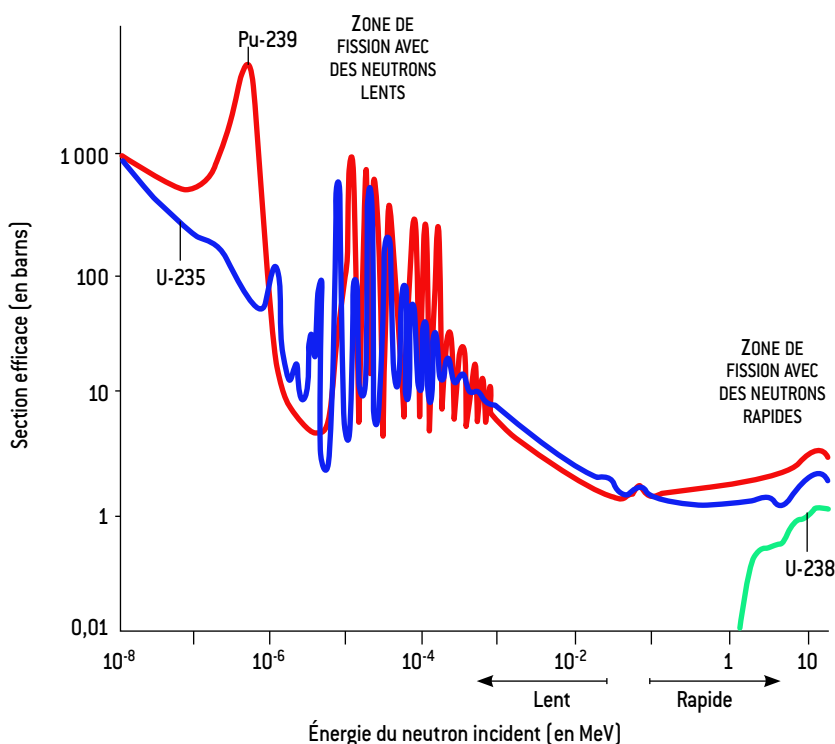




LES PROBABILITÉS DE COLLISION D'UN NEUTRON AVEC UN ATOME D'URANIUM 235 (en bleu) ou de plutonium 239 (en rouge), c'est-à-dire les sections efficaces de ces éléments, sont cent fois plus grandes à basse énergie (neutrons lents) qu'à haute énergie (neutrons rapides), ce qui a amené les chercheurs de l'*Uranverein* à estimer que la bombe nécessitait une réaction en chaîne déclenchée et entretenue par des neutrons lents. En réalité, construire une bombe nécessite un échauffement assez rapide de la matière fissile pour que des neutrons rapides y soient produits et y entraînent une réaction en chaîne explosive avant que sa dilatation ne l'interrompe...

En décembre 1939, Heisenberg écrivit ainsi un premier rapport entièrement consacré à l'énergie nucléaire. On n'y trouve qu'une unique phrase sur la bombe, ou plus exactement sur un réacteur transformé en bombe : « L'enrichissement d'uranium 235, qui permet de construire des réacteurs très compacts, serait aussi la seule méthode d'obtention d'un explosif dont la puissance dépasse de plusieurs ordres de grandeur celle des explosifs conventionnels. »

Avant d'écrire cela, Heisenberg avait estimé que pour créer un tel réacteur explosif, il faudrait de nombreux kilogrammes d'uranium 235, une entreprise qu'il qualifiait d'« horrible », puisque l'on ne parvenait alors à séparer les isotopes que par microgrammes. Ainsi, la « bombe » – en réalité un réacteur censé exploser – semblait à Heisenberg pensable, mais irréalisable. Dans la partie détaillée de son rapport, il décrit l'explosion. L'énergie des neutrons qu'il donne – 300 électrons-volts – est 10 000 fois plus petite que celle des neutrons rapides nécessaires en réalité. Du reste, Samuel Goudsmit,

Jeremy Bernstein, Paul Rose et Rainer Karlsch ont remarqué à juste titre que la bombe correspondante ne serait pas plus puissante qu'une bombe conventionnelle ! De son côté, Mark Walker semble déduire de la phrase de Heisenberg que le principe correct de la bombe était connu...

