

## LA RADIOACTIVITÉ ET LE REMPLISSAGE DES «TROUS» DU SYSTÈME PÉRIODIQUE

Dans l'Antiquité on connaissait 8 ou 9 corps que nous définissons actuellement comme éléments chimiques. Ce sont le fer (*Fe*), le cuivre (*Cu*), l'argent (*Ag*), l'or (*Au*), le plomb (*Pb*), l'étain (*Sn*), le mercure (*Hg*), le soufre (*S*), et le carbone (*C*).

Les 6 premiers et le soufre sont mentionnés dans la bible. L'obscurantisme du moyen âge a paralysé tout progrès scientifique, et malgré les nombreuses recherches des alchimistes sur la pierre philosophale, ceux-ci n'ont ajouté à la liste; connue que l'arsenic (*As*), l'antimoine (*Sb*), et le bismuth (*Bi*). Le phosphore (*P*) a été découvert au XVII<sup>me</sup> siècle. Les métaux zinc (*Zn*), cobalt (*Co*), nickel (*Ni*), manganèse (*Mn*), tungstène (*W*), chrome (*Cr*), molybdène (*Mo*), uranium (*U*), tellure (*Te*), et les gaz hydrogène (*H*), oxygène (*O*), azote (*N*), ont été isolés au siècle suivant.

Lorsque Mendljeff établit en 1869 le système périodique, son tableau contenait 65 éléments, compris, entre l'hydrogène, l'élément le plus léger, et l'uranium, l'élément le plus lourd. Le trait génial de cette découverte consistait non pas dans la classification périodique des éléments d'après leurs propriétés les plus importantes, mais dans les conclusions hardies qu'il en tirait, notamment dans la prévision de l'existence et des propriétés de nouveaux éléments, inconnus et correspondant aux «trous» qu'il a laissés dans le tableau afin de respecter la périodicité. On sait que Mendljeff avait prévu, entre autres, en détail, les propriétés de 3 éléments alors inconnus: éka-bore, éka-aluminium et éka-silicium. Ces éléments ont été découverts peu de temps après et leurs propriétés correspondent exactement à celles qui ont été prévues. Ce sont le scandium (*Sc*), le gallium (*Ga*) et le germanium (*Ge*).

Le succès du système de Mendljeff s'est de nouveau raffermi à la fin du dernier siècle et au début du vingtième avec la découverte de la radioactivité par Becquerel et Pierre et Marie Curie et des gaz rares, tout

une série de nouveaux éléments radioactifs; le polonium (*Po*), le radium (*Ra*), l'actinium (*Ac*), le protactinium (*Pa*), et le radon (*Rn*), ont pu être placés sans difficulté dans les cases vides entre le bismuth et le thorium. En particulier, le gaz radon est venu s'ajouter en bas de la nouvelle colonne introduite dans le système périodique en 1894-1898 par Ramsay après sa découverte des 5 gaz rares de l'atmosphère: l'hélium (*He*), le néon (*Ne*), l'argon (*A*), le krypton (*Kr*), et le xénon (*X*). Les éléments de cette colonne sont compris dans le groupe dit zéro, ce qui, correspond au point de vue chimique au fait que la valence de ces éléments est nulle.

Le tableau conçu par Mendljeff présentait cependant quelques irrégularités; pour respecter la périodicité des propriétés on avait été obligé dans 3 ou 4 cas de placer certains éléments avant d'autres éléments ayant un poids atomique légèrement plus petit, et surtout il a été nécessaire de grouper une dizaine d'éléments, ayant il est vrai des propriétés chimiques très voisines, dans une et même case le groupe des «terres rares». Ces difficultés ont été éliminées lorsque le jeune savant Moseley (tué aux Dardanelles en 1915) a montré en 1913 par l'étude des rayons X que les éléments chimiques sont bien mieux caractérisés par un *numéro atomique* que par leur *masse atomique*. Ce numéro correspond au nombre des électrons qui gravitent dans l'atome autour du noyau central et il peut être déterminé par l'étude des rayons X. On a pu ainsi préciser que à l'hydrogène correspond le numéro atomique 1 et à l'uranium, l'élément le plus lourd, le numéro atomique 92. Entre ces deux éléments extrêmes se classaient tous les autres éléments connus à ce moment, soit 84 éléments et, en tout, 86.

