L'Act. Chim. (H) 1997, 12, 26-31

Le rôle de la chimie dans l'histoire de la radioactivité (1898-1939)*

Jean-Pierre Adloff** *professeur*

Summary : ***The role of chemistry in the history of radioactivity (1898-1939)***

Chemical research on radioactivity started in 1898. That year, Pierre and Marie Curie discovered in pitchblende polonium and radium. Rutherford and Soddy showed that radioactivity is an atomic phenomenon accompanied by transmutation of elements and established the basic laws of radioactive changes. The existence of isotopes was postulated after the discovery of many radioactive substances. Major discoveries in nuclear science, i.e. the atomic nucleus, the neutron and artificial radioactivity, were made with radiation sources elaborated by chemists. Finally, in 1939, radiochemists on the search for transuranium elements, discovered nuclear fission.

Mots clés : ***Radioactivité, histoire.***
Key-words : *Radioactivity, history.*

Depuis l'isolement des premiers radioéléments en 1898, la chimie est omniprésente dans l'histoire de la radioactivité. Les sources de rayonnements élaborées avec ces éléments ont conduit à la découverte du noyau atomique, à la radioactivité artificielle et à la fission, et par conséquent à l'énergie nucléaire. Réciproquement, la chimie dans ses aspects les plus variés a largement bénéficié des retombées de la radioactivité et des méthodes nucléaires.

La symbiose de la chimie et des sciences nucléaires apparaît dans la liste des prix Nobel de chimie attribués à des travaux avec le leitmotiv radioactivité (*tableau I*) et dans l'achèvement du tableau périodique dressé en 1869 par Mendeleev. En 1896, année de la découverte de la radioactivité, le tableau comprenait 76 éléments. Parmi les 15 cisuraniens manquants, 9 sont des radioéléments qui s'ajoutent aux deux radioéléments de l'ère pré-Becquerel, l'uranium et le thorium (*tableau II*).

Entre1900 et 1913, le démêlement des familles radioactives par les radiochimistes a contribué à établir les lois fondamentales de la radioactivité et à reconnaître l'existence d'isotopes. La preuve de la transmutation d'aluminium en phosphore à l'origine de la découverte de la radioactivité artificielle a été établie chimiquement et ce sont les chimistes qui ont écrit le feuilleton de la découverte de la fission.

La commémoration du centenaire de la radioactivité recouvre les événements des années 1896 à 1898. Il est donc opportun de rappeler les circonstances de la découverte du polonium et du radium. Celles-ci sont résumées dans trois communications présentées à l'Académie des sciences par Pierre Curie (1859-1906) et Marie Curie (1867-1934) au cours de l'année cruciale 1898 [1].

Tableau I - Prix Nobel de chimie en relation avec la radioactivité.

1908	Ernest Rutherford chimie des substances radioactives
1911	Marie Curie découverte du polonium et du radium
1921	Frédérick Soddy origine et nature des isotopes
1935	Frédéric Joliot et Irène Curie découverte de la radioactivité artificielle
1943	George de Hevesy emploi des isotopes comme indicateurs
1944	Otto Hahn découverte de la fission
1951	Edwin M. McMillan et Glenn T. Seaborg chimie des éléments transuraniens
1960	Willard F. Libby datation par le radiocarbone

* Exposé présenté à la Journée de conférences organisée par la SFC, le 15 mai 1997 à la Maison de la Chimie à Paris, dans le cadre de la célébration du Centenaire de la découverte de la radioactivité par Henri Becquerel.

** Institut de Recherches Subatomiques, Chimie nucléaire, BP 28, 67037 Strasbourg Cedex 2. Tél. : 03.88.10.64.04. Fax : 03.88.10.64.31.

Tableau II - Découverte de l'uranium et des radioéléments cis-uraniens ; en grisé, éléments artificiels.

Uranium	1789	Martin Heinrich Klaproth
Thorium	1828	Jacob Berzelius
Polonium	1898	Pierre Curie, Marie Curie
Radium	1898	Pierre Curie, Marie Curie
Actinium	1899	André Debierne
Radon	1900	Ernest Dorn
Protactinium	1918	Otto Hahn, Lise Meitner
Technétium	1937	C. Perrier, Emilio Segré
Francium	1939	Marguerite Perey
Astate	1940	D.R. Corson *et al.*
Prométhéum	1947	J.A. Marinsky *et al.*

Les découvertes de 1898

La chimie est intervenue dans la nouvelle science de radioactivité, le 19 avril 1898, lorsque Marie Curie procéda à l'attaque chimique d'un échantillon de pechblende. Comment était-elle arrivée à cette démarche ?

