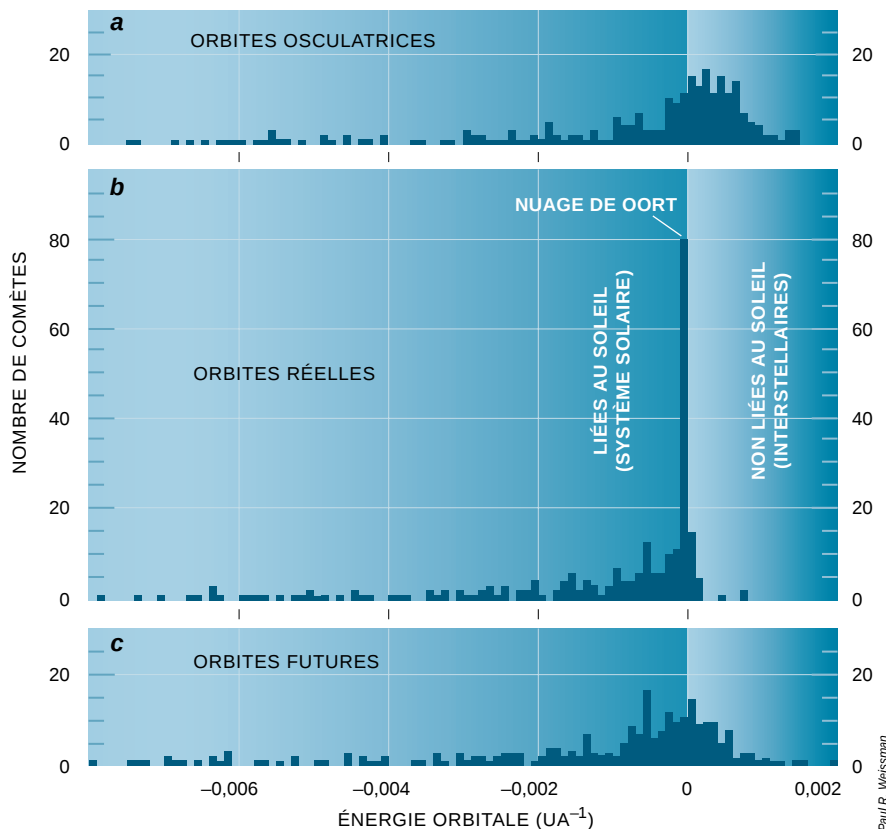




6. L'ÉNERGIE ORBITALE des comètes à longue période connues révèle le nuage de Oort. Les astronomes calculent d'abord les orbites osculatrices des comètes, c'est-à-dire les orbites qu'elles suivraient si leurs mouvements étaient entièrement déterminés par l'attraction gravitationnelle du Soleil (l'énergie orbitale est inversement proportionnelle au demi-grand axe de l'orbite et s'exprime en inverse de l'unité astronomique, UA⁻¹). Un tiers de ces orbites a une énergie positive, associée à une orbite hyperbolique : les objets correspondants semblent avoir une origine interstellaire (a). Toutefois, quand on prend en compte l'influence des planètes, on calcule que l'énergie de la plupart des comètes est légèrement négative : les comètes ont une orbite elliptique et elles semblent provenir des confins du Système solaire (b). Quelques comètes conservent une énergie positive, après ces corrections, mais leur origine interstellaire apparente résulte probablement d'erreurs d'observation. Sous l'action conjointe des planètes et du Soleil, certaines comètes retournent vers le nuage de Oort, d'autres quittent le Système solaire et d'autres encore reviendront visiter le Système solaire interne (c).

envoient une proportion notable de leurs comètes dans le nuage de Oort. Bien que cette proportion soit peut-être inférieure à celle qui a été envoyée par Uranus et par Neptune, elle peut avoir été compensée par la quantité de matière supérieure initialement présente dans les zones des planètes plus massives.

