

*Il y a cinquante ans...*

## Remise du prix Nobel de chimie pour l'année 1935 à Irène Joliot-Curie et Frédéric Joliot

---

*Sans doute nos lecteurs vont-ils s'étonner de l'escapade de XYZ parmi les prix Nobel de chimie. Par cette publication le comité de lecture a voulu commémorer le cinquantième anniversaire d'une découverte fondamentale française, d'une portée pratique considérable, y compris dans le domaine de la topographie. La possibilité, démontrée par Irène Joliot-Curie et Frédéric Joliot, de transmuter artificiellement les éléments, a été le point de départ de l'industrie nucléaire, civile et militaire, dont chacun connaît les développements, bénéfiques ou non. Le topographe sait en outre quels progrès cette industrie exigeante lui a fait accomplir dans la mesure de précision, des quadrupôles des accélérateurs aux paraboloïdes des centrales.*

*Nous avons reproduit in extenso les allocutions du Professeur Palmer, d'Irène Joliot-Curie et de Frédéric Joliot. La concision du langage et la rigueur de la déduction ne permettent pas d'isoler des extraits de textes où sont déjà condensées les bases de la physique moderne ; la qualité et la clarté de la langue en rendent la lecture aisée. La lucidité de la conclusion de Joliot rencontre déjà les problèmes actuels de la science.*

**Le Professeur Wilhelm Palmer, Président du Comité Nobel pour la chimie, prononça le discours suivant :**

Sire, Altesses royales, Mesdames et Messieurs,

Le 10 décembre 1911 Marie Sklodowska, chimiste polonaise de renommée universelle, la femme du Professeur Pierre Curie était présente à la distribution solennelle des prix Nobel suédois pour recevoir le prix de chimie "pour les progrès qu'elle a fait faire à la chimie par la découverte des éléments désignés sous les noms de radium et de polonium, par sa définition du radium et sa méthode de l'isoler dans l'état métallique, ainsi que par ses recherches sur les composés où entre cet élément". — Déjà en 1903 elle avait reçu en commun avec le professeur Pierre Curie la moitié du prix Nobel de physique pour "leurs travaux exécutés en commun regardant les phénomènes de radiation découverts par M. H. A. Becquerel", tandis que l'autre moitié du prix fut simultanément décernée au Professeur Becquerel pour "la découverte de la radioactivité spontanée".

On voit qu'en 1903 on considéra surtout l'importance pour la physique des découvertes faites. Cependant leur importance capitale pour la chimie se faisait de plus en plus nette, surtout par les travaux de Marie Sklodowska-Curie, mais aussi de Pierre Curie, tant qu'il vivait, et l'on trouva bien

fondé de récompenser par un prix Nobel de chimie non divisé celle dont le mari était mort pendant ce temps, de sorte que sa part ne pourrait plus être prise en considération, ce qui arriva donc en 1911. Marie Sklodowska-Curie fut par cela la seule personne ayant jusqu'à ce jour reçu plus d'un prix Nobel.

L'importance capitale de ces découvertes est généralement reconnue et deux autres prix Nobel de chimie ont été décernés pour des découvertes concernant les matières radioactives, à savoir en 1908 à Lord Rutherford et en 1922 à Frédéric Soddy. Je n'ai besoin que de rappeler le remède puissant qu'est devenu le radium au service de la médecine dans la lutte contre les maladies cancéreuses, de rappeler le fait qu'on a pu calculer l'âge minimum de la terre à l'aide des transformations de matières radioactives et qu'on a eu une idée de l'énergie interne des atomes, de la possibilité de se servir des matières radioactives comme des soi-disant indicateurs, une question à laquelle je retournerai plus tard, etc. Ce qu'il y a de plus intéressant du point de vue scientifique, c'est que le radium se forme spontanément de l'urane et qu'ensuite par sa désintégration continue et spontanée il forme des éléments nouveaux avec le plomb comme produit final. Toutes ces transformations sont accompagnées des radiations d'espèces différentes et tous les éléments radioactifs sont donc instables, quoiqu'à un degré variable. On a l'habitude de caractériser leur stabilité en indiquant le temps qui passe jusqu'au moment où ils se sont décomposés à moitié, un temps qu'on peut fixer en observant comme l'intensité de la radiation diminue. Ce temps qu'on appelle en général "la période", peut varier entre des milliards d'années (pour l'urane) jusqu'aux fractions d'une seconde, et la détermination de ce temps forme donc un moyen fort pour caractériser les éléments radioactifs différents. Auparavant on en connaissait principalement 3 séries, dont deux originaires de l'urane, qui se rencontre comme un oxyde dans le minéral pechblende et l'un de thorium, un métal appartenant aux métaux des terres rares, dont l'oxyde s'emploie dans les manchons à incandescence pour l'éclairage au gaz maintenant presque démodés. Tout le nombre de ces éléments radioactifs, plus tôt connus et formés d'une manière spontanée, se montait à un peu plus de 40.