A l'issue de ses études en Sorbonne, Marie Curie était à la recherche d'un sujet de thèse. Son attention fut attirée par les rayons uraniques découverts deux ans plus tôt par Becquerel. Les sels d'uranium qui émettaient des rayons avec la même intensité au cours des mois posaient une énigme. La loi de conservation de l'énergie était solidement prouvée depuis plus de 50 ans. Quelle pouvait alors être la source de cette énergie inépuisable qui semblait violer la première loi de la thermodynamique selon laquelle l'énergie pouvait se transformer, mais ne pouvait être ni créée, ni détruite ?

Le sujet avait, en outre, l'avantage d'être peu étudié. Citons Marie Curie : « *L'étude du phénomène nous parut très attrayante, et cela d'autant plus que la question, entièrement nouvelle, ne comportait aucune bibliographie. Je me décidai à entreprendre un travail sur ce sujet* » [2].

Les rayons uraniques étaient généralement mis en évidence par le noircissement d'une plaque photographique au contact de sels d'uranium. Ce détecteur primitif ne donnait aucune indication sur l'intensité du rayonnement. Marie Curie put disposer de manière providentielle d'un nouvel instrument conçu par Pierre Curie qui permettait de quantifier le phénomène par l'intensité du courant produit par les rayons dans une chambre d'ionisation.

Marie Curie entreprit la mesure de tous les corps simples, composés et minéraux dont elle pouvait disposer, et publia (comme seul auteur) les résultats dans une première note le 12 avril 1898 [3]. Elle constata que tous les composés actifs contenaient soit de l'uranium, soit du thorium.

Plusieurs composés de potassium présentaient une très faible activité, à la limite de la détection, ce qui laisse penser que Marie eut la primeur de détecter à son insu la radioactivité naturelle de cet élément qui sera identifiée en 1906.

On pouvait s'attendre à ce qu'aucun composé ne soit plus actif que l'uranium métallique. Pourtant, l'émission de certains échantillons naturels était beaucoup plus intense, quatre fois pour une pechblende de Joachimsthal (*tableau III*). Cette observation suscite la phrase clef de la note : « *ce fait est très remarquable et porte à croire que ces minéraux peuvent contenir un élément beaucoup plus actif que l'uranium* ».

Tableau III - [3].

Échantillon	Intensité (pA)
Uranium métal	24
Oxyde de thorium	53
Fluoxytantalate de potassium	2
Pechblende Joachimsthal	83
Pechblende Johanngeorgenstadt	67
Chalcolite naturelle $Cu(UO_2)_2(PO_4)_2,6\text{-}8\ H_2O$	52

La preuve de cette hypothèse est donnée aussitôt. La chalcolite naturelle est un phosphate double de cuivre et d'uranyle avec une stoechiométrie simple. Elle peut être préparée artificiellement. Marie Curie écrit donc : « *J'ai reproduit la chalcolite avec des produits purs et cette chalcolite artificielle n'est pas plus active qu'un autre sel d'uranium* ».

La logique du raisonnement et le génie de Marie interviennent d'une manière éclatante. Elle se dit puisque le phénomène qu'elle cherche à élucider est atomique dans le cas de l'uranium et du thorium, le supplément d'activité dans la pechblende doit provenir d'un ou plusieurs éléments chimiques inconnus jusque là et dont le rayonnement doit être beaucoup plus intense que celui de l'uranium.

La recherche de ces mystérieux éléments devenait maintenant une tâche des plus urgentes. Fin mars 1898, Pierre Curie fasciné par le phénomène abandonna ses propres recherches sur la croissance des cristaux pour s'associer à cette aventure.

