

Le 9 novembre 1994, après un arrêt de plus de dix ans, nous identifîâmes les produits de désintégration de l'élément 110, alors inconnu : par la fusion de plomb 208 (l'élément 82) avec du nickel 62 (l'élément 28), nous obtenions un nouveau noyau composé de 110 protons et de 160 neutrons. Ce noyau a rapidement émis un neutron, devenant l'isotope 269 de l'élément 110. Ce nouvel isotope avait une période de 170 microsecondes ; nous l'avons identifié grâce à sa désintégration en des éléments de plus en plus légers. Le noyau a d'abord émis une série de quatre particules alpha (composées de deux neutrons et de deux protons) et formé l'isotope 257 du rutherfordium (l'élément 104). Dans d'autres expériences, nous avons aussi créé l'isotope 271 de l'élément 110.

Un peu plus d'un mois plus tard, le 17 décembre 1994, date du 25^e anniversaire du GSI, nous avons découvert l'élément 111 après avoir irradié

du bismuth 209 avec du nickel 64. Cette expérience a corroboré la théorie des couches nucléaires : conformément à la théorie, deux des produits de désintégration de l'élément 111 (l'isotope 268 du meitnerium et l'isotope 264 du bohrium) se révélèrent plus stables que les isotopes plus légers de ces éléments observés auparavant.

Pour la série d'expériences suivantes, nous avons utilisé comme projectile le zinc 70, un élément riche en neutrons, espérant créer les éléments 112 et 113. Le 9 février 1996, nous avons synthétisé l'élément 112, l'élément le plus lourd jamais créé en laboratoire.

Le butin final était toutefois inférieur aux espérances initiales ; comme mentionné précédemment, nous avons fabriqué deux atomes en 24 jours. La période de l'élément 112 était de 240 microsecondes. Nous étions capables d'identifier l'isotope 277 de l'élément 112 en observant sa désintégration radioactive et en suivant l'émis-

sion de six particules alpha successives pour aboutir au fermium 253 (voir les figures 1 et 2). Durant cette désintégration, nous avons identifié un nouvel isotope de l'élément 110 et un nouvel isotope du hassium (l'élément 108). L'isotope de l'élément 112 était le premier noyau que nous ayons créé avec plus de 162 neutrons, une quantité qui constitue une couche nucléaire déformée remplie. Ce facteur a contribué à la stabilité croissante de certains produits de la désintégration de l'élément : le hassium 269, produit lors de la désintégration de cet isotope de l'élément 112, a une période de 9,3 secondes, tandis que le hassium 265, qui avait été observé dans des expériences précédentes, a une période de 1,7 milliseconde seulement. Ces découvertes ont corroboré les prédictions des théoriciens : avec 162 neutrons, les couches du noyau seraient complètement remplies.

La création d'éléments super-lourds est le fruit d'une planification

Dénomination et politique

Les contestations sur l'antériorité de la découverte des éléments 102 à 109 eurent pour résultat une controverse internationale sur leurs dénominations. En 1994, l'Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC) chargea la Commission sur la nomenclature en chimie inorganique (CNIC) d'établir les noms officiels de ces éléments

(beaucoup avaient été nommés de manière informelle par leurs découvreurs). Toutefois, la liste proposée par la Commission ne fit qu'envenimer le débat. En 1997, l'IUPAC sollicita l'avis des chimistes du monde entier et, en août, les noms définitifs furent adoptés. Les éléments 110 à 112 n'ont pas encore été officiellement nommés.

