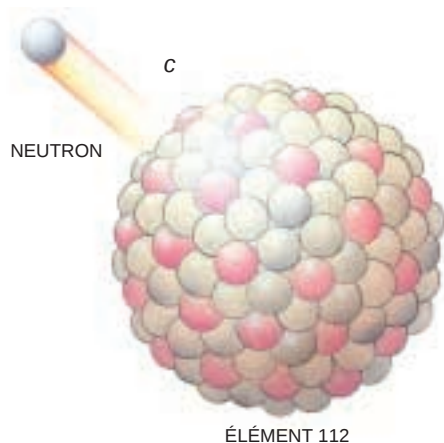
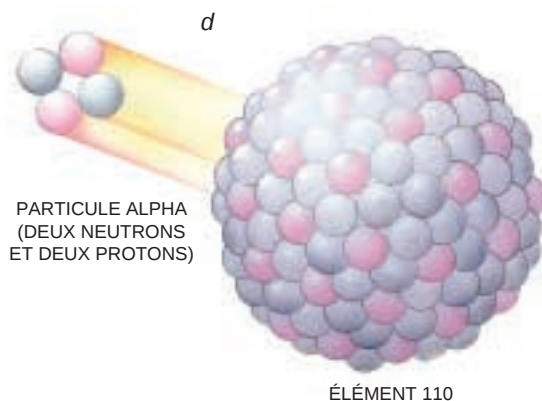


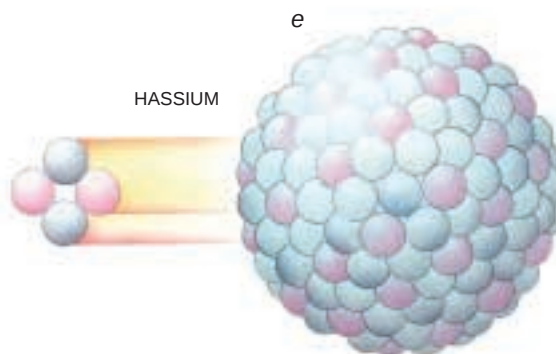


ÉLÉMENT 112

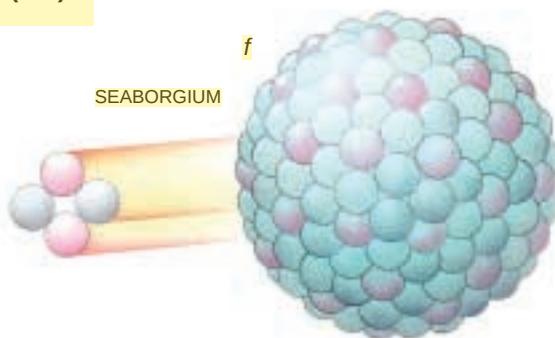


ÉLÉMENT 110

1. L'ÉLÉMENT 112 se forme lorsqu'un noyau de zinc percute un noyau de plomb avec une force suffisante pour compenser la répulsion électrique des deux noyaux chargés positivement (a). Ces derniers fusionnent (b) et forment un noyau très instable. Le noyau émet très rapidement un neutron, aboutissant à l'isotope 277 de l'élément 112 (c). Le nouvel élément subsiste plusieurs centaines de microsecondes, avant de se désintégrer plusieurs fois de suite, engendrant six éléments « fils » (d à i) : l'élément 110, le hassium (108), le seaborgium (106), le rutherfordium (104), le nobélium (102) et le fermium (100).



HASSIUM



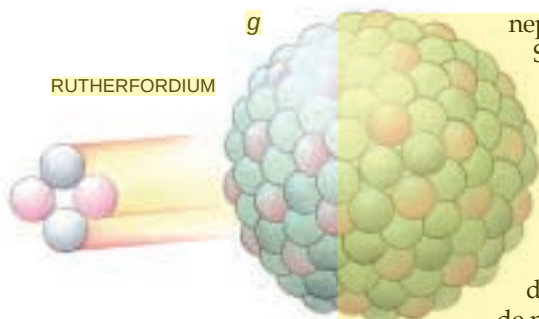
SEABORGIUM

plus de quelques millièmes de milliardième de gramme de fermium (10^{10} atomes). La recette de Fermi ne procure pas d'éléments plus lourds que le fermium : au-delà, la désintégration bêta n'a pas lieu. Une nouvelle approche était nécessaire.

Rivalités internationales

Pouvait-on alors bombarder des éléments lourds avec des éléments légers ? La fusion d'un élément transurannique – du plutonium (94) à l'einsteinium (99) – avec un élément léger, comme le carbone (l'élément 6), l'azote (7) ou l'oxygène (8), conduirait-elle à la formation d'un atome plus lourd ? Cette méthode posa des difficultés pratiques qu'il fallut résoudre.