La découverte du polonium

Pour extraire de la pechblende ces éléments hypothétiques, aux propriétés inconnues, Pierre et Marie Curie allaient utiliser « *une nouvelle méthode de recherche chimique basée sur la radioactivité. Elle consiste à effectuer des séparations par les moyens ordinaires de la chimie analytique et à mesurer, dans des conditions convenables, la radioactivité de tous les produits séparés* » [2]. La radioactivité agissait comme un réactif spécifique très sensible, le seul d'ailleurs utilisable. C'était le début de la radiochimie.

Le traitement commença par une attaque chlorhydrique de 100 g de pechblende broyée (*figure 1*). On savait déjà que le minerai contenait, outre l'uranium, des métaux tels que Cu, As, Sb, Bi et Pb. La solution acide fut donc traitée par le sulfure d'hydrogène. Le précipité de sulfures métalliques ainsi que la solution résiduelle étaient tous deux

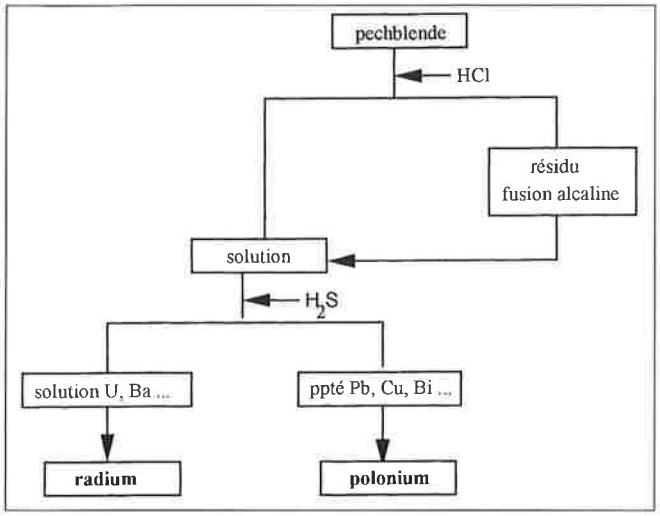

Figure 1 - *Schéma simplifié du traitement de la pechblende par M. Curie.*

actifs. Chacune des phases pouvait donc cacher un nouvel élément. Pierre et Marie Curie commencèrent par l'étude des sulfures car il paraissait plus facile de trouver la substance déjà concentrée dans le précipité.

Un grand nombre d'opérations et de tâtonnements suivirent. L'activité contenue dans les sulfures accompagnait toujours le bismuth. Les auteurs concentrèrent la matière active par sublimation et par voie humide en utilisant une méthode de précipitation fractionnée. Finalement, ils obtinrent une fraction 400 fois plus active que l'uranium, un résultat considéré concluant pour paraître dans les *Comptes Rendus* le 18 juillet 1998 avec le titre « *Sur une substance nouvelle radioactive contenue dans la pechblende* » [4].

La note annonce la découverte d'un premier radioélément et introduit dans l'histoire le mot *radioactivité*. Elle s'achève par la phrase : « *Nous croyons donc que la substance que nous avons retirée de la pechblende contient un métal non encore signalé, voisin du bismuth par ses propriétés analytiques. Si l'existence de ce composé se confirme, nous proposons de l'appeler polonium du nom du pays de l'un d'entre nous* ». Par cette appellation, Marie Curie entendait aussi protester contre la disparition de l'état polonais en 1796, partagé entre la Prusse, l'Empire autrichien et la Russie.

Pour la première fois dans l'histoire de la chimie, la découverte d'un élément était annoncée uniquement sur la base de l'émission de rayons invisibles. Au XIXe siècle, les critères indispensables étaient la détermination de la masse atomique et la mesure du spectre caractéristique. L'éminent spectroscopiste Eugène Demarçay (1852-1904) ne trouva aucune raie nouvelle dans l'échantillon des Curie. Ce fut un grand désappointement pour les auteurs qui reconnurent « *ce fait n'est pas favorable à l'idée de l'existence d'un nouveau métal* ».

La séparation du polonium de l'uranium avait réussi bien que l'on ne connaissait pas la relation génétique entre les deux éléments. P. et M. Curie croyaient avoir à faire à un mélange. Ils ignoraient le phénomène de décroissance radioactive : les opérations avaient été achevées en moins de trois mois, un temps court par rapport à la période de 140 jours de ^{210}Po. Quelques années plus tard, ils notèrent avec étonnement et une grande perplexité la disparition progressive du polonium.

