à l'aide d'uranium et d'eau lourde, qu'une telle "chaudière" pouvait être utilisée comme moteur primaire et qu'elle offrait de vastes perspectives pour le développement en temps de paix. On ne pensait pas qu'elle puisse présenter un grand intérêt du point de vue militaire, bien que les travaux de Bretschner et Feather sur les substances produites dans une "chaudière" pussent se révéler utiles pour la confection d'une bombe. A

cette époque, vers la fin du premier semestre de 1941, les physiciens du Comité MAUD ignoraient encore que les propriétés fissiles du plutonium venaient d'être confirmées par l'expérience; ils estimaient que seule la bombe à uranium-235 pouvait présenter un véritable intérêt pour la conduite de la guerre, de sorte que la "chaudière" leur semblait beaucoup moins importante. On parvint donc à la conclusion qu'en raison de la lourde charge imposée au Royaume-Uni par l'effort de guerre, le "Projet Chaudière" devait être poursuivi aux Etats-Unis ou au Canada. Après avoir présenté son rapport, le Comité MAUD fut dissous de façon assez précipitée au moment du lancement du "Projet Alliages pour tubes" (Tube Alloys Project); la plupart des physiciens nucléaires au Royaume-Uni, qui avaient collaboré avec le Comité, perdirent de vue ces travaux pendant plus de deux ans, mais j'appris au début de 1943 par des voies officieuses que le réacteur au graphite, construit par Fermi, avait démarré avec succès.

A cette époque, les échanges avec les Etats-Unis furent interrompus par suite de la mise en oeuvre du "Projet Manhattan" en septembre 1942, et ne furent rétablis qu'à la fin de 1943, après la conclusion de l'Accord de Québec. En janvier 1943, le groupe franco-britannique s'installa à Montréal où, dans l'Université à moitié vide de cette ville, il fut renforcé par l'arrivée de George Lawrence et de plusieurs autres spécialistes canadiens, ainsi que de Auger, Paneth, Placzek, Seligman, Newell (ingénieur I. C. I.) et d'autres encore. La première année, le groupe ne put se procurer ni uranium, ni eau lourde canadienne, du fait que ces deux produits étaient maintenant placés sous le contrôle du "Projet Manhattan"; les travaux ne pouvaient donc guère progresser. Après la conclusion, en août 1943, de l'Accord de Québec, la collaboration avec les Etats-Unis devint de nouveau possible et lorsqu'à l'occasion d'une mission effectuée en novembre 1943 je rencontrai Chadwick et Oliphant, ceux-ci me proposèrent de venir travailler à Montréal. Le 13 février 1943, le "Comité d'action commune" (Combined Policy Committee), institué dans le cadre de l'Accord de Québec, approuva la construction au Canada d'une pile à eau lourde de 5 MW. Le 19 avril, Sir John Anderson, ministre chargé du "Projet Alliages pour tubes" et Chancelier de l'Echiquier, me pria de me rendre immédiatement par avion à Montréal pour y assumer la direction de ce projet commun et, le 26 avril, je fus accueilli, à l'aérodrome de cette ville, sous une pluie battante, par l'éminent spécialiste de la physique théorique, G. Placzek. Le 6 mai, le général Groves, C. J. Mackenzie et moi-même inspectâmes, pleins d'espoir, un merveilleux site pour le réacteur, à Nobel, sur la Baie géorgienne, qui était occupé par une fabrique de dynamite; mais malheureusement les changements survenus dans la situation militaire ne permirent pas de le mettre à notre disposition et nous dûmes poursuivre nos recherches.

Le 4 mai, je me rendis au Laboratoire de métallurgie de Chicago, dirigé par Arthur Compton, où les rapports futurs entre Chicago et Montréal firent l'objet de discussions qui aboutirent à un accord. Des mesures furent prises en vue d'un échange de renseignements sur la physique des réacteurs et sur les problèmes que pose la construction d'une pile à eau lourde. La fourniture d'uranium métal et d'eau lourde se trouvait désormais assurée. La communication de données sur les procédés de séparation chimique du plutonium n'était pas prévue, mais on était convenu que des lingots d'uranium irradié seraient envoyés d'Oak Ridge à Montréal pour nous permettre de mettre au point notre propre procédé de séparation chimique. Je fus également autorisé à me rendre à Oak Ridge le 17 mai pour y inspecter le réacteur au graphite de 2 MW au Laboratoire Clinton; cette visite fut très utile pour la préparation du programme futur. En revenant d'Oak Ridge, je me rendis chez le général Groves qui nous avait promis 5 tonnes supplémentaires d'eau lourde pour la construction d'un réacteur à eau lourde de puissance nulle, destiné à l'étude des réseaux à eau lourde. Kowarski se chargea de l'exécution de ce projet et, avec l'aide technique du Conseil national de la recherche, le réacteur connu sous le nom de ZEEP fut achevé en 15 mois; il a fonctionné depuis lors sans interruption, sauf pendant les années 1947 à 1950 où il fallut l'arrêter par suite d'une pénurie d'eau lourde qui, du reste, avait également affecté le réacteur NRX.