À ce stade, soulignons que, pour un physicien nucléaire de l'époque, l'emploi de neutrons lents pour obtenir une explosion avait un sens. Dès 1934, le physicien italien Enrico Fermi avait en effet découvert que les neutrons d'énergie réduite déclenchent des réactions nucléaires plus efficaces (voir la figure ci-dessus). Le fait que, pour produire une réaction en chaîne explosive, il faille en réalité employer des neutrons rapides n'apparaît que si l'on étudie la thermodynamique de la réaction.

Un autre élément suggère que l'*Uranverein* ne connaissait pas le principe de fonctionnement de la bombe. Paul Müller, doctorant sous la direction de Heisenberg, a calculé les valeurs des paramètres physiques à atteindre pour déclencher une explosion nucléaire : il a conclu qu'il faudrait enrichir l'uranium 235

à 70 % et qu'il y aurait un grand besoin de modérer l'énergie des neutrons. Si le premier résultat semble bon, le second l'annule car, dans une bombe, les modérateurs sont des poisons. Une erreur que Paul Rose et Rainer Karlsch ont remarquée. Walker, pour sa part, n'a tenu aucun compte du rapport de Müller, le seul exclusivement consacré aux explosifs nucléaires...

Une troisième preuve surgit de la lettre que Karl Wirtz écrivit à l'Office des brevets du Reich. Cet important collaborateur de Heisenberg y décrit une plaque d'uranium 235 d'une surface de un mètre carré et épaisse de quelques millimètres insérée entre deux couches modératrices de l'énergie des neutrons. Or il écrit que ce dispositif peut soit servir de source de chaleur inépuisable, soit exploser avec une violence extrême. Ainsi, pour les physiciens de l'*Uranverein*, un réacteur et une bombe étaient censés fonctionner sur le même principe et avaient la même forme.

Le rapport de 1942 au *Heereswaffenamt*

Une autre incompréhension semble avoir durablement influencé le travail des historiens : elle est liée à l'interprétation du rapport de 1942 au *Heereswaffenamt*. Ce document, écrit en préparation d'une réunion décisive pour le soutien à l'*Uranprojekt*, est extraordinairement précieux, car il détaille les connaissances qu'avaient alors les physiciens du projet. Une fois de plus, Mark Walker y découvrit une phrase semblant indiquer que la masse critique était connue : « Pour allumer l'explosif, on doit pouvoir en rassembler en un même lieu de 10 à 100 kilogrammes ». Un intervalle qui correspond de façon impressionnante à celui qui venait d'être fixé aux États-Unis : de 2 à 100 kilogrammes.

Toutefois, les explications physiques présentées dans la partie détaillée du rapport mettent clairement en évidence une conception fautive du principe de la bombe. Dès la table des matières, celle-ci est présentée comme un cas particulier de réacteur ! Plus loin, alors que l'on présente les processus de production des neutrons, seuls ceux importants pour les réacteurs sont cités. Rien n'est dit sur la production de neutrons rapides pour fissionner l'uranium 235.

Comme ce rapport était très difficile à obtenir, beaucoup d'auteurs se sont fiés

à Mark Walker. Seuls Paul Rose et Rainer Karlsch ont remarqué l'erreur commise, mais, pour des raisons incompréhensibles, ils ont supposé que cet intervalle de valeurs se rapportait à une bombe à plutonium, un élément pourtant inconnu de l'*Uranverein*... Pendant plus d'un quart de siècle, les documents destinés au *Heereswaffenamt* sont passés pour une preuve de l'existence de connaissances suffisantes sur le fonctionnement d'une bombe. Ceux qui adoptaient ce point de vue – celui de Mark Walker – n'étaient pas gênés par le fait que le calcul de la masse critique soit le seul aspect non rapporté dans le rapport : « Peu importe qui a procédé à cette estimation et comment elle a été faite », écrit-il.