Comme on le sait, les alchimistes s'efforçaient de transformer les éléments mutuellement. Proprement dit ce n'est qu'une seule transformation de cette sorte qui fut leur but, c'est-à-dire la transformation en or des métaux médiocres, et ils furent donc guidés par un motif économique plus bas.



Cependant on ne peut pas dire que la formation d'éléments nouveaux de la manière ci-dessus indiquée donne la solution du problème des alchimistes, car les éléments radioactifs plus tôt connus se forment et se décomposent d'une manière spontanée, sans qu'on puisse, dans aucune façon, intervenir dans le processus, et donc l'on ne peut pas non plus transformer un certain élément dans un autre par une intervention artificielle.

C'est à cet égard, que quelque chose de nouveau est apporté à la science par les découvertes des Docteurs Irène Joliot-Curie et Frédéric Joliot, aujourd'hui récompensées du prix Nobel. Pourtant il ne s'agit pas non plus cette fois de la transformation d'autres métaux en or — sinon indirectement dans la forme d'un prix Nobel. Mais il s'agit de la découverte extrêmement intéressante de pouvoir dans certains autres cas transformer un élément dans un autre par une intervention extérieure. Je vais maintenant chercher à résumer ces découvertes.

La décomposition spontanée d'un élément radioactif peut être comparée à une explosion, la radiation  $\gamma$  combinée consistant dans la projection de particules chargées d'électricité qui ont une grande vitesse. Une espèce de ces particules, les soi-disant particules  $\alpha$ , consistent d'atomes d'hélium chargés d'électricité positive. Je dois aussi rappeler le fait que selon la conception maintenant généralement acceptée un atome se compose d'un noyau chargé d'électricité positive entouré d'un groupe d'unités d'électricité négative, les électrons, qui peuvent être comparés à une espèce de système planétaire autour du noyau. Si une particule  $\alpha$  ainsi lancée vient à rencontrer un tel noyau, qu'on croit maintenant composé d'un nombre indéfini de noyaux d'hydrogène chargés d'électricité positive, de soi-disant protons, et d'un nombre également défini des neutrons — déjà mentionnés ce soir — donc de deux matières qui, avec les électrons, sont à ce moment considérées comme les pierres de construction les plus petites de l'univers — alors il peut arriver que le noyau se brise, un processus par lequel se forment des atomes d'autres éléments.

Cependant le noyau est extrêmement petit, de sorte que sa surface de section en forme seulement environ un cent millième de celle de l'atome entier avec son enveloppe d'électrons. Cela fait que le nombre de rencontres effectives au cours d'un tel bombardement est minime — on calcule un coup portant sur un total de dix millions de coups, c'est-à-dire sur dix millions de particules  $\alpha$ .

Le couple savant Curie-Joliot bombardait donc l'aluminium de particules  $\alpha$  produites de polonium. Le polonium, qui est un peu apparenté au soufre, est un élément radioactif moins stable que le radium, et donc il lance des particules  $\alpha$  en plus grand nombre et plus rapides que la même quantité de radium, c'est-à-dire il donne une radiation plus efficace lors d'un bombardement d'atomes. Comme il appartient encore au nombre restreint d'éléments radioactifs qu'on peut obtenir dans une quantité notable, il est donc bon à cette fin.

Ayant ainsi exposé l'aluminium à un bombardement les lauréats d'aujourd'hui ont trouvé, qu'après un temps de quelques minutes ce métal commence dans une mesure marquée à émettre des rayons — en ce cas des unités d'électricité positive, des soi-disant positrons, découverts dans l'automne de 1932 par Carl Anderson à Pasadena. Ce fut là un signe de la formation d'un élément radioactif nouveau. Et le bombardement ayant été interrompu, l'émission des rayons d'aluminium ne cessait pas instantanément mais continuait encore pour quelque temps dans un degré marqué, jusqu'à ce que l'élément radioactif formé fut de nouveau en majeure partie décomposé comme à l'ordinaire. Donc encore un signe de la formation d'un élément radioactif nouveau.