ÉLÉMENT	DÉCOUVREUR(S)	NOMS PROPOSÉS (par)	NOM OFFICIEL (symbole chimique)
102	Revendication initiale : l'Institut Nobel à Stockholm, Suède Revendication ultérieure : l'Université de Berkeley ; l'Institut de recherche nucléaire, Dubna, Russie	Jolotium (Dubna) Nobelium (Institut Nobel, CNIC)	Nobelium (No) ; en l'honneur d'Alfred Nobel, inventeur suédois et fondateur des prix Nobel
103	Contesté ; les groupes de Dubna et de Berkeley revendiquent tous deux l'antériorité	Lawrencium (Berkeley, CNIC)	Lawrencium (Lr) ; en l'honneur d'Ernest Lawrence, inventeur du cyclotron
104	Contesté ; les groupes de Dubna et de Berkeley revendiquent tous deux l'antériorité	Dubnium (CNIC) Kurchatorium (Dubna) Rutherfordium (Berkeley)	Rutherfordium (Rf) ; en l'honneur du physicien né en Nouvelle-Zélande, Ernest Rutherford, dont le travail a été essentiel pour la compréhension du noyau
105	Contesté ; les groupes de Dubna et de Berkeley revendiquent tous deux l'antériorité	Hahnium (Berkeley) Jolotium (CNIC) Nielsbohrium (Dubna)	Dubnium (Db) ; en l'honneur du laboratoire de Dubna
106	Berkeley (non contesté)	Rutherfordium (CNIC) Seaborgium (Berkeley)	Seaborgium (Sg) ; en l'honneur de Glenn Seaborg, chimiste américain qui fut codécouvreur de 11 éléments artificiels
107	Institut de recherche sur les ions lourds (GSI), Darmstadt, Allemagne (non contesté)	Bohrium (CNIC) Nielsbohrium (GSI)	Bohrium (Bh) ; en l'honneur du physicien danois Niels Bohr, dont la recherche contribua à la compréhension moderne de l'atome
108	GSI (non contesté)	Hahnium (CNIC) Hassium (GSI)	Hassium (Hs) ; nommé d'après l'État allemand de Hesse, où est située Darmstadt
109	GSI (non contesté)	Meitnerium (GSI, CNIC)	Meitnerium (Mt) ; en l'honneur de Lise Meitner, la physicienne autrichienne qui conçut l'idée de fission nucléaire



4. LES LABORATOIRES DE HAUTE TECHNOLOGIE comme l'Institut de recherche nucléaire de Dubna, en Russie (en haut), et le Laboratoire Lawrence Berkeley, aux États-Unis (à droite), ont été le foyer de nombreux nouveaux éléments.

soigneuse. Le succès est arrivé par intermittence, et les progrès récents ne sont pas l'exception. La prochaine étape, difficile à atteindre, est la fabrication des éléments 113 et 114. Malgré des efforts soutenus, aucun laboratoire au monde n'a encore créé ces éléments. Néanmoins, un long chemin a été parcouru depuis les années 1940, quand Niels Bohr prédisait que le fermium, l'élément 100, serait le dernier du tableau périodique. Nous identifions aujourd'hui de nouveaux éléments de période inférieure à dix microsecondes. Si, sur dix milliards d'essais, deux noyaux fusionnent pour former un seul atome superlourd, nous le trouverons.

À mesure que nous créons de nouveaux éléments, les progrès sont de plus en plus difficiles. La fusion froide et l'amélioration des techniques expérimentales pourraient aboutir à l'élément 114 si convoité, mais une loi fondamentale de la physique gêne l'obtention d'éléments plus lourds : les protons, positivement chargés, se repoussent avec des forces qui augmentent avec la taille du noyau. Jusqu'ici, nous avons surmonté ces forces, mais nous ne serons pas capables de continuer indéfiniment.

Aujourd'hui, tous les laboratoires cherchant des éléments superlourds collaborent étroitement, et la compétition politique entre les pays n'est plus une force motrice majeure. Toutefois, nous espérons que, même sans pressions politiques, les États continueront à soutenir la recherche sur les éléments superlourds. Cette recherche n'engendrera pas directement des résultats industrialisables, mais les résultats intellectuels et techniques justifient certainement les efforts : nous savons que le nombre d'éléments chimiques est fini. La question lancinante est : quelle est la limite ?

Peter ARMBRUSTER et Fritz Peter HESSBERGER travaillent à l'Institut de recherche sur les ions lourds (GSI), à Darmstadt.

Peter ARMBRUSTER, *On the Production of Heavy Elements by Cold Fusion : The Elements 106 to 109*, in *Annual Review of Nuclear and Particle Science*, vol. 35, pp. 135-194, 1985.

Gottfried MÜNZENBERG, *Recent Advances in the Discovery of Transuranium Elements*, in *Report on Progress in Physics*, vol. 51, n° 1, pp. 57-104, janvier 1988.

Peter ARMBRUSTER et Gottfried MÜNZENBERG, *La création d'éléments superlourds*, in *Pour la Science*, juillet 1989.

Richard STONE, *An Element of Stability*, in *Science*, vol. 278, pp. 571-572, 24 octobre 1997.

Peter ARMBRUSTER, *Meine 40 Jahre Mit Rückstossspektrometern*, in *Physics Blätter*, vol. 53, pp. 661-668, 1997.

Sigurd HOFMANN, *New Elements : Approaching Z = 114*, in *Reports on Progress in Physics*, vol. 61, n° 6, pp. 639-689, juin 1998.

La classification périodique des éléments

ERIC SCERRI

Depuis ses prémices, il y a environ 200 ans, la classification périodique est devenue un outil essentiel pour les chimistes modernes.