Si les comètes du nuage de Oort ont été formées à des distances variées du Soleil, les températures de leur formation ont différé. Ainsi s'expliquerait en partie la diversité de composition observée parmi les comètes. En effet, des travaux récents ont indiqué que le nuage de Oort contient même des astéroïdes de la région des planètes intérieures. Ces objets, constitués de roches plutôt que de glaces, représenteraient deux à trois pour cent de la population totale du nuage de Oort.

Ces idées sont toutes fondées sur la présence des planètes géantes, qui catapultent les comètes vers l'extérieur et modifient leurs orbites lorsqu'elles reviennent dans la région planétaire. Si d'autres étoiles possèdent des planètes géantes, comme le suggèrent les observations de ces dernières années, elles ont peut-être également des nuages de Oort. Si ces étoiles et leur cortège de comètes passent près du Soleil, les nuages pourraient s'interpénétrer. Même ainsi, les collisions entre comètes seront rares, parce que la distance moyenne entre comètes est d'au moins une unité astronomique.

Les nuages de Oort autour des étoiles autres que le Soleil laissent peut-être échapper des comètes dans le milieu interstellaire. Des comètes interstellaires qui passeraient près du Soleil seraient facilement reconnaissables en

raison de leur vitesse bien supérieure à celle des comètes de notre nuage de Oort. Aucune comète interstellaire de ce type n'a encore été détectée, mais ce n'est guère surprenant : le Système solaire est une cible minuscule dans l'immensité de l'espace interstellaire, et la probabilité qu'une comète interstellaire soit passée dans le Système solaire interne au cours des derniers siècles est au mieux de un demi.

Le nuage de Oort continue à fasciner les astronomes. Grâce à la mécanique céleste, la nature a préservé dans ce lointain réservoir un échantillon du matériau qui a formé le Système solaire. En étudiant la dynamique de ce réservoir et la composition chimique des comètes qui en sortent, les astronomes comprennent mieux l'origine du Système solaire.

Plusieurs missions spatiales d'étude des comètes sont en préparation. La sonde *Stardust*, qui sera lancée l'an prochain, traversera la chevelure de la comète Wild 2, recueillera des échantillons de poussière cométaire et les rapportera sur Terre. Quelques années plus tard, l'engin *CONTOUR* survolera trois comètes et comparera leurs compositions. La mission *Deep Space 4/Champlion* enverra un orbiteur et un module d'atterrissage sur la comète Tempel 1, et la mission *Rosetta* fera de même pour la comète Wirtanen. Le prochain millénaire sera celui de l'étude des comètes.

Paul WEISSMAN est astronome au Laboratoire pour la propulsion spatiale (JPL), à Pasadena (Californie).

Donald K. YEOMANS, *Comets : A Chronological History of Observation, Science, Myth and Folklore*, John Wiley & Sons, 1991.

Comets in the Post-Halley Era, sous la direction de Ray L. Newburn, Jr., Marcia Neugebauer et Jürgen Rahe, Kluwer Academic Publishers, 1991.

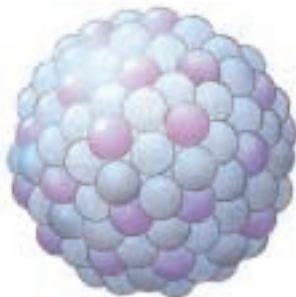
Julio A. FERNANDEZ, *Dynamics of Comets : Recent Developments and New Challenges*, in *Asteroids, Comets, Meteors 1993 : Proceedings of the 160th Symposium of the International Astronomical Union*, sous la direction de A. Milani, M. Di Martino et A. Cellino, Kluwer Academic Publishers, 1994.

Completing the Inventory of the Solar System, sous la direction de Terrence W. Rettig et Joseph M. Hahn, *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, vol. 107, 1996.