Des recherches plus approfondies ont prouvé que l'élément nouvellement formé était du phosphore dans une forme nouvelle radioactive, du radiophosphore. C'est un isotope du phosphore ordinaire, c'est-à-dire le noyau en contient autant de charges positives que dans le phosphore ordinaire, mais le poids en est différent.

Nous avons plus haut indiqué que les éléments radioactifs instables qui en forment la plupart, par leur instabilité même, ont été impossibles à obtenir dans des quantités notables, de sorte qu'il a été impossible de les examiner ou même d'en démontrer l'existence par des essais chimiques. Pour les constater et pour les caractériser on est donc renvoyé à la recherche de la radiation émise, selon ce que j'ai indiqué plus haut. Dans ce cas la constatation par une méthode chimique réussit pourtant en tant qu'il fut possible de démontrer que, lors d'une dissolution de l'aluminium irradié dans un acide, toute la radioactivité s'attacha au gaz alors développé, ce qui devrait arriver, si un isotope de phosphore avait été formé, quand devrait se former de l'hydruure de phosphore gazeux. Un traitement chimique de l'aluminium irradié confirma cette conception.

D'une manière analogue on obtient un radioazote nouveau de l'élément bore, partie constituante de l'acide borique et du radiosilicium et du radioaluminium provenant de deux isotopes du métal magnésium.

A vrai dire ce n'était pas la première fois qu'on réussissait à transformer un élément dans un autre par un bombardement aux rayons  $\alpha$ , car Lord Rutherford et d'autres avaient ainsi réussi à briser les atomes de plusieurs éléments, un processus par lequel cependant il ne s'était pas formé d'éléments nouveaux. Donc on pourrait bien caractériser la découverte du couple savant Curie-Joliot comme une synthèse d'éléments radioactifs nouveaux, bien que le terme "synthèse" signifie proprement dit une association ou une combinaison à une unité et que plus tôt on ne se soit servi de ce mot que pour désigner la préparation des combinaisons chimiques complexes en partant des plus simples ou des éléments.

Le champ d'investigation dont nous nous occupons aujourd'hui, est l'objet d'un travail intense, et donc la découverte des époux Curie-Joliot, présentée à l'Académie des Sciences française le 15 jan-



vier 1934, n'a pas tardé à pousser d'autres savants à embrasser ces recherches. On doit ici insister sur le fait que de bonne heure, c'est-à-dire en 1934 au mois d'avril, les époux Curie-Joliot ont suggéré que des projectiles bons pour la désagrégation d'atomes étaient les protons, les deutons équivalents aux protons mais provenant de l'hydrogène lourd, dont la découverte fut l'année dernière récompensée d'un prix Nobel de chimie, et les neutrons. Avec Preiswerk ils se sont eux-mêmes servis de neutrons, mais c'est surtout l'Italien Fermi qui déjà un peu avant l'observation des Curie-Joliot s'en est servi avec très grand succès, des recherches qui ont abouti à un grand nombre de résultats extrêmement intéressants.

Mais c'est le premier pas qui compte, dit avec raison un savant éminent dans la lettre où il propose les époux Curie-Joliot pour la récompense du prix Nobel de chimie de cette année.

Je n'ai guère besoin d'ajouter plus de mots sur l'importance de leur découverte pour la science. Je veux seulement rappeler que le savant anglais Boyle, à qui aussi bien la chimie que la physique doivent des lois fondamentales, en définissant la notion d'élément chimique il y a 250 ans et en adoptant l'idée du philosophe grec Démocrite sur les atomes indivisibles, professée en 500 av. J.-Chr., y fit tout de même une réserve sagace. Il dit en effet qu'il serait peut-être plus tard possible de trouver un "agens subtile et potens", c'est-à-dire un instrument fin et fort, à l'aide duquel les éléments pourraient être décomposés. Cette vision de l'avenir se trouve maintenant réalisée par les découvertes des lauréats du Prix Nobel de chimie de cette année et par celles d'autres savants.

Avons-nous par cela atteint le fond du monde du soi-disant infiniment petit ? Qui sait, ce n'est guère probable. En effet, cela nous donne, en y pensant, autant de vertige de chercher à pénétrer au fond de ce qui est infiniment petit que de chercher pour ainsi dire à distinguer le toit de ce qui est infiniment grand.