Le système périodique contenait donc alors 6 «trous» correspondant aux nn° 43, 61, 72, 75, 85 et 87. De nombreux chimistes et physiciens se sont mis à chercher les 6 éléments

manquants soit dans les minerais soit dans les produits radioactifs.

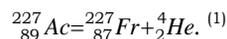
L'élément 72 a été trouvé en 1923 par Hevesy et Coster à Copenhague. Ces deux savants, grâce à une compréhension profonde de la structure atomique, telle qu'elle résulte de la célèbre théorie de Niels Bohr, avaient prévu que ce nouvel élément devait avoir des propriétés chimiques très proches de celles du zirconium (*Zr*). C'est donc dans les minerais de cet élément qu'ils ont cherché et découvert l'élément 72, auquel ils ont donné le nom de *hafnium* (*Hf*) (nom latin de Copenhague). Son existence a été révélée d'abord par l'étude aux rayons X (présence de raies prévues par la loi de Moseley), puis abondamment confirmée par des méthodes chimiques.

Deux ans plus tard, les époux Noddack ont découvert à Berlin, après de longues et patientes recherches, l'élément 75 qu'ils ont appelé *rhénium* (*Re*). Celui-ci a été également identifié d'abord par les rayons X, puis isolé par des méthodes chimiques. Bien qu'il soit un élément assez rare, on pouvait déjà avant la guerre se procurer facilement des quantités importantes du métal ou de ses sels. Ces propriétés sont maintenant bien connues: homologue<sup>(1)</sup> du manganèse, il s'approche de lui par un certain nombre de propriétés, mais il en diffère par bien d'autres (la valence VII de (*Re*) est beaucoup plus stable, de sorte que les sels de l'acide perrhénique ne sont pas des oxydants forts comme les permanganates; il peut former des anions *Re*<sup>-</sup>, mais on ne connaît pas d'ions *Mn*<sup>-</sup>).

Ces mêmes auteurs avaient annoncé également l'existence de l'élément 43 qu'ils ont nommé masurium. Mais cette découverte basée seulement sur l'étude par rayons X n'a pas été confirmée, et jusqu'ici on n'a aucune indication sérieuse sur l'existence de cet élément dans la nature. La méthode des rayons X est, en effet, délicate; très précieuse pour orienter la recherche d'un nouvel élément, les résultats

qu'elle fournit ne peuvent cependant être considérés comme sûrs que s'ils sont confirmés par des méthodes chimiques. C'est ainsi que divers auteurs ont prétendu avoir découvert par rayons X les éléments 61 et 87 auxquels ils se sont dépêchés de donner des noms en honneur de leurs pays ou villes d'origine, mais dans ces cas également les faits chimiques n'ont pas confirmé les découvertes annoncées. Certains théoriciens pensent même que les éléments 43 et 61 ne peuvent plus exister dans la nature par suite de l'instabilité de leurs noyaux atomiques, de sorte que si même ils étaient présents dans le globe terrestre à l'origine de sa formation, ils se seraient depuis désintégrés comme corps radioactifs (à vie relativement courte) et auraient disparu.

Par contre, l'existence de l'élément 87 a été prouvée avec certitude par Marguerite Perey en 1939 à Paris. Par des méthodes chimiques et radioactives elle a montré que c'est un élément radioactif qui se forme à partir de l'actinium (*Ac*), lorsque celui-ci, radioactif lui-même, se décompose par émission d'une particule  $\alpha$  (qui est un atome d'hélium):



Cet élément s'appelle *francium* (*Fr*). Comme il fallait s'attendre d'après sa position dans le système périodique, il présente toutes les propriétés caractéristiques des éléments alcalins.