Le tableau de Mendeleïev est une des vedettes de la chimie : sous une forme synthétique, il rassemble une quantité considérable de connaissances. Suspendu au mur de la plupart des laboratoires de chimie du monde, présent sur les pages de garde de la plupart des manuels, il n'a pas d'équivalent dans les autres disciplines scientifiques.

Pendant près de deux siècles, les classifications d'éléments chimiques ont été discutées et perfectionnées. Après les travaux de Mendeleïev, les cases vides du tableau qu'il proposa ont été remplies par les chimistes ou par les physiciens qui découvrirent de nouveaux éléments.

Toutefois, les bouleversements scientifiques du début du siècle – la constitution de la théorie de la relativité et de la mécanique quantique – n'ont pas remanié le tableau de Mendeleïev. Quelques découvertes ont semblé menacer ses fondements, mais, chaque fois, les scientifiques ont préservé sa structure, tout en incorporant les nouveaux résultats. Le tableau de Mendeleïev est remarquable par son ancienneté et par sa modernité.

Le tableau de Mendeleïev, qui matérialise la classification périodique des éléments chimiques, met en valeur des ressemblances chimiques entre ces éléments, à intervalles de numéros atomiques périodiques (le numéro atomique est le nombre de protons présents dans le noyau). Sans la périodicité exprimée par cette classification, les étudiants en chimie devraient apprendre les propriétés de chacun des 112 éléments connus. Grâce à la classification périodique, les chimistes déterminent les propriétés de n'importe quel élément en

cherchant la famille à laquelle il appartient. Ces familles forment les colonnes du tableau.

Le système périodique de classification des éléments n'a pas été découvert par un génie isolé : c'est l'aboutissement d'avancées scientifiques nombreuses, qui furent un jour résumées sous une forme graphique simple. Cependant, les historiens des sciences considèrent qu'un événement marque la naissance formelle du tableau périodique moderne : le 17 février 1869, un professeur de chimie russe, Dmitri Ivanovitch Mendeleïev, termina le premier de ces nombreux tableaux périodiques. Il classait les 63 éléments connus selon leur masse atomique et selon leurs propriétés chimiques ; Mendeleïev avait aussi laissé des cases vides pour des éléments alors non découverts, dont il prédisait les masses atomiques.

Avant Mendeleïev, de nombreux chimistes avaient cherché des principes organisateurs pour classer les éléments. En 1787, par exemple, Antoine Laurent de Lavoisier, Antoine Fourcroy, Louis-Bernard Guyton de Morveau et Claude-Louis Berthollet avaient dressé une liste des 33 éléments connus à leur époque. Toutefois, cette liste, et d'autres qui suivirent, n'avaient qu'une seule dimension ; de surcroît, elle n'était pas encore périodique. La force du tableau moderne réside dans la représentation en deux dimensions, voire en trois dimensions, de tous les éléments connus.

Soucieux des relations entre les éléments, le chimiste allemand Johann Döbereiner souligna, en 1817, que bien des éléments connus pouvaient être rangés par leurs similarités en groupes de trois, qu'il nomma triades : le

lithium, le sodium et le potassium formaient une triade ; le chlore, le brome et l'iode formaient une autre triade. Il observa que, quand on classait les éléments des triades par ordre de masse atomique, les propriétés de l'élément central étaient intermédiaires entre celles des premier et troisième éléments. Par exemple, le lithium, le sodium et le potassium réagissent avec l'eau ; cependant, le lithium, le moins massif de la triade, réagit moins que les deux autres, et le plus massif des trois, le potassium, réagit plus violemment que le sodium. De surcroît, Döbereiner montra que la masse atomique de l'élément central est proche de la moyenne de la masse du premier élément et de celle du troisième membre de la triade.

Les propriétés périodiques des éléments

Ce travail encouragea les chimistes à rechercher des corrélations entre les propriétés chimiques des éléments et leur masse atomique. Parmi ceux qui poursuivirent l'approche de la triade au XIX^e siècle, Peter Kremers, de Cologne, observa que certains éléments appartenaient à deux triades disposées perpendiculairement. Kremers franchit ainsi une nouvelle étape en comparant les éléments dans deux directions, une caractéristique qui sera un aspect essentiel du système de Mendeleïev.

La caractéristique principale de la classification de Mendeleïev est la périodicité des propriétés des éléments, à intervalles réguliers. Ce comportement avait déjà été observé dans un classement des éléments selon la masse atomique conçu en 1862 par le géologue