Il est étonnant que cette erreur de Mark Walker n'ait pas été aperçue : l'intervalle de 10 à 100 kilogrammes correspond bien en effet à la masse de matière fissile du réacteur que décrit Heisenberg : un réacteur ralentissant les neutrons, comme nombre de réacteurs actuels. Or de tels réacteurs ne peuvent exploser comme une bombe... Il se pourrait que Wirtz ait calculé cet intervalle à l'occasion de sa lettre au Bureau des brevets du Reich. Étant donné la très haute densité de l'uranium ($19,1 \text{ g/cm}^3$), une plaque de un mètre carré et de quelques millimètres d'épaisseur de cet élément pèse en effet entre 10 et 100 kilogrammes. L'*Uranverein* avait donc calculé la masse critique d'un réacteur et croyait qu'avec de l'uranium suffisamment enrichi, un tel réacteur se muerait en bombe atomique...

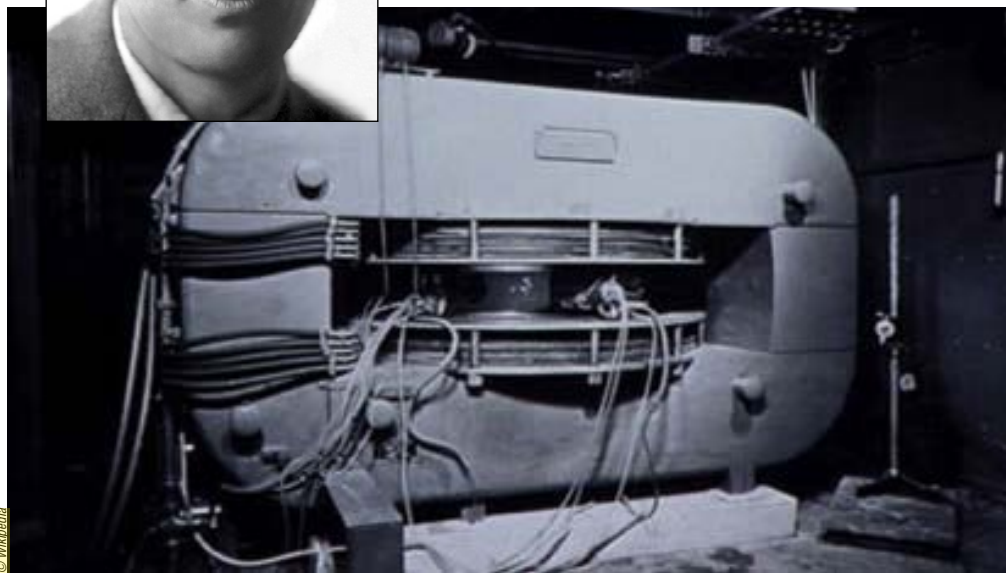
Une fois ce fait réalisé, on peut aussi s'expliquer les affirmations non vérifiées mais durables de l'après-guerre selon lesquelles Heisenberg évoquait pendant la guerre une masse critique de 50 kilogrammes. Pendant la conférence de février 1942, il montra dans sa communication introductive une représentation schématique des phénomènes à l'œuvre pendant les réactions de fission avec de l'uranium naturel (à gauche sur la figure page 73) ou de l'uranium 235 (à droite). Et pour la première fois, aucun modérateur n'est représenté dans la version avec de l'uranium 235. Il semble donc que le principe correct de la bombe soit signifié, mais, dans le texte du rapport, il n'est aucunement question d'obtenir la fission à l'aide de neutrons rapides. Après la guerre, Heisenberg a affirmé avoir toujours su que la bombe n'était possible qu'avec l'aide de neutrons rapides. Pour