Lors d'un deuxième séjour à Chicago au mois de juin, nos entretiens portèrent sur les données relatives à la physique des réacteurs et sur les méthodes de calcul des réseaux au graphite. Après cette visite, beaucoup d'entre nous entreprirent d'étudier la physique des réacteurs en suivant les "cours de neuf heures" donnés par Volkoff à Montréal. Je rendis également visite à Fermi et Zinn et je pus inspecter le réacteur au graphite MARK II que Fermi avait construit. Ce même jour, j'examinai avec Arthur Compton les problèmes que pose le choix d'un site pour réacteur et nous parvîmes à la conclusion qu'en raison des accidents possibles, notre réacteur devait être situé à une distance d'au moins 100 miles de toute agglomération importante. Nous nous mîmes donc à la recherche d'un emplacement répondant à cette condition et bien alimenté en eau. Vers la mi-juillet, nous avions découvert un endroit approprié à Chalk River, et à Deep River un site charmant pour y édifier un village; huit jours plus tard, nous avions fixé notre choix et un urbaniste de l'Université McGill établit les plans du village à notre entière satisfaction. Nous entreprîmes alors l'étude du réacteur NRX et décidâmes prudemment de prévoir une puissance de 10 MW. Cette mesure se révéla par la suite si sage qu'il fut possible de porter plus tard la puissance du réacteur à 40 MW. Les caractéristiques générales des plans furent élaborées par notre petit groupe de trois ingénieurs I. C. I., en collabora-

tion avec des spécialistes de la physique des réacteurs ; l'élaboration des plans détaillés et la construction proprement dite furent confiées à Defence Industry Limited. Le réacteur NRX fut mis en service trois ans plus tard et c'est depuis l'un des réacteurs de recherche les plus efficaces du monde. Il a permis notamment d'acquérir de bonnes connaissances sur les dommages provoqués par l'irradiation de l'uranium métal. Les trois premiers mètres de barres d'uranium laminé se dilataient et se raccourcissaient généralement de plusieurs centimètres. Les lots ultérieurs avaient par contre tendance à s'allonger dans les mêmes proportions. Grâce à l'expérience acquise et à une meilleure compréhension du phénomène, on est parvenu à résoudre les problèmes posés par la dilatation de l'uranium et à réaliser des taux de combustion de 3 000 MWj/t à une température superficielle de 70°C environ. C'est cette expérience qui a probablement déterminé les taux de combustion fixés comme objectifs pour les centrales nucléaires du Royaume-Uni, bien que ce fait ne puisse être établi avec certitude.

Au cours de l'année suivante, Goldschmidt, et plus tard Spence, étudièrent l'extraction chimique du plutonium contenu dans l'uranium irradié. Goldschmidt avait choisi comme solvant du dichlorure de triglycol, qui fut utilisé à l'usine pilote de Chalk River. Spence procéda à une étude plus étendue et élabora le schéma de principe fondé sur l'emploi de dibuty-carbitol, qui fut plus tard adopté par l'Usine de de séparation chimique de Windscale. Les premiers travaux en matière de radioprotection furent entrepris par Joseph Mitchell et W.V. Mayneord, dès leur arrivée de Grande-Bretagne. Une source de neutrons au polonium-béryllium de 1 000 curies, fournie par les Etats-Unis, permit d'étudier les effets biologiques des neutrons et, pour la première fois, je fus en mesure de faire une évaluation quantitative des risques nucléaires.

En mai 1945, nous nous occupions de surgénérateurs, de convertisseurs et de génératrices nucléaires, mais on fit peu de travail utile. Nous constituâmes également un "Groupe d'étude du graphite" (Graphite Group) chargé d'élaborer des plans pour un réacteur de recherche au graphite pouvant être construit au Royaume-Uni lorsque les circonstances le permettraient.

En octobre 1945, je me rendis à bord d'un hydravion en Grande-Bretagne, où j'eus des entretiens avec Sir John Anderson au sujet de la fondation d'un établissement national de recherche sur l'énergie nucléaire ; avec Oliphant, nous cherchâmes un aéroport approprié pour assurer à notre projet un essor rapide. A notre avis, il fallait rester à proximité d'une grande université de manière à pouvoir faire appel à ses bibliothèques, écoles, hôpitaux et autres institutions dont le personnel scientifique a

grand besoin. Mon choix de Duxford, près de Cambridge, se heurta à l'opposition de mes collègues et nous nous décidâmes finalement pour l'aérodrome d'Harwell, que la Royal Air Force nous céda le 1er janvier 1946. Je m'entendis également avec Sir Alan Barlow, fonctionnaire supérieur du Ministère des finances, sur une charte qui laisserait à notre établissement une exceptionnelle liberté d'action pendant les premières années.