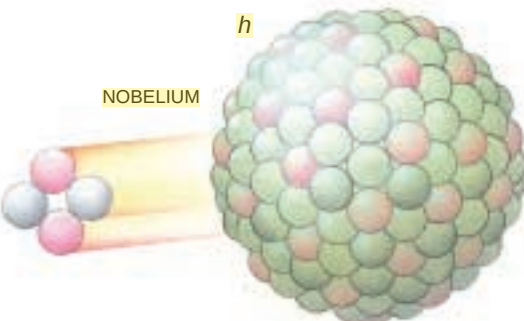
Pour réaliser ces expériences, les physiciens construisirent les premiers accélérateurs linéaires : ces appareils accélèrent des faisceaux d'ions à des énergies définies. En outre, l'utilisation d'éléments transuraniques requerrait un accès aux réacteurs nucléaires, l'apanage des deux grandes puissances de l'après-guerre. Durant la guerre froide, le Laboratoire américain Lawrence Berkeley, aux États-Unis, et l'Institut de recherche nucléaire de Dubna, en Union soviétique, rivalisaient non seulement scientifiquement, mais aussi politiquement.



RUTHERFORDIUM

neptunium, car, dans le Système solaire, Neptune est la première planète au-delà d'Uranus. Durant les années 1940 et 1950, Glenn Seaborg et ses collègues de Berkeley découvrirent une série de nouveaux éléments :

le plutonium (de numéro atomique 94), l'américium (95), le curium (96), le berkélium (97), le californium (98), l'einsteinium (99) et le fermium (100). Chacun de ces huit éléments peut être synthétisé en quantités mesurables, suivant le mécanisme proposé par Fermi : capture d'un neutron suivie d'une désintégration bêta. Cependant, la quantité produite varie beaucoup selon les éléments : plus de 1 000 tonnes (10^{30} atomes) de plutonium ont été créées dans le monde, mais on n'a pas obtenu



NOBELIUM



FERMIUM



2. UN TRAVAIL D'ÉQUIPE est nécessaire pour créer de nouveaux éléments. Les auteurs sont photographiés avec l'équipe qui a produit l'élément 112, l'élément artificiel le plus lourd synthétisé à ce jour. Peter Armbruster est le troisième à partir de la gauche dans la première rangée ; Fritz Peter Hessberger est dans la rangée du fond, à l'extrême gauche.

En 1955, le groupe de Berkeley obtint le mendelevium (101), par la fusion de l'hélium (2) et de l'einsteinium (99). Entre 1958 et 1974, les deux groupes créèrent le nobélium (102), le lawrencium (103), le rutherfordium (104), le dubnium (105) et le seaborgium (106). La rivalité était si âpre que les deux anciens camps débattaient encore de l'antériorité de la découverte de ces éléments, ainsi que de l'attribution de leurs noms. Les noms que nous utiliserons ici sont ceux qui ont été retenus par l'Union internationale de chimie pure et appliquée (voir le tableau page 72).

Après la fabrication du seaborgium, les physiciens se heurtèrent à un nouvel obstacle : la technique standard de fusion ne produisait pas d'éléments plus lourds. À cette époque, en 1975, l'accélérateur d'ions lourds UNILAC (*Universal Linear Accelerator*, soit «accélérateur linéaire universel») fut mis en route à l'Institut de recherche sur les ions lourds (GSI), à Darmstadt. Enfin, les physiciens et les chimistes allemands pouvaient participer à cette entreprise jusqu'alors réservée aux Américains et aux Soviétiques.

Cette machine était la première capable d'accélérer tous les types d'ions

(un ion est un atome qui a gagné ou perdu des électrons), y compris l'uranium, à des énergies continues et réglables, offrant une immense flexibilité aux essais de fusion de deux noyaux. L'un de nos quatre objectifs principaux avec l'UNILAC était la production des éléments 107 à 114 au moins. Pourquoi viser l'élément 114 ? Selon les théoriciens, ses protons et ses neutrons devraient remplir complètement les couches du noyau, qui serait ainsi particulièrement stable.

En 1948, Otto Haxel, Hans Jensen et Hans Suess, de l'Université de Heidelberg, ainsi que Maria Goeppert-Mayer, du Laboratoire d'Argonne, observèrent des régularités intéressantes, selon le nombre de neutrons et de protons des noyaux atomiques : les noyaux composés d'un certain nombre de neutrons et de protons sont plus stables que d'autres. Cette stabilité ressemble à la stabilité chimique des atomes : autour du noyau, les électrons occupent des niveaux d'énergie successifs ; certains niveaux contiennent jusqu'à deux électrons, d'autres en contiennent jusqu'à huit, et d'autres jusqu'à 14. Les atomes les plus stables chimiquement sont ceux dont la couche électronique externe est pleine.