Mais l'on peut déjà aussi entrevoir des emplois pratiquement utiles. Certains de ces éléments radioactifs artificiels — pour la production desquels des matières premières, c'est-à-dire des éléments ordinaires, sont disponibles en grandes quantités en comparaison des minéraux qui ont été plus tôt les sources des éléments radioactifs — donnent une radiation soit disant  $\gamma$ , une espèce de rayons x, d'une longueur d'onde définie, ce qui est précieux dans bien des buts. Encore on peut en effet en général obtenir les éléments radioactifs seulement en petites quantités, mais, en retour la méthode de les caractériser et d'en définir la quantité en observant leur capacité de rendre, par leur radiation, l'air ou d'autres gaz conducteurs de l'électricité, est tellement sensible qu'elle surpasse tous les moyens chimiques. Sur ce fait se fonde l'emploi des éléments radioactifs comme des indicateurs — une méthode d'abord décrite par Hevesy et Paneth. Les époux Curie-Joliot ont exprimé l'espoir de pouvoir très tôt mettre à la disposition des physiologistes des préparations radioactives, contenant par exemple du carbone radioactif, qui après l'introduction

dans le corps animal ou végétal permettent de découvrir les passages et la distribution de certaines matières dans l'organisme. — Et quant au radio-sodium notamment qu'a obtenu Lawrence par un bombardement du sodium par des deutons et qui a une durée de la vie assez longue, on peut espérer qu'il sera possible de s'en servir aussi bien que des sels de radium pour l'usage médical. Ici l'on doit aussi pouvoir s'attendre à de nouveaux effets à cause de la différence du radium au point de vue chimique et parce qu'aucun résidu radioactif ne se forme au dépérissement des éléments radioactifs nouveaux.

Donc l'Académie royale des Sciences n'a pas hésité à récompenser la découverte que je viens de chercher à résumer, par le prix Nobel de chimie, et par là l'Académie a aussi la joie de pouvoir récompenser une découverte d'une date toute récente en parfait accord avec les mots du testament Nobel — ce qui ne peut pas arriver très souvent.

L'Académie royale des Sciences a donc décidé que le prix Nobel de chimie de cette année serait également partagé entre les Docteurs Irène Joliot-Curie et Frédéric Joliot de Paris pour leur synthèse des éléments radioactifs nouveaux exécutée en commun.



ROBERTO CASATI, STYLING

Mme IRENE JOLIOT-CURIE,

Née le 12 septembre 1897 à Paris, fille de Pierre Curie et Marie Curie-Sklodowska, Professeurs à la



Faculté des Sciences de Paris. Licence de physique et de mathématique (1914-1920). Infirmière radiographe pendant la guerre.

Entrée après la guerre au Laboratoire Curie de l'Institut du Radium de Paris, comme Préparateur de Marie Curie. Docteur ès sciences en 1925. Chef de travaux en 1932. Maître de recherche du Fonds National des Sciences en 1935.

Mariée à Frédéric Joliot le 9 octobre 1926.

Principaux travaux.

Recherches sur les rayons alpha du polonium. Fluctuations de parcours, vitesse d'émission, pouvoir ionisant (Thèse de doctorat. Paris 1925).

Découverte du phénomène de projection de noyaux d'atomes par les neutrons. Conditions d'excitation des neutrons par les rayons alpha dans divers éléments (en collaboration avec F. Joliot, 1932).

Conditions de production d'électrons positifs par les rayons gamma de grande énergie quantique (en collaboration avec F. Joliot, 1933).

Production artificielle d'éléments radioactifs. Preuve chimique de la transmutation des éléments (en collaboration avec F. Joliot 1934).

C'est pour ce dernier travail que le Prix Nobel lui a été décerné en 1935, en commun avec Frédéric Joliot.

## CONFERENCE-NOBEL

**Faite à Stockholm le 12 décembre 1935**

**par**

**Mme Irène Joliot-Curie.**

C'est un grand honneur et une grande joie pour nous de voir l'Académie des Sciences de Suède nous attribuer le Prix Nobel pour nos travaux sur la synthèse des radioéléments, après l'avoir décerné à Pierre et Marie Curie en 1903, à Marie Curie en 1911, pour la découverte des radioéléments.

Je désire évoquer ici le souvenir du développement extraordinaire de la radioactivité, cette science nouvelle qui eut son origine, il y a moins de quarante ans, dans les travaux de Henri Becquerel et de Pierre et Marie Curie.