D'après des expériences toutes récentes de Karlik et Bernert faites à Vienne, des isotopes radioactifs<sup>(2)</sup> de l'élément 85 existeraient également parmi les produits de désintégration du radium, du thorium et de l'actinium. Ce seraient des corps très instables, dont la vie moyenne serait de quelques secondes ou fraction de seconde, de sorte que leur étude par des méthodes chimiques serait très difficile, sinon impossible. Par ce fait même les

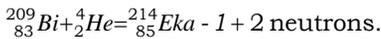
(1) Les éléments qui se trouvent dans la même colonne verticale du système périodique s'appellent *homologues*.

(1) Le nombre placé à gauche et en haut du symbole chimique indique la masse de l'atome, celui d'en bas son nombre atomique.

(2) Les isotopes sont des variétés d'un élément qui diffèrent légèrement par leurs masses atomiques; ils ont pratiquement les mêmes propriétés chimiques.

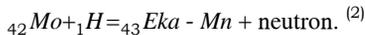
expériences en question demandent encore d'autres vérifications.

On a pu cependant préparer cet élément, qui est un éka-iode au moyen de la radioactivité artificielle et même étudier ses propriétés. Ce sont Corson, Mac-Kenzie et Segré qui l'ont obtenu dans le cyclotron<sup>(1)</sup> de Berkeley (Californie) en bombardant le bismuth avec des particules  $\alpha$ :



Ils ont proposé de l'appeler *astatine* (At, instable, pour rappeler son origine et sa nature radioactives). C'est l'élément le plus « noble » parmi les halogènes; son caractère métallique doit d'ailleurs être très prononcé, plus encore que celui de l'iode. Contrairement à ce dernier, il forme des sels qui ne précipitent pas en solution par le nitrate d'argent.

C'est encore par la radioactivité artificielle que Segré et Perrier ont préparé un isotope de l'élément 43. Ils l'ont obtenu en bombardant le molybdène avec des atomes ionisés de l'hydrogène lourd (deutons), possédant une énergie très élevée (qu'on leur fournit à l'aide d'une champ électrique intense):



Cet élément port le nom de *technicium* (Tc, d'origine technique et non naturelle); il partage les propriétés chimiques du manganèse et du rhénium, entre lesquels il se trouve dans le système périodique.

Enfin, le dernier élément manquant, le 61, a été également préparé par voie artificielle, cette fois par la fission de l'uranium. On sait que ce phénomène consiste dans l'explosion du noyau atomique de l'uranium sous l'action de neutrons et rupture en deux « morceaux », deux nouveaux noyax plus petits et eux mê-

mes instables, radioactifs, qui se décomposent à leur tour avec émission de neutrons, rayons  $\alpha$  et  $\gamma$  en donnant d'autres atomes radioactifs etc., jusqu'à ce qu'on s'arrête à des noyaux stables. Au cours des travaux sur la bombe atomique on a identifié des dizaines et (les dizaines d'isotopes radioactifs qui se forment par suite de la fission, et plusieurs de ces isotopes appartiennent à l'élément 61. Les propriétés chimiques de celui-ci n'ont pas encore été décrites, mais comme il se trouve au milieu du groupe des « terres rares », il partage certainement toutes leurs propriétés. Les jeunes chimistes, Marinsky et Glendenin proposent de l'appeler par *prométhéum* (Pm). Ils entendent par cela évoquer l'invention du feu par le héros mythologique Prométhée et rappeler aux hommes que la libération de l'énergie atomique, utilisée pacifiquement, devrait constituer une source de bien-être de progrès réel.

C'est ainsi qu'à l'heure actuelle tous les « trous » du système périodique sont remplis soit par des éléments trouvés dans la nature soit par des éléments créés artificiellement. Nous avons vu le rôle considérable que la radioactivité a joué pour atteindre ce résultat remarquable. Mais ce n'est pas tout. D'après ce que nous avons dit, il ne peut y avoir plus de 92 éléments entre l'hydrogène et l'uranium. Ceci n'exclut cependant pas la possibilité d'existence d'éléments plus lourds que l'uranium, c'est à dire qui ont des numéros atomiques plus élevés. En effet, encore en relation avec les travaux sur la fission de l'uranium, on a préparé artificiellement 4 nouveaux éléments, « transuraniens », qui se forment successivement à partir de l'uranium, lorsque celui-ci est soumis à l'action de divers projectiles atomiques. Ces éléments qui portent donc les numéros 93 à 96 s'appellent: *neptunium* (Np), *plutonium* (Pu), *américium* (Am), et *curium* (Cm). C'est surtout le plutonium qui a acquis une importance extraordinaire par suite de sa propriété de subir, comme l'uranium, la fission nucléaire. Il a été utilisé comme « explosif » dans une des deux bombes atomiques lancées en 1945 au