La découverte du radium

Six mois après la découverte du polonium, P. et M. Curie annoncèrent le 26 décembre la découverte du radium dans la note « *Sur une nouvelle substance fortement radio-active, contenue dans la pechblende* » [5].

La solution après précipitation des sulfures était encore très active. Le bismuth avait été le support matériel du polonium ; dans la solution, le rôle d'entraîneur sera tenu par le baryum. La concentration du corps radioactif dans le chlorure de baryum fut poursuivie par précipitation fractionnée jusqu'à épuisement de la matière : l'activité était alors 900 fois celle de l'uranium. Cette fois l'analyse spectrale était concluante : Demarçay trouva dans le spectre du baryum radioactif des raies qui n'appartenaient à aucun élément connu et dont l'intensité augmentait avec l'activité.

Les auteurs conclurent « *la nouvelle substance radioactive renferme un élément nouveau auquel nous proposons de donner le nom de radium* [...] » et ajoutèrent « *la radioactivité du radium doit être énorme* ». En recherchant d'abord le polonium, les Curie avaient commencé par le plus difficile. Le radium avait plusieurs avantages : il est 5 000 fois plus abondant que le polonium, sa période est de 1 600 ans ; il trouvait facilement sa place dans le tableau en position Eka-baryum tandis que le caractère chimique de Po et l'emplacement Eka-tellure de l'élément seront élucidés beaucoup plus tard.

La preuve de l'analyse spectrale était importante mais elle ne suffisait pas. Personne ne voyait le radium et il restait à déterminer le poids atomique. Dès décembre 1898, Marie Curie en fit une première détermination dans le chlorure de baryum radifère en analysant la quantité de chlore et en la comparant à celle du chlorure de baryum pur.

La valeur trouvée était significativement supérieure à celle du baryum (137,3) mais encore très proche de celle-ci (*tableau IV*). La teneur en radium était encore insuffisante. La mesure du poids atomique devint une obsession pour Marie Curie. Il fallait entreprendre le traitement d'une grande quantité de minerai. La pechblende était une matière précieuse et chère de laquelle était extrait l'uranium pour la fabrication de verres colorés. P. et M. Curie pensèrent avec raison que les résidus sans valeur commerciale devaient contenir les deux radioéléments. A la suite de nombreuses démarches, le gouvernement autrichien, propriétaire des mines de Joachimsthal, céda gratuitement une tonne de ces résidus à Marie Curie qui les traitera kg par kg.

Tableau IV - Poids atomiques du radium déterminés successivement par Marie Curie.

Activité relative (U = 100)	M	Date
600	142,3	20 déc. 1898
3 500	140,0	1er août 1899
21 400	145, 8	octobre 1899
100 000	174,1	27 juillet 1900
un million	225,9	28 mars 1902

L'échantillon de 400 mg, 100 000 fois plus actif que l'uranium, donnait un poids atomique de 174. En publiant ce résultat, Marie Curie ajouta « *il est certain que le poids atomique est très supérieur à 174 [...] Nous sommes très heureux, M. Curie et moi, d'avoir obtenu la preuve de l'existence de cet élément, et de voir ainsi confirmées les idées qui nous ont guidés dans nos recherches* ».

Enfin, le 28 mars 1902, Marie Curie obtint la valeur exacte 225,9 avec un échantillon de 120 mg de chlorure de radium, un million de fois plus actif que l'uranium.

Les lois de la radioactivité et l'isotopie

A la fin de 1898, malgré ces découvertes retentissantes, on ne connaissait rien de la radioactivité.

Pendant que l'uranium faisait l'objet de recherches intensives en France, les rayonnements du thorium étaient étudiés par Ernest Rutherford (1871-1937) d'abord à Cambridge, puis à Montréal. A la suite de plusieurs observations étranges, les expériences sur des sels de thorium allaient conduire à reconnaître le phénomène de transmutation, à établir les lois cinétiques des transformations radioactives et aboutir à la découverte d'un autre radioélément, le radon [6].