On sait que l'effort des chimistes du siècle dernier a établi comme un fait fondamental l'extrême solidité des édifices atomiques qui constituent les quatre-vingt-douze espèces chimiques connues. Avec la découverte des radioéléments, les physiciens se trouvèrent pour la première fois en présence de substances étranges, minuscules générateurs de rayonnements possédant une densité d'énergie énorme : les rayons alpha, atomes d'hélium chargés positivement, les rayons bêta, électrons chargés négativement, animés les uns et les autres d'une énergie cinétique qu'il aurait été impossible de leur communiquer par des moyens humains, enfin les rayons gamma, semblables à des rayons X très pénétrants. Les chimistes n'eurent pas une moindre surprise en reconnaissant dans les corps radioactifs des éléments qui subissent des

modifications de l'édifice atomique que l'on croyait immuable.

Chaque émission de rayon alpha ou de rayon bêta accompagne la transmutation d'un atome ; l'énergie communiquée à ces rayons est d'origine intra-atomique. Tant qu'ils ne sont pas détruits, les radioéléments ont des propriétés chimiques bien définies, comme celles des éléments ordinaires. Ces atomes instables se désintègrent spontanément, les uns très rapidement, les autres très lentement, mais selon des règles immuables que l'on n'a jamais pu influencer. Le temps nécessaire pour la disparition de la moitié des atomes, que l'on appelle la période, est une caractéristique fondamentale de chaque radioélément : selon les corps les valeurs des périodes s'échelonnent entre une fraction de seconde et des millions d'années.

La découverte des radioéléments a eu des conséquences immenses pour la connaissance de la structure de la matière ; l'étude de ces corps eux-mêmes, l'étude des effets puissants produits sur les atomes par les rayons qu'ils émettent occupent les travailleurs de plusieurs grands Instituts de recherches, dans tous les pays.

Pourtant, la radioactivité restait une propriété exclusivement attachée à une trentaine de corps présents dans la nature. La création artificielle de radioéléments ouvre un nouveau domaine à la Science de la Radioactivité et constitue ainsi, le prolongement de l'œuvre de Pierre et Marie Curie.

Après la découverte des transmutations spontanées des radioéléments, c'est à Lord Rutherford que l'on doit la réalisation des premières transmutations artificielles. Il y a de cela une quinzaine d'années, en bombardant avec des rayons alpha certains atomes légers, azote, aluminium, par exemple, Lord Rutherford mit en évidence l'éjection de protons, ou noyaux d'hydrogène chargés positivement ; cet hydrogène provenait des atomes bombardés eux-mêmes : il était le résultat d'une transmutation. On a pu établir avec certitude la nature de la transformation nucléaire : l'atome d'aluminium, par exemple, capture la particule alpha et se transforme après expulsion du proton en un atome de silicium. La quantité de matière transformée est impondérable et seule l'étude des rayonnements a conduit à ces conclusions.

Au cours de ces dernières années, diverses transmutations artificielles de type différent ont été découvertes ; les unes sont produites par les rayons alpha, les autres par les protons ou les deutons, noyaux d'hydrogène de masse 1 ou de masse 2, d'autres par les neutrons, les particules neutres de masse 1, dont M. le Pr. Chadwick vient de vous parler. Les particules expulsées lors de l'explosion de l'atome sont des protons, des rayons alpha ou des neutrons.

Ces transformations constituent de véritables réactions chimiques qui portent sur la structure intime de l'atome, sur le noyau. On peut les traduire par des formules simples ainsi que M. Joliot vous l'expliquera tout à l'heure.

Je vais à présent vous parler des expériences qui nous ont conduits à obtenir par transmutation des



éléments radioactifs nouveaux. Ces expériences ont été effectuées en commun par M. Joliot et par moi-même et la façon dont nous nous sommes partagés cette conférence est uniquement relative à la commodité de l'exposé.

En étudiant les transmutations avec émission de neutrons produites dans les éléments légers irradiés par les rayons alpha, nous avons remarqué certaines difficultés d'interprétation pour l'émission de neutrons par le fluor, le sodium et l'aluminium. L'aluminium peut se transformer par capture d'une particule alpha et expulsion d'un proton en un atome stable de silicium. Au contraire, s'il y a émission d'un neutron, le produit de la réaction n'est pas un atome connu.

Par la suite, nous avons observé que l'aluminium, le bore, irradiés par des rayons alpha, n'émettent pas seulement des protons et des neutrons, il y a aussi émission d'électrons positifs. Nous avons alors supposé que l'émission du neutron et de l'électron positif se produisait simultanément, au lieu de l'émission d'un proton ; l'atome résiduel devait être le même dans les deux cas.

