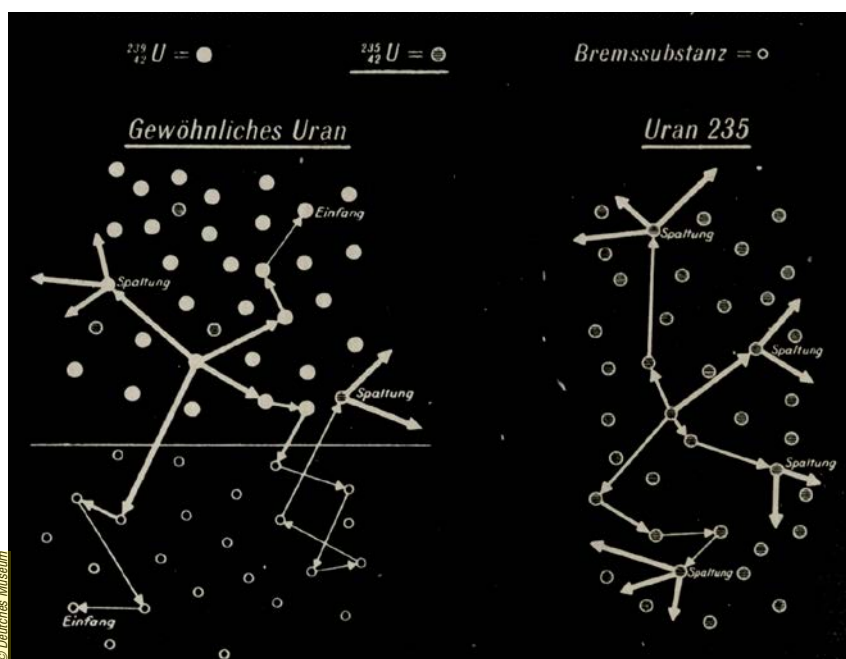


théorie nucléaire du physicien danois Niels Bohr que cet élément est plus fissile que l'uranium 235, l'isotope d'uranium le plus fissile. Or cela semble très improbable d'un point de vue scientifique.

L'élément 94 n'a été découvert qu'en 1941 aux États-Unis, où il fut nommé plutonium, et les chercheurs allemands ne l'apprirent qu'en 1946. Comment aurait-il pu en être autrement ? Leurs réacteurs expérimentaux ne pouvaient produire de plutonium ! Jeremy Bernstein, un physicien qui a beaucoup publié sur l'*Uranprojekt*, s'est demandé pourquoi les chercheurs allemands n'avaient pas, comme leurs collègues américains, créé quelques microgrammes de plutonium dans l'un de ces accélérateurs circulaires – un cyclotron – que l'on emploie tant en physique nucléaire. Au cours des années 1930 en effet, plusieurs pays européens en avaient construit, mais l'Allemagne n'en possédait pas. Elle aurait pu réquisitionner les cyclotrons de la France et du Danemark occupés, mais rien ne fut entrepris en ce sens. Les chercheurs allemands ne pouvaient donc connaître les propriétés de l'élément 94, ce qui exclut qu'ils aient pu calculer une masse critique de plutonium.

La piste de la bombe à uranium 235

Il leur restait donc à suivre la piste de la bombe à uranium, mais, là non plus, ils ne firent pas le nécessaire. L'idée, celle du Projet Manhattan, consiste à établir une réaction en chaîne explosive dans l'uranium. Pour cela, il faut, plutôt qu'employer des neutrons ralentis comme y poussait l'intuition physicienne dans les années 1940, employer des neutrons de haute énergie, donc rapides. En effet, les physiciens pensaient plutôt à employer des neutrons lents parce que leur probabilité de déclencher une fission est 500 fois plus élevée que celle des neutrons rapides. Cependant, les neutrons rapides déclenchent des fissions bien plus vite, de sorte que lancés dans une population d'uranium 235 assez dense, ils déclenchent une réaction en chaîne explosive : la fission d'un premier noyau bombardé par un neutron produit des neutrons qui déclenchent plusieurs nouvelles fissions, etc. Pour cette raison, avec des neutrons rapides, la réaction en chaîne peut se développer avant que la dilatation de l'explosif nucléaire due à la chaleur n'ait fait chuter la densité d'atomes



DANS UN DESSIN DE 1942, HEISENBERG a schématisé, sans le dire explicitement, les réactions en chaîne dans un réacteur (à gauche) et dans une bombe (à droite). Dans le cas du réacteur, un neutron émis par un atome d'uranium 235 fissionné parvient dans le modérateur, un milieu inerte où les collisions avec les atomes le ralentissent (en bas). Il déclenche alors la fission d'un autre atome d'uranium. Dans une bombe en revanche, les fissions successives sont directement déclenchées par les neutrons qu'émettent les atomes d'uranium 235 fissionnés.

fissiles au point d'arrêter le processus. Évaluer la densité minimale d'uranium 235 nécessaire revient à calculer la masse critique. Pour cela, encore faut-il connaître la probabilité de déclenchement d'une fission par un neutron rapide. En termes de physicien, cela revient à mesurer les « sections efficaces » de l'uranium 235 bombardé par des neutrons rapides. Rien n'indique que l'*Uranprojekt* l'ait fait.