(1) Le cyclotron est un appareil gigantesque, dans lequel on produit des particules (ions d'hydrogène, rayons  $\alpha$  etc.) d'énergie très élevée et qui servent à provoquer des transformations radioactives.

(2) Le neutron est une particule élémentaire ayant la même masse que l'hydrogène mais qui ne peut pas se décomposer en un ion et un électron.

Japon. Les américains lui ont porté un intérêt particulier; un grand nombre de ses composés a été préparé et étudié. Les propriétés des 3 autres éléments ont été également examinées suffisamment (mais peu divulguées) pour pouvoir les caractériser du point de vue chimique.

Ces propriétés sont très proches de celles de l'uranium. Comme celui-ci, les 4 éléments présentent plusieurs degrés de valence: III, IV, V e VI, mais tandis que la valence la plus stable de l'uranium est VI, la stabilité des nouveaux éléments se déplace vers les valences inférieures, de sorte que les composés du curium sont plus stables à l'état de valence III. Cette différence permet de sé-

parer les 5 éléments les uns des autres par une série d'oxydations et de réductions; dans ces opérations, l'uranium s'oxyde plus facilement pour passer à l'état de composés de valence VI, le curium se réduit plus facilement pour prendre la valence III et les 3 autres ont un comportement intermédiaire.

Pour terminer, signalons qu'on a pu déceler la présence de quantités extrêmement faibles de plutonium dans les minerais de l'urane (1 part sur  $10^{14}$ ). La détection d'une quantité aussi faible n'a été possible que grâce à une connaissance profonde des propriétés chimiques du nouvel élément.

M. HAÏSSINSKY  
INSTITUT DU RADIUM, PARIS

## 9. HISTÓRIA E ANTOLOGIA

FREDERICO PASCHEN

Morreu Frederico Paschen em Potsdam, no dia 20 de Fevereiro de 1947, com 82 anos de idade, depois de ter dedicado a melhor parte da sua vida à investigação científica.

Espírito muito vivo, trabalhador incansável, comunicando aos seus discípulos um grande entusiasmo por todos os trabalhos a que se dedicava, dispunha todos os dias de uma hora para discutir com os estudantes, problemas científicos.

Duma grande honestidade, a sua modéstia levava-o a esquecer o grande papel que desempenhava no desenvolvimento científico dos que com ele trabalhavam; louvava e entusiasmava todos os trabalhos honestos, mas não se cansava de destruir e criticar os resultados falseados ou feitos com menos honestidade.

Era Foreign Member of the Royal Society e Honorary Fellow of the Physical Society e foi o Presidente da Physikalisch — Technische Reichsanstalt.

Entre os seus trabalhos podemos citar os

estudos sobre a radiação espectral do corpo negro; a realização do galvanómetro que tem o seu nome e o estudo da espectrografia do infra-vermelho; estudou o efeito Zeeman, estruturas hiperfinas, spin nuclear, etc.; em 1908 descobriu uma série de riscas do espectro do hidrogénio, na região do infra-vermelho e estabeleceu a fórmula dessa série que tem o seu nome; estudou a estrutura hiperfina do hélio e em 1919 classificou as 130 séries do espectro do neon.

Perseguido pelo nazismo foi demitido em 1933 sendo-lhe permitido trabalhar numa pequena dependência em Reichsanstalt.

Se bem que condicionado pela situação em que se encontrava, continuou os seus estudos, fazendo várias publicações.

A *Gazeta de Física* só hoje, passados quase dois anos e devido à situação internacional, teve conhecimento da morte de Frederico Paschen e portanto só hoje presta publicamente a sua homenagem ao cientista e ao homem.

M. H. S.