L'activité capricieuse du thorium

En 1899, Robert Owens (1870-1940), un collaborateur de Rutherford, constata que le courant d'ionisation produit par l'oxyde de thorium variait de manière erratique. Un faible courant d'air produit par l'ouverture ou la fermeture de la porte ou d'une fenêtre du laboratoire perturbait fortement la mesure. Le phénomène se stabilisait lorsque le composé était isolé dans une chambre d'ionisation étanche. Après balayage de la chambre par un courant d'air, l'activité disparaissait mais retrouvait la valeur initiale au bout de 10 minutes.

Dès septembre 1899, Rutherford arrivait à la conclusion que les composés de thorium émettaient de façon continue une sorte de particules radioactives. Il donna le nom d'*émanation* à la substance dégagée par le thorium et montra qu'elle se comportait comme un gaz. L'émanation perdait la moitié de son activité en une minute : c'était la première observation d'une décroissance radioactive.

Cette émanation reçut ensuite le nom de *thoron*. Elle fut suivie de la découverte de deux autres émanations, le *radon* émis par les sels de radium et l'*actinon* dégagé par les composés d'actinium. Le casse-tête posé par l'existence de trois émanations radioactives avec des périodes différentes sera résolu après la découverte de l'isotopie.

Sur ces entrefaites, commença une collaboration entre le physicien Rutherford et le chimiste Frédérick Soddy (1877-1956) qui ne durera que deux années mais qui s'avérera des plus fructueuses. Soddy constata que l'émanation n'était affectée par aucun réactif. Cette inertie chimique rappelait celle des gaz rares néon, krypton et xénon découverts en 1898. L'émanation venait se placer logiquement en position eka-xénon (Z = 86) dans le tableau périodique, non loin du radium (Z = 88). Rutherford et Soddy confirmèrent que l'oxyde de thorium, un solide, se transformait spontanément en un gaz, le thoron. Dans l'histoire de la radioactivité, ce fut le premier indice d'une véritable transmutation.

Une activité vagabonde

En 1902, Rutherford découvrit que tout solide situé à proximité de sels de thorium acquerrait une radioactivité passagère qui décroissait de moitié en une dizaine d'heures. Cette activité *induite* ou *excitée* pouvait être concentrée sur un support métallique chargé négativement. P. et M. Curie observèrent à la même époque un phénomène similaire avec les sels de radium qu'ils attribuèrent à un échange d'énergie entre le radium et le milieu environnant. Mais l'activité induite de Rutherford avait un support matériel ; elle pouvait être récupérée d'une feuille de platine par lavage à l'acide.

Entre-temps, William Crookes (1832-1919) avait trouvé que les rayons de l'uranium qui noircissaient la plaque photographique ne provenaient pas de l'élément lui-même, mais d'un un autre corps radioactif qu'il avait appelé uranium X (UX) [6]. Rutherford se demanda si l'émanation provenait directement du thorium ou d'une autre substance analogue à UX et aboutit à la même conclusion : l'activité attribuée au thorium n'était pas celle de l'élément, mais d'un thorium X (ThX) qui produisait l'émanation avec une période de 3 jours. Rutherford et Soddy eurent l'idée de mesurer simultanément la décroissance de l'activité de ThX et sa croissance dans le thorium (*figure 2*). Ce résultat fut discuté dans deux publications de l'année 1902, qui sont les plus importantes dans l'histoire des débuts de la radioactivité depuis les notes de P. et M. Curie en 1898. Elles portaient le titre éloquent *La cause et la nature de la radioactivité* [7]. Les équations des transformations radioactives figurent dans le même article, six ans après la découverte de la radioactivité.

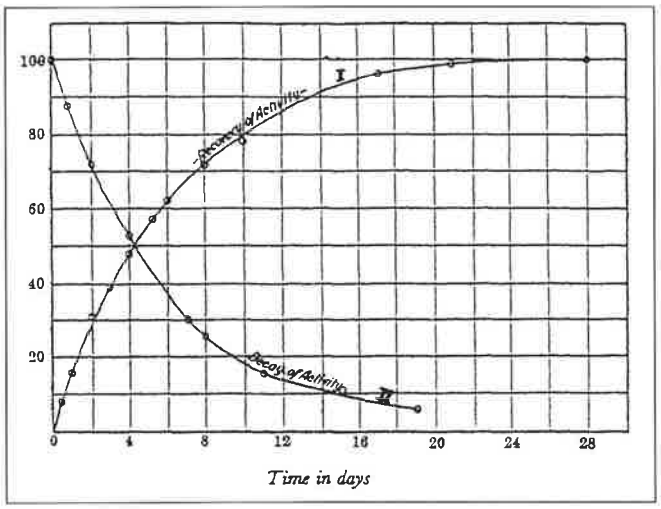

Figure 2 - Premières courbes de croissance (I) et de décroissance (II) d'un corps radioactif (thorium X, période 3,6 j) [7], en fonction du temps en jours.