Le 1er février 1946, je me rendis pour la première fois à l'aérodrome désert et balayé par les vents, en compagnie de Skinner et Marley et du colonel Fisher qui était chargé d'élaborer les plans de la construction. Sur l'aérodrome d'Harwell s'élevaient quatre hangars, où furent installés les réacteurs et les accélérateurs, ainsi que des ateliers ; les autres bâtiments furent rapidement transformés en laboratoires ou en locaux d'habitation. Nous importâmes également 200 maisons préfabriquées pour répondre aux besoins de logement les plus urgents. L'étude des plans pour les aménagements et les nouveaux bâtiments, commencée au Canada, fut bientôt poursuivie au Royaume-Uni. Nous décidâmes de construire deux réacteurs de recherche ralenti au graphite. Le premier réacteur, GLEEP, fut surtout conçu par un groupe néo-zélandais, sous la direction de Watson-Munro, et achevé en 15 mois environ. D'une puissance thermique de 100 kW, il constitua notre première source de radioisotopes. Depuis lors, il a continuellement servi pour effectuer des mesures sur les matières nucléaires par la méthode des oscillateurs, ainsi que pour certains travaux sur les effets biologiques des neutrons lents. Notre deuxième réacteur, BEPO, conçu par notre groupe industriel à Risley, était prévu pour produire 6 MW thermiques. Il fut mis en service en juillet 1948, au cours d'une réunion de notre Comité technique dont les membres avaient introduit, de leurs mains, les dernières barres d'uranium pour réaliser l'état critique. Sous la direction éclairée d'Henry Seligman, il est devenu une des sources les plus importantes de radioisotopes dans le monde. A l'heure actuelle, le Centre de radiochimie d'Amersham utilise et traite des radioisotopes produits par BEPO et DIDO ; 40 000 envois de ces éléments sont faits chaque année aux divers utilisateurs dans toutes les parties du monde.

Une grande part des efforts déployés au début à Harwell avait pour but d'aider le groupe de Risley à dresser les plans des deux réacteurs plutonigènes de Windscale, ralenti au graphite et refroidis par air, ainsi que des usines de séparation chimique connexes et des installations pour la production de cartouches de combustible. En 1949, nos travaux nous permirent de nous intéresser aux centrales nucléaires et nous étudiâmes un grand nombre de combinaisons possibles entre ralentisseurs, refroidisseurs et cartouches de combustible. Plusieurs de nos premiers projets furent mort-nés.

Toutefois, en septembre 1950, une conférence sur l'énergie électrique, tenue à Harwell et réunissant un grand nombre d'industriels influents, recommanda d'adopter un réacteur à uranium naturel, ralenti au graphite et refroidi au CO₂, comme source de chaleur pour une centrale nucléaire. Cette décision fut prise pour différentes raisons : la Grande-Bretagne disposait de graphite utilisable à cet effet, nos réserves d'uranium enrichi étaient très faibles et nous avions accumulé de bonnes connaissances sur la technologie de ce type de réacteur. En outre, nos ingénieurs avaient fait savoir que le coût du courant électrique produit par un tel système devrait être inférieur à 1 penny/kW. A la suite de cette décision, trois années d'études et de recherches technologiques furent entreprises dans le cadre du "Projet Pippa". Nous fûmes appelés à examiner des problèmes qui touchaient aux cartouches de combustible, au graphite et à la physique des réacteurs, et dont la solution exigeait l'effort conjugué de chimistes, d'ingénieurs métallurgistes et de physiciens. En 1953, Goodlet et Moore présentèrent un mémoire sur le "Projet Pippa", qui prévoyait une production de 50 MW électriques au moyen d'un seul réacteur et à un prix qui ne devait pas dépasser 1 penny par unité d'énergie.

En avril 1953, le Gouvernement décida de construire le réacteur de Calder Hall qui était destiné à produire à la fois du plutonium et de l'énergie électrique ; l'étude et la réalisation de ce projet furent confiées à notre Groupe industriel, dirigé par Sir Christopher Hinton. La centrale fut terminée dans l'espace de trois ans et demi, sans dépasser le coût estimatif de 16,5 millions de livres ; c'est là une réalisation remarquable pour une entreprise d'avant-garde. Depuis lors, on a construit trois autres installations identiques, qui produiront cette année environ 2,5 millions d'unités d'énergie. Elles se sont révélées d'un fonctionnement très sûr et permettent d'atteindre un facteur de charge de 95 % entre deux charges successives.

Les résultats positifs de leur exploitation ont servi de base à la construction par l'"Electricity Board" de huit centrales nucléaires de type commercial avec une production allant de 275 à 580 MW ; des négociations sont en cours pour la création d'une centrale de 1 000 MW à Wylfa Head. Ainsi, si l'on tient compte de ce dernier projet, la capacité nucléaire installée devrait être vers 1968 d'environ 5 000 MW.