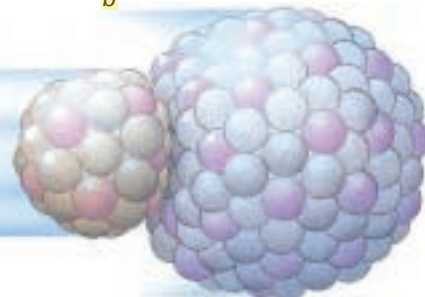
a



FER



b



La création de nouveaux éléments

PETER ARMBRUSTER • FRITZ PETER HESSBERGER

Au cours des dernières années, les physiciens ont créé trois nouveaux éléments : les éléments 110, 111 et 112. La quête des éléments 113 et 114 est en cours. Créera-t-on des éléments chimiques encore plus lourds ?

Les physiciens qui cherchent de nouveaux éléments chimiques doivent avoir une âme de joueur : quand ils projettent deux noyaux atomiques l'un contre l'autre, la probabilité qu'ils fusionneront est mince ! En outre, les produits résultants sont extrêmement fragiles et la plupart se fragmentent immédiatement. Exceptionnellement, un nouvel élément survit à la collision dans une configuration stable, l'état fondamental. Toutefois, il n'est alors présent qu'en quantités infimes : pour synthétiser l'élément 112, le plus lourd élément artificiel connu à ce jour, nous avons travaillé en continu pendant 24 jours. Au final, nous n'avons obtenu que deux noyaux de cet élément, qui subsistèrent quelques microsecondes.

Lorsque nous avons commencé la chasse à l'élément 113, au printemps dernier, nous attendions une production deux ou trois fois inférieure. Aussi avons-nous fait durer l'expérience pendant 42 jours. Nous n'avons rien trouvé. Avions-nous choisi un mauvais réglage de l'énergie des faisceaux ? La probabilité de formation

est-elle inférieure à celle que nous avions calculée ? L'élément 113 a-t-il des caractéristiques inhabituelles qui le rendent difficile à détecter avec notre appareillage ?

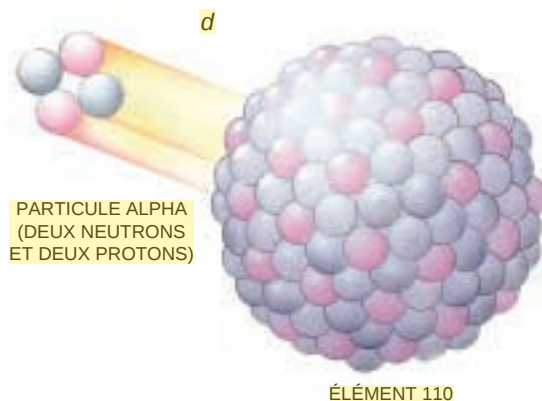
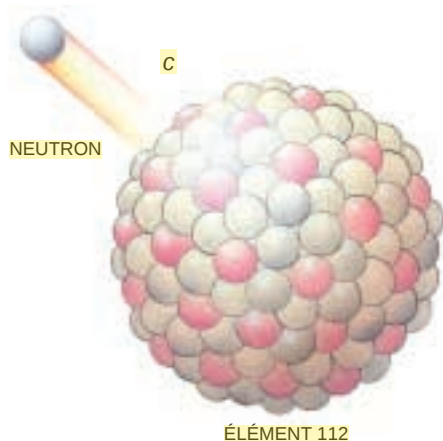
Malgré les difficultés de fabrication de nouveaux éléments ne subsistant que des fractions de seconde, ces questions nous ont poussés à poursuivre cette recherche. En 60 ans, les chercheurs ont produit 20 éléments artificiels au-delà de l'uranium. Combien en créeront-ils encore ?

Les éléments artificiels

En 1936, Emilio Segrè, de l'Université de Palerme, reçut de son ami, Ernest Lawrence, une partie du cyclotron de Berkeley. Cette pièce de molybdène avait été irradiée, au cours de la vie du cyclotron, par des noyaux de deutérium (une forme lourde de l'hydrogène, avec un noyau composé d'un proton et d'un neutron). En analysant un échantillon de cette pièce, il découvrit le premier élément chimique artificiel, le technétium, l'élément de numéro atomique 43 (le numéro atomique est le nombre de protons dans le noyau atomique).