Rutherford et Soddy énoncèrent une nouvelle théorie révolutionnaire, la loi de transformation spontanée, une véritable hérésie à l'époque : « *nous concluons que la radioactivité est un phénomène atomique accompagné d'une transformation chimique par laquelle de nouvelles espèces sont produites* [...] ».

Les isotopes

Cinq ans après la découverte du Po et du Ra, un grand nombre de substances radioactives étaient connues. Les émanations produisaient d'autres corps et, pour mettre de l'ordre dans cette prolifération, Rutherford proposa une nomenclature systématique en corps A, B, C. Ceux-ci formaient le dépôt actif et étaient les supports de l'activité induite (*figure 3*) [8]. C'était l'ébauche des familles radioactives qui seront entièrement résolues à la fin des années 30, après la découverte d'une quarantaine d'espèces radioactives.

Maintenant les chimistes étaient dans l'embarras. Que

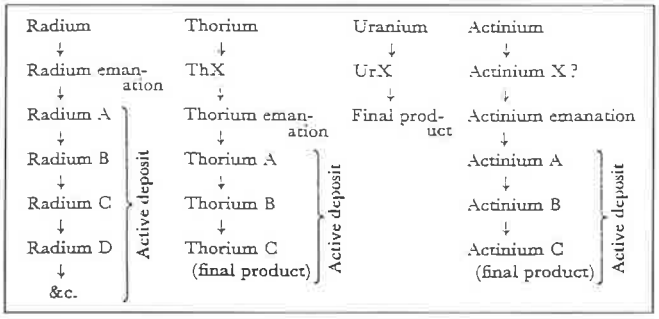

Figure 3 - Les familles radioactives en 1905 [8].

faire de tous ces nouveaux composés radioactifs ? Ra, Po, Rn avaient trouvé leur place dans le tableau périodique. Mais bien d'autres substances étaient sans domicile et il fallut plusieurs années pour résoudre ces énigmes sans violer la classification de Mendeleev.

Soddy fit une synthèse de l'ensemble des observations et nota que certaines substances radioactives avaient strictement les mêmes propriétés chimiques mais différaient par leurs propriétés radioactives. Les corps B étaient inséparables de Pb, les corps C de Bi, ThX ne pouvait être séparés de Ra, etc.

En 1913, Soddy définit les isotopes de manière peu familière [9] (le neutron sera découvert une vingtaine d'années plus tard) : « *une même somme algébrique des charges positives et négatives dans le noyau, lorsque la somme arithmétique est différente, donne ce que j'appelle isotopes ou éléments isotopiques parce qu'ils occupent la même place dans le tableau périodique. Ils sont chimiquement identiques* [...] ». La notion d'isotopie est l'une des conséquences les plus importantes de la découverte de la radioactivité.

La fission nucléaire

Au cours de ces années et de celles qui suivirent, les chimistes élaborèrent la matière première qui a donné naissance à la physique nucléaire avec les découvertes du noyau atomique (Rutherford, 1911), de la première réaction nucléaire (Rutherford, 1919), du neutron (Chadwick, 1932) et de la radioactivité artificielle (Frédéric et Irène Joliot-Curie, 1934). Avant la construction des premiers accélérateurs au début des années 30, les rayons α des radioéléments étaient les seuls projectiles lourds de grande énergie disponibles.

Les sources de neutrons constituées d'un mélange d'un émetteur α et de béryllium permirent à Enrico Fermi (1901-1954) de produire un grand nombre de radionucléides artificiels dès 1934 et d'entreprendre des expériences qui allaient conduire à la découverte de la fission. Bien que les radiochimistes les plus éminents aient été engagés dans ces travaux, il ne fallut pas moins de quatre années pour comprendre les phénomènes observés [10].