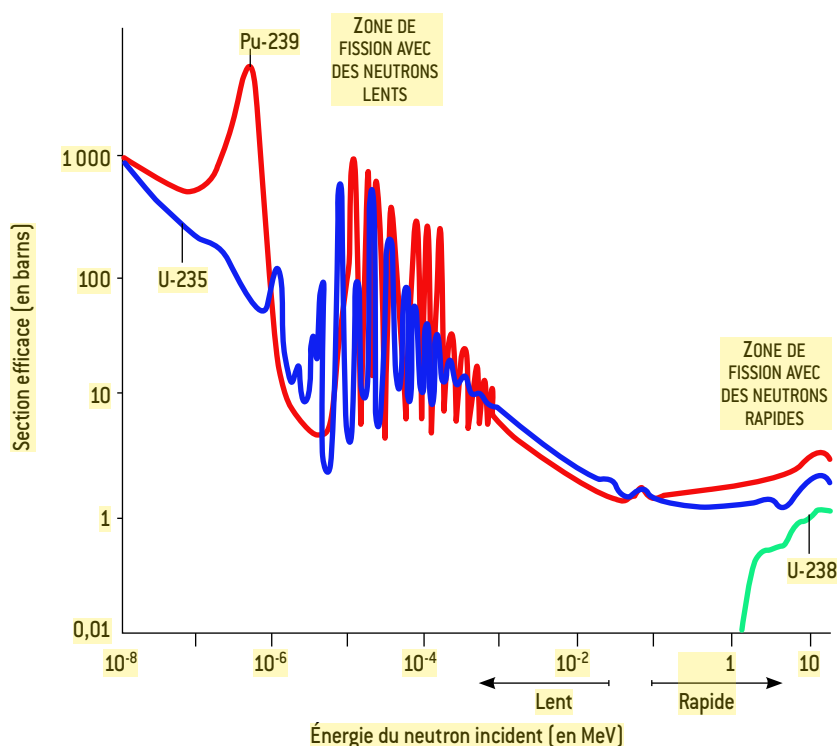
Ses physiciens ne se sont préoccupés en fait que des sections efficaces immédiatement utiles au fonctionnement d'un réacteur : celles de l'uranium naturel bombardé par des neutrons lents. Comme Niels Bohr avait montré que l'uranium 238 ne peut être fissionné par des neutrons de cette énergie (voir la figure page 74), on se concentrait sur les fissions de l'uranium 235, dont l'abondance naturelle n'est que de 0,7202 %...

Lorsque l'on bombarde de l'uranium naturel avec des neutrons rapides, les fissions de l'uranium 235 sont noyées dans celles, bien plus nombreuses, de l'uranium 238. Une séparation isotopique assez poussée pour obtenir des échantillons suffisamment enrichis en uranium 235 aurait pu permettre aux physiciens allemands d'obtenir la section efficace de l'uranium 235 bombardé par des neutrons rapides. Elle ne fut pas réalisée.

Pour déterminer la section efficace de l'uranium 235, les chercheurs de l'*Uranverein* auraient aussi pu prendre une autre voie. Josef Mattauch de l'institut Kaiser Wilhelm de chimie était un spécialiste de la spectroscopie de masse des isotopes. Il aurait pu séparer quelques microgrammes d'uranium 235, puis on s'en serait servi pour déterminer les sections efficaces utiles dans les cyclotrons de Paris ou de Copenhague. Rien ne fut entrepris en ce sens.

Or aucun historien n'a remarqué que l'*Uranverein* ne connaissait pas les sections efficaces nécessaires au calcul des masses critiques de bombes à l'uranium ou au plutonium, ni qu'il avait la possibilité de les déterminer, mais ne l'a pas fait !

L'autre condition nécessaire à la construction de la bombe est de connaître son principe de fonctionnement. L'*Uranverein* la remplissait-il ? Les rapports secrets de recherche allemands nous renseignent à ce propos : il semble que non. Jusqu'en 1942, ses chercheurs les adressaient au *Heereswaffenamt*, leur donneur d'ordre. Il est frappant de constater que dans toute cette masse de documents, de nombreuses fois copiés à la machine afin d'informer les membres de l'*Uranverein*, très peu concernent la bombe.



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