C'est au début de l'année 1934, en étudiant les conditions d'émission de ces électrons positifs, que nous nous sommes aperçus d'une différence fondamentale entre cette transmutation et toutes celles qui avaient été produites jusqu'ici ; toutes les réactions de chimie nucléaire provoquées étaient des phénomènes instantanés, des explosions. Au contraire, les électrons positifs produits par l'aluminium sous l'action d'une source de rayons alpha, continuent à être émis pendant quelque temps après l'enlèvement de la source. Le nombre d'électrons émis décroît de moitié en 3 minutes.

Il s'agit donc ici d'une véritable radioactivité qui se manifeste par l'émission d'électrons positifs.

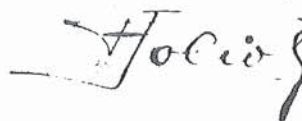
Nous avons montré que l'on pouvait communiquer de même une radioactivité avec émission d'électrons positifs ou négatifs au bore ou au magnésium, par bombardement de rayons alpha. Ces radioéléments artificiels se comportent en tout point comme les radioéléments naturels.

Reprenant notre hypothèse de la transformation du noyau d'aluminium en noyau de silicium, nous avons supposé que le phénomène se produit en deux temps : il y a d'abord capture de la particule alpha et expulsion instantanée du neutron, avec formation d'un atome radioactif qui est un isotope du phosphore de masse 30, alors que l'atome stable de phosphore a une masse égale à 31. Ensuite, cet atome instable, ce radioélément nouveau que nous avons appelé "radiophosphore" se détruit suivant une loi exponentielle caractérisée par une période de 3 minutes.

Nous avons interprété d'une manière semblable la production d'éléments radioactifs dans le bore et le magnésium ; dans le premier cas il y a production d'un azote instable de période 11 minutes, dans le second cas, d'isotopes instables du silicium et de l'aluminium.



BÖTZELLS ESSELTE STOLZ



#### M. FREDERIC JOLIOT,

Né le 19 mars 1900 à Paris, fils de Henri Joliot, négociant et de Emilie Joliot-Roederer.

Ingénieur diplômé de l'Ecole de Physique et de Chimie de la Ville de Paris (1923).

Préparateur particulier de Marie Curie à l'Institut du Radium (1925).

Licencié ès Sciences (1927) - Docteur ès Sciences (1930).

Assistant à l'Institut du Radium - Maître de Recherche du Fonds National des Sciences (1932-1935).

Maître de Conférence à l'Institut du Radium (1935).

Marié à Irène Curie le 9 octobre 1926.

Principaux travaux :

Recherches sur le rayonnement  $\alpha$  des radioéléments et sur les rayons de recul.

Etude électrochimique des radioéléments (Thèse de Doctorat, Paris 1930).

Découverte de phénomène de projection de noyaux d'atomes par les neutrons. Conditions d'excitation des neutrons par les rayons  $\alpha$  dans



divers éléments (en collaboration avec Irène Curie, 1932).

Conditions de production d'électrons positifs par les rayons  $\gamma$  de grande énergie quantique (en collaboration avec Irène Curie, 1933).

Production artificielle d'éléments radioactifs. Preuve chimique de la transmutation des éléments (en collaboration avec Irène Curie, 1934).

C'est pour ce travail que le Prix Nobel lui a été décerné en 1935, en commun avec Irène Curie-Joliot.

## CONFERENCE-NOBEL

Faite à Stockholm le 12 décembre 1935

par

M. le Professeur Dr. Frédéric Joliot.

L'interprétation de nos premières expériences reposait, ainsi que Mme Joliot-Curie vient de l'exposer, sur des faits d'ordre purement physique. Nous avons pensé qu'il était possible, grâce aux méthodes de la radiochimie, de justifier nos hypothèses de fournir une preuve chimique de la réalité des transmutations provoquées.

Les premières preuves indiscutables de la transformation d'éléments en éléments chimiques différents ont été fournies par l'étude des phénomènes de la radioactivité. Il n'y a aucun doute que le radium se transforme spontanément en un gaz actif, le radon, en émettant des particules alpha ou hélions. Nous pouvons écrire avec certitude la réaction nucléaire correspondante :



car les quantités des divers éléments entrant dans cette réaction peuvent être suffisantes pour que l'on ait pu entreprendre avec succès leur identification chimique et spectroscopique.

La suite des transformations radioactives fournit de nombreux exemples où les quantités de radioéléments sont extrêmement faibles, impondérables, et cependant, on a pu par les méthodes de la radiochimie étudier correctement leurs propriétés chimiques, identifier certains d'entre eux comme étant des isotopes d'éléments actifs ou inactifs disponibles en grande quantité.