L'histoire commence avec le vieux rêve des chimistes de pénétrer dans la *terra incognita* au-delà de l'uranium dans le tableau périodique. L'uranium était-il vraiment l'ultime édifice atomique concevable ? La radioactivité avait déjà ménagé bien des surprises, elle pouvait en produire d'autres !

La stratégie retenue était simple. Les expériences de Fermi avaient montré que la capture de neutrons suivie de désintégration β augmentait le Z de la cible d'une unité. Il suffirait donc de bombarder l'uranium par les neutrons pour obtenir l'élément 93 dont les propriétés étaient par ailleurs prévisibles par sa position Eka-Re dans le septième groupe dont l'élément le plus léger est le manganèse (*figure 4*). L'analogie chimique des eka-éléments avec leur voisin de colonne avait été bien mise en évidence dans les découvertes des radioéléments naturels.

C'est sur ces considérations que Fermi entreprit l'expérience dès 1934. Il observa dans l'uranium irradié plusieurs

Groupe			
VI	*VII*	*VIII*	
Cr	Mn	Fe	Co
Mo	Tc	Ru	Rh
W	Re	Os	Ir
U	93	94	95

Figure 4 - Emplacements prévus dans le tableau périodique pour les premiers éléments transuraniens.

substances radioactives. En particulier, un corps de période 16 min était entraîné par un précipité de MnO_2, et de manière encore plus convaincante, par le sulfure de Re.

La conclusion paraissait évidente : le comportement chimique de ce corps était différent de celui de l'uranium et similaire à celui prévu pour l'homologue de Re. Fermi annonça la découverte de l'ausonium, Ao, élément 93 et de l'hespérium, Hs, élément 94 (*figure 5*).

Une découverte aussi sensationnelle allait exciter le petit

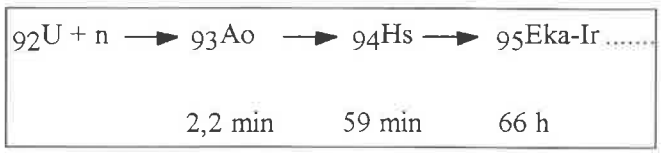

Figure 5 - Pseudodécouvertes d'éléments transuraniens dans l'uranium bombardé par les neutrons. D'après [9].

monde des radiochimistes et déclencher une course aux transuraniens, notamment à Berlin et à Paris. Les acteurs allemands étaient Otto Hahn (1879-1968), Lise Meitner (1878-1968) et Fritz Strassmann (1902-1980). Ils confirmè-

rent plus ou moins les résultats de Fermi et conclurent à la formation d'au moins 5 transuraniens. Mais le mélange était fort complexe car plusieurs activités pouvaient être assignées à chacun de ces éléments et à l'uranium lui-même.

A Paris, Irène Joliot-Curie (1897-1956), aidée du yougoslave Paul Savitch, obtint un résultat qui sera un tournant décisif dans les recherches commencées par Fermi. Les auteurs prirent la précaution d'irradier l'uranium soigneusement débarrassé de l'uranium X pour éviter toute confusion avec les nouveaux éléments et observèrent une activité de période 3,5 h. Les deux chercheurs après des vérifications minutieuses trouvèrent un résultat extraordinaire : cette activité se comportait chimiquement comme le lanthane, un élément des terres rares au milieu du tableau périodique, très loin de l'uranium. Ils écrivirent dès le 12 juillet 1938 « *dans l'ensemble les propriétés de l'activité de 3,5 heures sont celles du lanthane, dont il semble jusqu'ici qu'on ne puisse le séparer que par fractionnement* ». Mais c'était réellement du lanthane et si les auteurs avaient omis la seconde partie de la phrase ils auraient découvert la fission !

Le résultat de Paris était tellement inattendu qu'Otto Hahn s'empressa de le vérifier malgré, dit-il, du grand respect qu'il avait pour Irène. En quelques semaines Hahn et Strassmann purent résoudre le problème dans une série d'expériences de radiochimie menées avec une minutie sans précédent. Ils utilisèrent des isotopes naturels de Ac pour marquer La et de Ra pour marquer Ba. Finalement, ils trouvèrent des isotopes de Ra qui se comportaient comme le baryum et des isotopes de Ac qui se comportaient comme le lanthane.