LE SYNCHROTRON DE PARIS, construit par Frédéric Joliot-Curie (ci-dessus), aurait pu servir à l'*Uranverein* à produire du plutonium ou à déterminer les sections efficaces de l'uranium 235 ou du plutonium 239, mais les physiciens allemands ne l'ont pas exploité, même si l'un d'entre eux avait été envoyé à Paris afin de contrôler l'usage de la machine.

autant, jusqu'à la fin de la guerre, il n'a jamais évoqué cette possibilité avec qui que ce soit et, après, il n'a jamais avoué son échec à construire la bombe atomique. Heisenberg n'était pas près du but. Il commençait tout juste à comprendre la physique de la bombe, alors qu'aux États-Unis, les physiciens la maîtrisaient déjà en 1940. Et il n'a pas fait un pas de plus !

Même le troisième et dernier directeur du projet uranium, Walther Gerlach, ne connaissait pas les nouvelles réflexions de Heisenberg. C'est ce que prouve sa lettre de novembre 1944, dans laquelle il répond au reproche selon lequel l'*Uranverein* travaillerait trop peu de petites bombes atomiques transportables en fusée : « malheureusement », écrit-il, la « multiplication turbulente » des neutrons ne serait possible qu'à partir de plusieurs tonnes d'uranium et en utilisant un modérateur. Goudsmit a publié cette lettre pour prouver que, jusqu'à la fin de la guerre, l'*Uranverein* avait un concept de bombe inadéquat. Toutefois, Mark Walker a affirmé que Gerlach décri-



ait des essais de réacteur. C'est illogique, non seulement à cause du contexte de la lettre, mais aussi pour une raison évidente : après une « multiplication turbulente » des neutrons, il ne reste pas grand-chose d'un réacteur...

Mon analyse des documents disponibles donne raison à Goudsmit qui, dès 1947 disait pour résumer que l'*Uranverein* n'avait pas compris la différence entre une bombe et un réacteur nucléaire. Goudsmit était bien placé pour porter un tel jugement puisque, physicien nucléaire lui-même, il

s'était lié d'amitié avec Heisenberg avant la guerre, maîtrisait l'allemand, connaissait les documents qu'il avait rassemblés, pouvait en évaluer le contenu, avait vu de nombreux laboratoires allemands et arrêté et interrogé lui-même leurs chercheurs... Sa relation aux Allemands était cependant très chargée, puisque ses parents avaient été assassinés à Auschwitz.

Le retour à l'opinion de Goudsmit a en plus l'avantage de rendre leur cohérence à tous les éléments connus. Ainsi, on comprend aujourd'hui pourquoi les physiciens allemands n'ont pas essayé de déterminer les sections efficaces de la fission par des neutrons de haute énergie à l'aide d'un cyclotron : ils ignoraient que les neutrons rapides étaient essentiels au principe d'une bombe !

Point remarquable, tous nos arguments peuvent être vérifiés à l'aide d'une autre source : la transcription des écoutes de Farm Hall. À l'été 1945, les Alliés enfermèrent les physiciens les plus importants de l'*Uranverein* dans cette grande maison rurale (voir la photo ci-contre) afin de les écouter parler à leur insu. Leurs réactions à l'annonce de l'explosion de la bombe de Hiroshima sont significatives : certains, tels Otto Hahn, furent immensément soulagés de ne pas avoir construit la bombe ; d'autres furent affligés dans leur patriotisme de constater que la physique nucléaire allemande était dépassée.