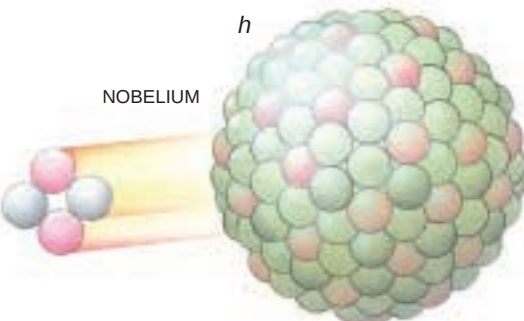
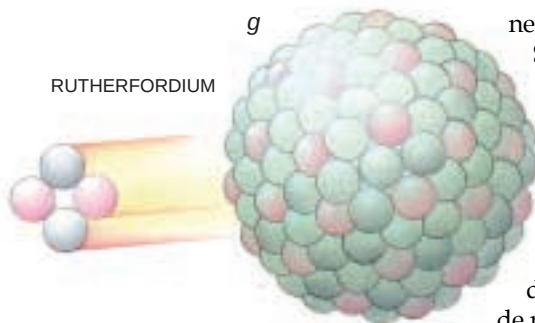
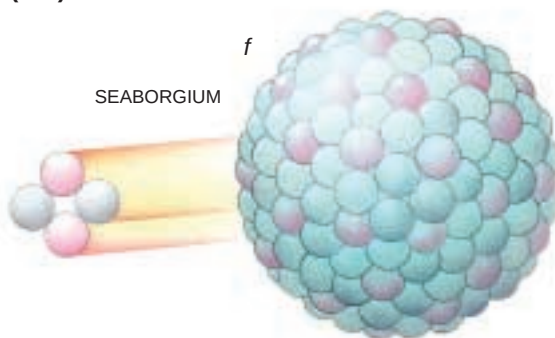
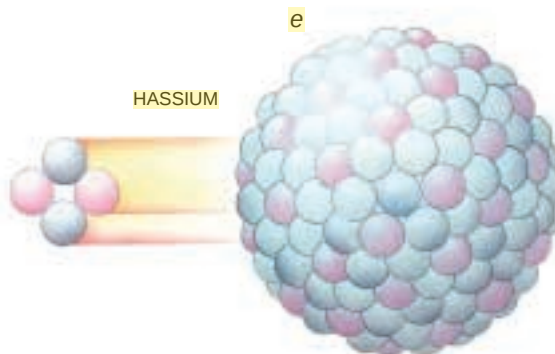
Segrè devait l'idée de son expérience à un autre physicien italien, Enrico Fermi. En 1934, Fermi avait prédit que l'on pourrait créer de nouveaux éléments en bombardant des atomes avec des neutrons : quand un neutron pénètre dans un noyau atomique, il est parfois capté, et le noyau résultant est soit stable, soit radioactif. Dans ce dernier cas, le neutron se désintègre en un proton, un électron et un antineutrino (une particule subatomique légère, sans charge électrique) : c'est la désintégration bêta. Ainsi, à chaque capture de neutron suivie d'une désintégration bêta, le nombre de protons dans le noyau augmente d'une unité : un élément de numéro atomique supérieur se forme.

Cette idée d'irradier les noyaux de divers éléments avec des neutrons fut reprise par d'autres groupes de recherche. En 1940, à l'Université de Berkeley, Edwin McMillan et Philip Abelson obtinrent l'élément inconnu suivant : par irradiation de neutrons dans le cyclotron du laboratoire, ils synthétisèrent l'élément 93 – le premier élément de numéro atomique supérieur à celui de l'uranium. Cet élément 93 fut nommé



Tomo Narashima

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).



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

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 transuranniques 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.