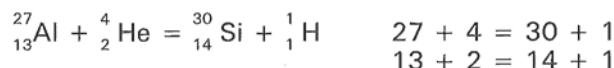
Cette chimie particulière où l'on manipule des quantités impondérables, parfois de l'ordre de  $10^{-16}$  gr, est rendue possible grâce au fait que l'on peut doser et suivre, par la mesure du rayonnement émis, les traces infinitésimales de matière radioactive dispersée au sein d'autres matières.

Si nous pouvons écrire avec certitude la réaction nucléaire correspondant à la plupart des transmutations spontanées, il n'en est pas de même pour des transmutations provoquées.

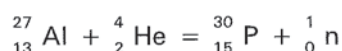
Le rendement de ces transmutations est très faible et les masses d'éléments formés en utilisant les sources de projectiles les plus intenses que nous savons produire actuellement sont inférieures à  $10^{-15}$  gr, représentées au plus par quelques millions d'atomes. On peut cependant déduire la nature des atomes formés avec une assez grande

sécurité en admettant, pour écrire la réaction nucléaire correspondante, qu'il y a d'une part conservation du nombre de masse, d'autre part conservation du nombre de charge nucléaire entre les éléments réagissant et les éléments formés.

C'est ainsi que le noyau d'aluminium capturant un hélion doit se transformer en silicium lorsqu'il y a émission d'un proton



L'atome formé est très probablement le silicium, mais cet élément étant présent en quantité infinitésimale, il n'est pas possible de l'identifier chimiquement. Au contraire, lorsque l'atome formé est radioactif nous pouvons l'identifier en appliquant les méthodes de la radiochimie. Dans le cas, par exemple, où l'Aluminium irradié par les rayons alpha émet des neutrons, la règle précédente permet d'écrire la réaction de transmutation suivante :



L'atome formé étant radioactif nous pouvons vérifier qu'il possède les propriétés chimiques du phosphore.

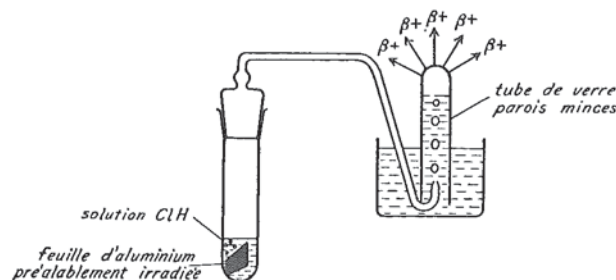


Fig. 1.

Une feuille mince d'aluminium, préalablement irradiée par les rayons alpha, est attaquée et dissoute dans une solution d'acide chlorhydrique (fig. 1). La réaction chimique produit de l'hydrogène naissant qui entraîne l'élément radioactif dans un tube à parois minces sous une cloche à eau. Cette séparation montre avec certitude qu'un élément chimique différent de l'aluminium a été formé lors de l'irradiation par les hélions. Elle fournit une preuve indiscutable des transmutations provoquées ; d'autre part, des traces de phosphore se seraient séparées de l'aluminium dans les mêmes conditions.

Enfin, l'aluminium activé peut être dissous dans un mélange acide oxydant. A la solution, on ajoute une petite quantité d'un phosphate de soude et d'un sel de zirconium et l'on constate que le phosphate de zirconium en précipitant entraîne l'élément radioactif. Ces expériences dans le cas de l'aluminium sont délicates, car elles doivent être effectuées en 6 minutes environ, la vie moyenne des atomes radioactifs formés étant inférieure à 5 minutes. Des essais chimiques du même genre nous ont montré que le radioélément formé dans le bore sous l'action des rayons  $\alpha$  est un isotope de l'azote.

Nous avons proposé d'appeler ces radioéléments nouveaux (isotopes, n'existant pas dans la nature,



d'éléments connus) radioazote, radiophosphore, radioaluminium (dans le cas du magnésium irradié par les rayons alpha) et de les désigner par les symboles :  $RN^{13}$   $RP^{30}$   $RAI^{28}$ .

Aussitôt après ces premières recherches, nous avons suggéré que le même phénomène pouvait avoir lieu pour des types de transmutations provoquées par le choc d'autres particules que les rayons alpha ; par exemple, par les protons, les deutons, les neutrons.