Pendant les jours qui suivirent, ces physiciens essayèrent fébrilement de comprendre le fonctionnement de la bombe, mais la faiblesse du contenu de leurs échanges frappe. Interrogé par Hahn, Heisenberg reconnaît ne jamais avoir calculé la masse critique, ce qu'il a effectué à Farm Hall. Lors de sa première tentative, il commet d'énormes erreurs de calcul et obtient une masse critique d'une tonne... Comme il s'était trompé dans la détermination du volume d'une sphère d'uranium à partir de son rayon, son véritable résultat aurait dû être 13 tonnes ! En écoutant l'enregistrement, les deux grands experts de la bombe atomique de l'époque qu'étaient Edward Teller (souvent présenté comme le père de la bombe à hydrogène) et Hans Bethe, le directeur du département théorique du Projet Manhattan, conclurent que Heisenberg tentait ce calcul pour la première fois, de sorte qu'il commettait toutes les erreurs de débutant

par lesquelles eux aussi étaient passés. Les tentatives des chercheurs allemands pour deviner les sections efficaces de la fission de l'uranium 235 remplissent de nombreuses pages de transcription de Farm Hall. Elles prouvent leur ignorance.

Une semaine après ce premier exercice, Heisenberg avait progressé. Dans un exposé, il explicita tous les points essentiels de la physique d'une bombe nucléaire, s'interrogeant en particulier sur la question de sa puissance, qu'il sous-estima encore. Les connaissances divulguées pendant cet exposé furent souvent présentées comme la preuve de la pertinence des idées des physiciens allemands, mais celles-ci n'ont été acquises qu'après la guerre et au vu et au su des réalités manifestées à Hiroshima.

Les comptes rendus des enregistrements de Farm Hall confirment donc ce que dicte l'étude attentive des documents : l'*Uranverein* ignorait le principe d'une bombe nucléaire. Les fautes de débutant de Heisenberg traduisent qu'il n'avait jamais fait ces calculs auparavant. Son séminaire à Farm Hall montre aussi qu'une semaine de travail lui suffit pour parvenir au principe fondamental de la bombe. Tout cela contredit l'affirmation de Paul Rose suivant laquelle il n'en était pas capable, ainsi que la théorie de Thomas Powers selon laquelle il aurait réussi très tôt. On peut donc en déduire ce qu'aucun historien

En 1937, le journal de la SS accuse Heisenberg d'être un « Juif blanc » soutenant des théories « non allemandes »

n'a vu : durant toute la guerre, Heisenberg n'a pas réfléchi sérieusement à la bombe pendant toute une semaine !

Trente à quarante ans après la guerre, j'étais devenu le directeur du programme fédéral allemand de recherche nucléaire, donc en quelque sorte le successeur de Gerlach. Quelque chose d'étonnant m'apparut dans la façon de travailler de l'*Uranverein*. Quand on aborde un terrain technique inconnu, il est normal d'explorer plusieurs pistes à la fois. Avec le temps, on concentre les ressources sur les voies intéressantes avant, finalement, de les consacrer à la plus prometteuse.



Or, au sein de l'*Uranverein*, c'est le contraire qui s'est produit. Au cours des années, le nombre de réacteurs expérimentaux et de procédés explorés a augmenté, ce que les historiens ont attribué à des faiblesses dans la conduite du projet. Toutefois comme aucune tentative de rassemblement des moyens n'a jamais eu lieu, il semble vraisemblable que le projet n'était pas orienté vers le succès. Pas sérieusement.

Or beaucoup de ses chercheurs – surtout les plus jeunes – pouvaient craindre, en cas d'arrêt de leur projet, de ne pas être réaffectés à d'autres recherches, mais envoyés au front... Les petites équipes dispersées menant des projets partiels dont ils faisaient partie représentaient donc autant de chances de rester en vie. Pendant que des millions d'Européens tombaient au combat, mouraient dans les villes bombardées

ou se faisaient assassiner dans les camps, leurs petits instituts installés en province pouvaient pour l'essentiel continuer à faire de la recherche librement. Même si les moyens personnels et financiers étaient ridicules par rapport à la tâche fixée, ils étaient bien plus importants que dans les trente années précédentes, marquées par la première guerre mondiale et la crise de 1929. Un gros projet centralisé aurait détruit cette idylle et serait devenu moralement dangereux.

De fait, même Abraham Esau, que le *Heereswaffenamt* avait chargé en 1939 d'initier l'*Uranprojekt*, avait conseillé à ses collègues