



© Underwood & Underwood/Corbis

1. LES LINGOTS D'ARGENT du Trésor américain, ici transportés de New York au dépôt de métaux précieux de West Point, dans l'État de New York, vers 1937. En 1942, le Congrès américain autorisa l'utilisation de

78 000 tonnes d'argent à des fins militaires. La même année, le Département de la Guerre commença à retirer en secret des tonnes d'argent du dépôt pour le projet Manhattan, à l'origine de la première bombe atomique.

qui touchait la recherche en physique nucléaire. Pour étudier les noyaux atomiques, on bombardait des atomes cibles avec des projectiles adéquats – des particules alpha (noyaux d'hélium) –, afin de déclencher des réactions. Toutefois, dans les années 1920, les particules alpha, obtenues par désintégration radioactive naturelle de certains éléments chimiques, étaient de basse énergie et, par conséquent, repoussées par les protons des noyaux cibles, même de masse moyenne. Aussi les expérimentateurs étaient-ils limités à des éléments cibles légers tels que l'aluminium et le magnésium. Pour étudier des noyaux plus lourds, il leur fallait un moyen d'accélérer leurs projectiles.

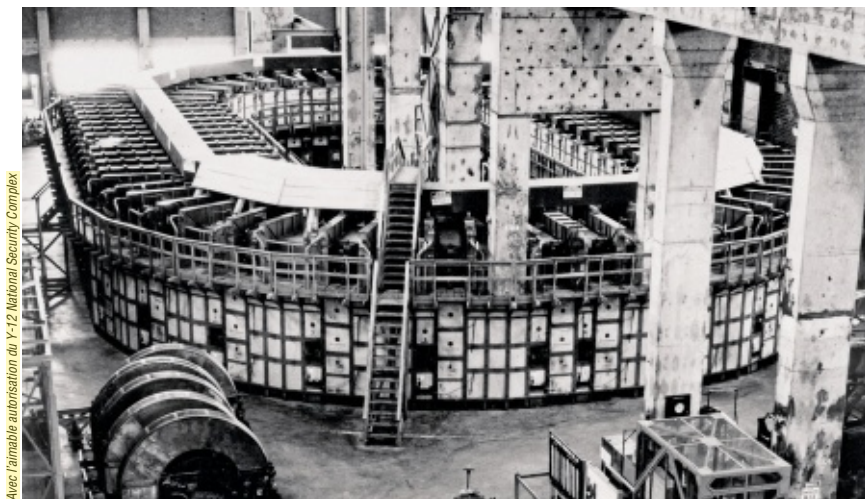
Le cyclotron de Lawrence avait apporté une telle solution : ce type d'accélérateur circulaire utilise un champ magnétique intense et un champ électrique alternatif. Injecté en son centre, un faisceau de particules char-

gées est courbé par le champ magnétique et suit une trajectoire circulaire qui traverse périodiquement le champ électrique. Chaque passage dans le champ électrique augmente la vitesse – et donc l'énergie – des particules, et accroît le rayon de leur trajectoire dans le champ magnétique. Les particules suivent ainsi des trajectoires en spirale jusqu'à ce qu'elles heurtent les parois externes de l'enceinte, recouvertes des atomes cibles. Le premier cyclotron de Lawrence mesurait environ 13 centimètres de diamètre. La version de 1939, de 1,5 mètre de diamètre, nécessitait, pour la création du champ magnétique, un aimant de 200 tonnes.

Le calutron de Lawrence est construit selon le même principe, mais sans champ électrique alternatif : des molécules ionisées de tétrachlorure d'uranium, préalablement accélérées par un champ électrique, sont libérées dans une enceinte circulaire où un champ