Ces expériences furent reprises et développées dans plusieurs pays. En Angleterre et aux Etats-Unis où les physiciens disposent d'installations de très hautes tensions, divers éléments nouveaux furent préparés à l'aide des projectiles protons et deutons. En Italie, d'abord, et dans d'autres pays ensuite, les chercheurs, en particulier Fermi et ses collaborateurs utilisèrent les neutrons, projecteurs de choix, pour provoquer les transmutations. Un grand nombre de nouveaux éléments furent ainsi créés parmi lesquels le radiophosphore  $RP^{32}$ , le radiohafnium, de périodes respectives 17-5 jours et quelques mois. Actuellement, on sait faire la synthèse, souvent par plusieurs procédés (le radioaluminium  $RAI^{28}$  peut être formé par des transmutations de 5 types différents) de plus de cinquante nouveaux radioéléments, nombre déjà supérieur à celui des radioéléments naturels que l'on trouve dans l'écorce terrestre. Ce fut certainement une grande satisfaction pour notre regretté Maître Marie Curie d'avoir vu ainsi se prolonger cette liste des radioéléments qu'elle avait eu, en compagnie de Pierre Curie, la gloire d'inaugurer.

La diversité des natures chimiques, la diversité des vies moyennes de ces radioéléments synthétiques, permettront sans doute des recherches nouvelles en biologie et en physico-chimie. Pour mener à bien ces travaux, il sera nécessaire de disposer de quantités relativement importantes de ces radioéléments. C'est en employant des projectiles accélérés artificiellement que l'on atteindra ce but. Des dispositifs répondant à ce désir existent déjà dans plusieurs pays. En France, nous avons réalisé deux installations qui nous ont permis récemment d'obtenir des radioéléments en quantité cent fois plus élevée que celle que nous obtenions dans nos premières expériences. Ce rapport sera largement dépassé prochainement.

La méthode des indicateurs radioactifs jusqu'alors réservée aux éléments de masse atomique élevée peut être généralisée à un très grand nombre d'éléments distribués dans toute l'étendue de la classification périodique. En biologie, par exemple, la méthode des indicateurs, employant les radioéléments synthétiques, permettra d'étudier plus facilement le problème de la localisation et de

l'élimination d'éléments divers introduits dans les organismes vivants. Dans ce cas, la radioactivité sert uniquement à déterminer la présence d'un élément dans telle ou telle région de l'organisme. Il n'est pas utile dans ces recherches d'introduire des quantités importantes de l'indicateur radioactif. Ces quantités sont fixées par la sensibilité de l'appareil détecteur de rayons et la grosseur de l'organisme végétal ou animal. Aux endroits, que l'on apprendra ainsi à mieux connaître, où les radioéléments seront localisés, le rayonnement qu'ils émettent produira son action sur les cellules voisines. Pour ce deuxième mode d'emploi, il sera nécessaire d'utiliser des quantités importantes de radioéléments. Ceci trouvera probablement une application pratique en médecine.

De l'ensemble des faits envisagés, nous comprenons que les quelques centaines d'atomes d'espèces différentes qui constituent notre planète ne doivent pas être considérés comme ayant été créés une fois pour toutes et éternels. Nous les observons parce qu'ils ont survécu. D'autres moins stables ont disparu. Ce sont probablement quelques-uns de ces atomes disparus qui sont régénérés dans les laboratoires. Jusqu'alors, seuls des éléments à vie relativement brève, s'étendant de la fraction de seconde à quelques mois, ont pu être obtenus. Pour créer une quantité appréciable d'un élément à vie beaucoup plus longue, il faudrait disposer d'une source de projectiles prodigieusement intense. N'y a-t-il aucun espoir de réaliser ce nouveau rêve ?

Si, tourné vers le passé, nous jetons un regard sur les progrès accomplis par la science à une allure toujours croissante, nous sommes en droit de penser que les chercheurs construisant ou brisant les éléments à volonté sauront réaliser des transmutations à caractère explosif, véritables réactions chimiques à chaînes.

Si de telles transmutations arrivent à se propager dans la matière, on peut concevoir l'énorme libération d'énergie utilisable qui aura lieu. Mais hélas, si la contagion a lieu pour tous les éléments de notre planète, nous devons prévoir avec appréhension les conséquences du déclenchement d'un pareil cataclysme. Les astronomes observent parfois qu'une étoile d'éclat médiocre, augmente brusquement de grandeur, une étoile invisible à l'œil nu peut devenir très brillante et visible sans instrument, c'est l'apparition d'une Novae. Ce brusque embrasement de l'étoile est peut-être provoqué par ces transmutations à caractère explosif, processus que les chercheurs s'efforceront sans doute de réaliser, en prenant, nous l'espérons, les précautions nécessaires.