Reprenant cette idée du remplissage des couches électroniques, Goeppert-Mayer et Jensen mirent au point une théorie du noyau atomique en couches et expliquèrent combien de protons et de neutrons remplissaient les couches des noyaux. Cette découverte leur valut le prix Nobel de physique, en 1963.

Tous les atomes d'un élément chimique ont le même nombre de protons dans le noyau. Toutefois, pour chaque élément, différents isotopes existent, chacun comprenant un nombre particulier de neutrons dans le noyau. Certains isotopes sont plus stables que d'autres. C'est le cas du calcium 40 (20 protons et 20 neutrons), du calcium 48 (20 protons et 28 neutrons), et du plomb 208 (82 protons et 126 neutrons). Un isotope de l'élément 114, avec 114 protons et 184 neutrons, devrait aussi avoir une couche pleine. Les éléments dont le nombre de protons ou de neutrons est proche de ceux de ces éléments très stables sont sur un «îlot de stabilité», au milieu d'une mer de noyaux instables.

À l'ouverture de l'UNILAC, nous étions impatients de voir si nous atteindrions cet îlot de stabilité autour de l'élément 114. Initialement, les théoriciens avaient prédit que les éléments voisins de l'élément 114 auraient des périodes de l'ordre du milliard d'années, comparables aux périodes de certains éléments plus légers comme l'uranium et le thorium (la période, ou demi-vie, d'un isotope est le temps après lequel la moitié d'un nombre donné de noyaux se sont désintégrés). Nous pensions alors être capables de produire des quantités considérables d'éléments superlourds, fournissant ainsi aux chimistes de nouvelles substances à étudier et aux physiciens nucléaires de nouveaux atomes. La déconvenue fut grande : quelle que soit la combinaison de noyaux cibles et de noyaux projectiles, les collisions n'engendraient pas l'élément 114. De surcroît, les efforts supplémentaires pour trouver ces éléments dans les minerais, les météorites ou les rayons cosmiques n'aboutirent pas.

La fusion froide

À Dubna, Iouri Oganessian et Alexander Demin avaient obtenu l'élément 100 en bombardant une cible de plomb (l'élément 82) avec des ions d'argon (l'élément 18). I. Oganessian

constata que l'échauffement des noyaux formés était inférieur à celui qui apparaissait quand on bombardait des isotopes transuraniens très lourds avec des ions très légers. Cette idée fut à l'origine d'une nouvelle méthode de production d'éléments superlourds : l'énergie d'excitation des noyaux formés lors des collisions étant inférieure, un nombre supérieur de noyaux survient à la fusion, parce que leurs nucléons (protons et neutrons) sont moins agités, donc mieux groupés.

Notre équipe s'intéressa à cette technique, que nous avons nommée «fusion froide» (cette fusion froide n'a rien à voir avec celle qui fit la une des journaux, il y a quelques années). Les chercheurs de Berkeley considérèrent la fusion froide comme une curiosité, mais, pour nous, elle présentait plusieurs avantages. D'une part, les matériaux de base, le plomb et le bismuth, étaient plus accessibles que les éléments produits par des réacteurs nucléaires. D'autre part, la configuration de l'UNILAC nous permettait d'utiliser tous les types d'ions comme projectiles et de faire varier leur énergie par paliers.

Nous avons aussi l'appareillage adéquat pour isoler et détecter les produits d'une réaction de fusion : notre collègue Gottfried Münzenberg avait construit un filtre, nommé séparateur des produits de réaction d'ions lourds (SHIP, pour *Separator for Heavy-Ion reaction Products*), qui écarte les projectiles et les produits résiduels de la réaction de fusion et concentre les produits recherchés sur un détecteur, où on les identifie par leurs produits de désintégration radioactive.