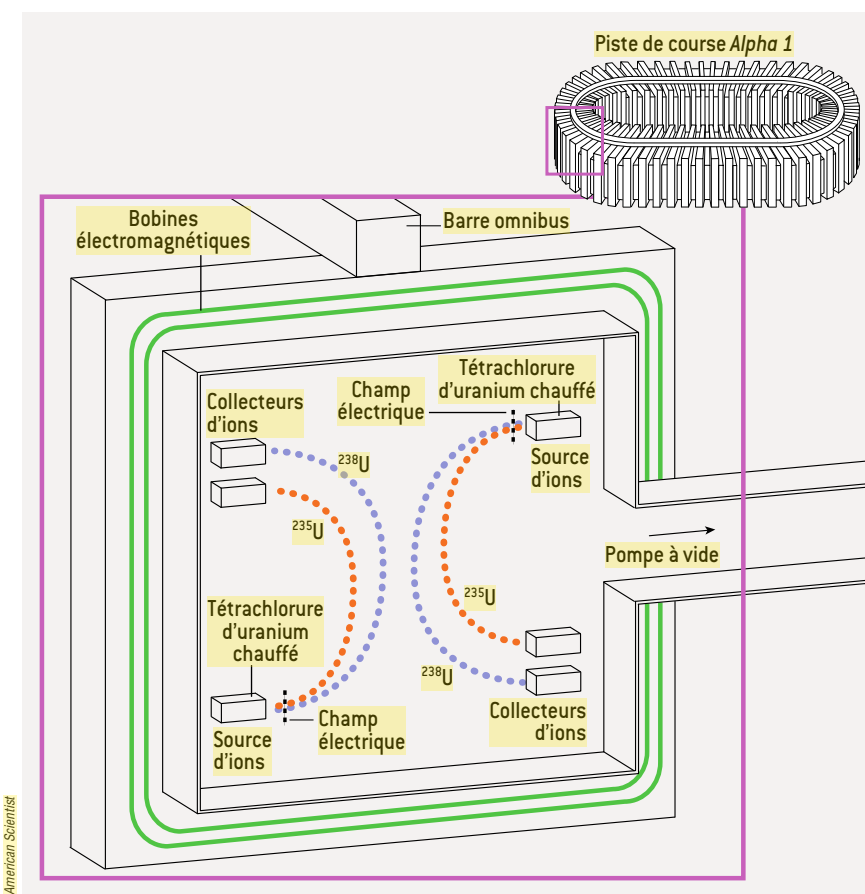
magnétique intense courbe leur trajectoire sans modifier leur vitesse. Leur trajectoire est ainsi circulaire et son rayon dépend de divers paramètres : l'intensité du champ magnétique, le degré d'ionisation des particules, leur vitesse initiale et, surtout, leur masse. Le rayon de l'orbite d'un ion est d'autant plus grand que sa masse est élevée. Ainsi, à partir d'uranium naturel, le calutron sépare les ions de l'isotope fissile de masse atomique 235, l'uranium 235, un isotope rare qui ne représente que 0,7 pour cent de l'uranium naturel, et ceux de l'isotope courant, non fissile, de masse atomique 238. L'écart entre les deux faisceaux est maximal après une demi-orbite seulement, c'est donc là que les isotopes sont recueillis (voir la figure 3). Ensuite, l'uranium 235 est séparé chimiquement des molécules de tétrachlorure.

Si la méthode est simple sur le papier, sa mise en pratique à Oak Ridge l'est beaucoup



Avec l'aimable autorisation du Y-12 National Security Complex

2. À L'USINE Y-12, LES CALUTRONS, enceintes qui, à partir d'uranium naturel, séparaient l'uranium fissile (^{235}U) nécessaire pour fabriquer la bombe de l'uranium non fissile (^{238}U), étaient groupés en énormes « pistes de course » pour optimiser la production.



American Scientist

3. DANS UN CALUTRON, du tétrachlorure d'uranium était vaporisé par chauffage, ce qui créait des ions de charge positive. Accéléré par un champ électrique, le faisceau d'ions pénétrait dans une enceinte à vide où il était courbé par le champ magnétique créé par un solénoïde – une bobine d'argent parcourue d'un courant. L'uranium 238, de masse atomique légèrement supérieure à celle de l'uranium 235, conduit à une trajectoire moins courbe que l'uranium 235, ce qui sépare les deux isotopes.

moins. Par exemple, pour trier les ions de tétrachlorure d'uranium, le champ magnétique doit être parfaitement uniforme. En outre, une grande proportion d'ions s'écrasent sur les parois internes des enceintes et doivent être récupérés en raclant les parois. Dès lors, le rendement de collecte n'est que d'environ dix pour cent. Par ailleurs, les variations thermiques des vitesses initiales des ions conduisent à un mélange des faisceaux. Et pour compliquer encore les choses, la différence de masse entre les deux isotopes est si faible (un pour cent), que leur séparation nécessite un champ magnétique extrêmement puissant. Enfin, les faisceaux ioniques, de même charge, se repoussent l'un l'autre, ce qui écarte leurs trajectoires des courbes idéales. Cet effet limite la production à 100 milligrammes d'uranium 235 par enceinte et par jour. Pour produire les 50 kilogrammes nécessaires pour une bombe atomique, Y-12 doit ainsi s'équiper de plus de 1 000 enceintes, dont la plupart contiennent plusieurs sources d'ions.

1 152 enceintes à construire

Début 1943, Groves autorise la construction de cinq unités d'enrichissement *Alpha-I*, contenant chacune 96 enceintes (et bobines) carrées. Les enceintes sont empilées en configurations ovales nommées « pistes de course » (voir la figure 2). Mais les enceintes situées dans les coudes des pistes sont difficiles à réguler. À l'automne 1943, quatre pistes de course *Alpha-II*, rectangulaires cette fois, sont ajoutées au dispositif, contenant également 96 enceintes et utilisant des bobines en forme de D. Les dispositifs *Alpha* ne fournissant un enrichissement en uranium 235 que de 15 pour cent, Groves approuve en outre la construction de huit unités *Bêta*, plus petites, qui enrichissent à leur tour l'uranium sorti des unités *Alpha* pour atteindre 90 pour cent, la qualité militaire requise pour la bombe (la dernière unité *Bêta* n'entrera en service qu'une fois la guerre terminée, fin 1945). Finalement, les neuf unités *Alpha* et les huit *Bêta* contiennent un total de 1 152 enceintes.