Ce résultat fut soumis pour publication, le 22 décembre 1938 dans *Naturwissenschaften* et parut le 6 janvier 1939, date qui est considérée comme celle de la découverte de la fission nucléaire. Les auteurs écrivaient avec quelque hésitation : « *En tant que chimistes [...] nous devrions remplacer ici les symboles Ra, Ac, Th par Ba, La, Ce [...] mais en tant que chimistes nucléaires plus proches de la physique nous ne pouvons pas encore nous résoudre à effectuer ce saut qui serait en contradiction avec l'expérience actuelle de physique nucléaire* ». Le même mois, les auteurs publièrent une deuxième note dans laquelle ils apportaient de nouvelles preuves de la formation d'isotopes radioactifs de Ba dans U irradié par les neutrons.

Lise Meitner et Robert Frisch proposèrent aussitôt une interprétation de ce nouveau type de réaction nucléaire basée sur le modèle nucléaire de la goutte liquide : « *L'uranium se sépare en deux noyaux qui se repoussent avec une énergie cinétique totale de 200 MeV* ». Ils proposèrent le mot *fission* qui avait été suggéré par un ami biochimiste qui trouvait une analogie avec la division de cellules.

Les chimistes poursuivirent les travaux sur la fission par la résolution du mélange de plus de 500 produits de fission, une tâche herculéenne considérée comme l'une des plus difficiles jamais réalisée en radiochimie. La suite est bien connue : la fission trouvera rapidement des applications militaires avant l'utilisation pacifique pour la production d'énergie. Dans les deux cas une chimie plus classique a été indispensable pour l'élaboration des matières premières nucléaires, des modérateurs de neutrons comme le graphite ou l'eau lourde, le retraitement des combustibles usés et le conditionnement des déchets nucléaires.

Conclusion

Au moment de ces événements, trois éléments cis-uraniens manquaient encore dans le tableau périodique, correspondant aux numéros atomiques 61, 85 et 87. Un premier radioélément, le technétium (Z = 43) avait été synthétisé en 1937 ; le prométhéum (61) sera trouvé dans les produits de fission et l'astate (85) est également un élément artificiel.

On ne s'attendait plus à de découverte importante en radioactivité naturelle lorsque, en janvier 1939, Marguerite Perey (1909-1975), ancienne collaboratrice de Marie Curie, trouva le premier isotope de l'élément 87, le francium, produit par désintégration de l'actinium. Le francium est à la fois le dernier radioélément et le dernier élément découvert dans la nature et son nom fait écho au polonium, le premier élément découvert dans l'histoire de la radioactivité par Marie Curie 41 ans plus tôt.

En 1997, le tableau périodique se termine avec l'élément 112. Mais ceci est une autre histoire...

Références

[1] Adloff J.-P., MacCordick J., *Radiochim. Acta* , **1995**, *70/71*, p. 13.
[2] Curie M., *Pierre Curie*, Editions Payot, Paris, **1923.** Réimpression, Editions Odile Jacob, Paris **1996**.
[3] Sklodowska Curie M., *Comptes Rendus*, **1898**, *126*, p. 1101.
[4] Curie P., Curie M., *Comptes Rendus*, **1898**, *127*, p. 175.
[5] Curie P., Curie M., Bémont G., *Comptes Rendus*, **1898**, *127*, p. 1215.
[6] Adloff J.-P., *Radiochim. Acta* , **1997**, *77*, p. 1.
[7] Rutherford E., Soddy F., *J. Chem. Soc. Trans.*, **1902**, *81*, p. 321 ; *ibid.* p. 837.
[8] Rutherford E., *Phil. Trans. Royal Soc. London*, **1905**, *204*, p. 169.
[9] Soddy F., *Nature*, **1913**, *92*, p. 399.
[10] Herrmann G., *Radiochim. Acta* , **1995**, *70/71*, p. 51.

VALSPAR COATES

The valspar (France) corporation SA

25, boulevard A. Juin - B.P. 82219 - 44022 NANTES CEDEX 1
Tél. : 02 40 95 98 98 - Fax : 02 40 46 27 92