Au-delà de l'élément 107

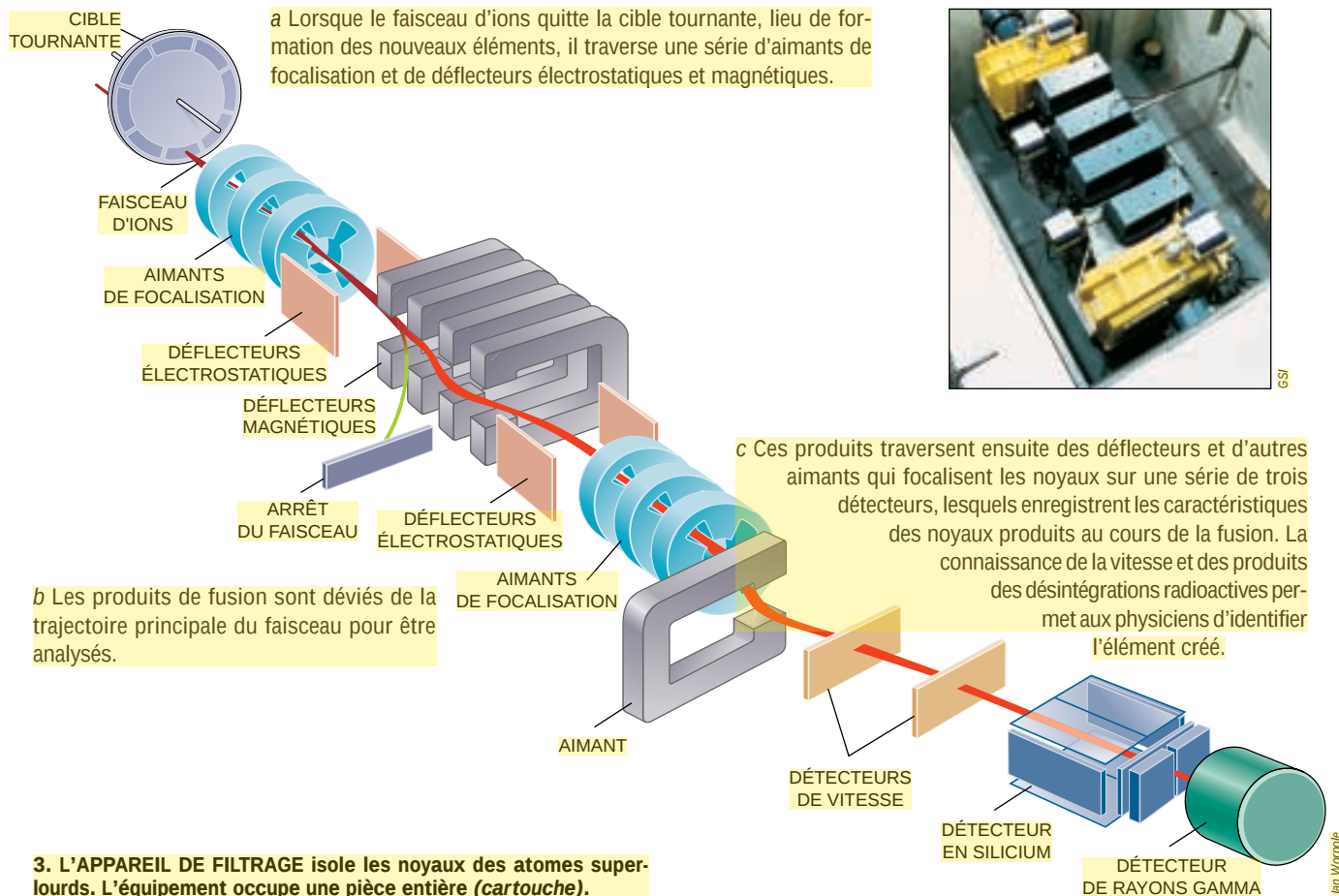
Au début des années 1980, nous avons démontré que la fusion froide fonctionnait : nous avons synthétisé et identifié le bohrium (l'élément 107), le hassium (108) et le meitnerium (109).

Après ce succès, nous avons compris que le franchissement de l'étape suivante nécessitait des améliorations de nos techniques expérimentales. Pour produire un seul atome de meitnerium, l'élément 109, par exemple, nous avons dû faire fonctionner l'accélérateur pendant deux semaines. De surcroît, à chaque création d'un

nouvel élément, la probabilité d'obtenir un nouveau noyau diminuait d'un facteur trois, ce qui compliquait sa détection.

Malgré ces difficultés, nous avons poursuivi les études de la fusion froide, tandis que les équipes de Berkeley et de Dubna étaient revenues à la méthode précédente, de «fusion chaude». En modifiant notre accélérateur linéaire, nous avons triplé l'intensité du faisceau d'ions et la sensibilité de l'appareil de filtrage, et construit des détecteurs de sensibilité accrue, essentiellement sous la houlette de Sigurd Hofmann.

Au redémarrage des expériences sur l'UNILAC, en 1993, nous avons testé notre nouvel appareillage avec des faisceaux d'argon 40 (à 18 protons et 22 neutrons) et de titane 50 (à 22 protons et 28 neutrons), qui avaient été utilisés pour créer divers isotopes du mendelevium et du rutherfordium. D'autres réglages permirent de calibrer l'énergie nécessaire à l'obtention de l'élément 110. Dans tous ces essais, les améliorations étaient patentées : l'intensité du faisceau et la sensibilité du détecteur étaient accrues.



3. L'APPAREIL DE FILTRAGE isole les noyaux des atomes superlourds. L'équipement occupe une pièce entière (cartouche).