

## SUR LA PRÉPARATION DE RADIOÉLÉMENTS JUSQU'A PRÉSENT PEU OU POINT UTILISÉS EN MÉDECINE\*

La découverte de la nouvelle science de la radioactivité nous a fait connaître près de quarante éléments nouveaux qu'on nomme *radioéléments* et qui ont en commun la propriété de subir une transformation atomique en émettant des rayons de trois espèces: *rayons  $\alpha$*  consistant en atomes d'hélium à charge positive animés d'une grande vitesse, — *rayons  $\beta$*  ou électrons beaucoup plus petits que l'atome d'hydrogène et animés également de grandes vitesses, — *rayons  $\gamma$* , vibration électromagnétique analogue à la lumière et aux rayons X, mais atteignant une fréquence bien plus élevée.

Au point de vue du pouvoir pénétrant, les rayons  $\alpha$  sont les plus absorbables, les rayons  $\beta$  sont plus pénétrants, et les rayons  $\gamma$  le sont encore davantage.

Parmi les radioéléments le plus connu est le radium, car il a été isolé, qu'il fait l'objet d'une fabrication industrielle et qu'il a reçu une application importante en médecine. A un degré moindre est connu le mésothorium qui est aussi préparé par l'industrie comme sous-produit de la fabrication du thorium et dont les applications médicales sont semblables à celles du radium. Mais les autres radioéléments ne sont, en général, connus que des techniciens, et il peut y avoir une certaine utilité à ce que je vous entretienne quelques instants de l'intérêt qu'ils peuvent présenter en ce qui concerne la possibilité de leur emploi en médecine. Ce qu'il faut se demander d'abord, c'est si la préparation de ces matières mérite un effort d'organisation laborieux, alors que les quantités qu'on peut obtenir sont, en général, très inférieures à celles de radium et qu'il n'y a pas, d'autre part, à en attendre des espèces de rayons que ne peut fournir le radium.

Pour examiner cette question rappelons-nous que la thérapie fait utiliser les radioéléments de deux manières différentes: soit comme source *externe*,

---

\* [Mme Curie, Comm. à l'Acad. de Médecine, 23 Avril 1925; *Bull. de l'Acad. de Médecine*, 93, 417 (1925) — ed.].

la matière active étant enfermée dans des tubes ou collée sur des plaques; — soit comme source *interne*, la matière radioactive étant introduite dans l'organisme sous forme d'injections, de boisson, d'inhalation.

Dans le premier cas, on peut faire varier à volonté la durée de l'application, et parmi les trois espèces de rayons  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  émis par un tube de radium on peut éliminer les plus absorbables  $\alpha$  et  $\beta$  à l'aide de filtres appropriés et ne conserver que les plus pénétrants  $\gamma$ . Par contre, on ne pourra pas éliminer les rayons  $\gamma$  et utiliser seulement les rayons  $\alpha$  ou  $\beta$ . Et si l'expérience montrait qu'il y a parfois intérêt à agir ainsi, il faudrait avoir recours à une source autre qu'un tube de radium.

Le deuxième cas, où la matière radioactive est introduite dans l'organisme, présente une complication plus grande. Non seulement le genre de rayons utilisés dépend alors de la nature du radioélément, mais de plus la distribution du rayonnement peut dépendre de la manière dont le radioélément se fixe sur les tissus ou s'élimine de l'organisme, et la durée de l'action dépend en plus de la *durée de vie* du radioélément, de sorte que les effets obtenus avec un élément à vie courte pourront être salutaires là où un élément à vie longue donnerait des résultats néfastes.

Passons donc en revue la liste des radioéléments et voyons quels sont ceux qu'on peut préparer et utiliser. On a coutume de présenter cette liste sous forme de trois familles: famille de l'uranium-radium, famille de l'actinium, famille du thorium. L'uranium et le thorium sont deux éléments primaires dont chacun donne naissance par transformation radioactive à des dérivés successifs indiqués par ordre de filiation dans les tableaux que vous voyez devant vous. La famille de l'actinium dérive aussi de l'uranium, mais le mode de descendance n'est pas connu avec certitude. Pour chaque élément on a indiqué sur les tableaux la nature des rayons émis et la *période*, c'est-à-dire le temps nécessaire pour la décroissance de moitié. Il va sans dire qu'un élément de vie trop courte ne peut être pratiquement séparé. Nous examinerons donc seulement ceux dont la durée permet des opérations d'extraction normales.

Ce qui est particulièrement à remarquer c'est que si la source de tous les radio-éléments est dans les minéraux d'urane et de thorium, certains d'entre eux, cependant, s'obtiennent de préférence à partir de leurs ascendants les plus directs à vie longue, de sorte que ces ascendants peuvent être considérés comme des corps qu'il faut extraire dans les usines et emmagasiner et qui servent ensuite comme source de production de certains dérivés par des opérations de laboratoire semi-industrielles. Nous en verrons ici plusieurs exemples.

Nous rencontrons d'abord dans la famille de l'uranium un corps nommé uranium  $X_1$  ayant une période d'environ vingt-quatre jours. Ce corps est suivi d'un descendant à courte vie uranium  $X_2$  et l'ensemble émet des rayons  $\beta$  avec

très peu de rayons  $\gamma$  et par là est propre à l'étude de l'action des rayons  $\beta$  sur l'organisme. L'uranium  $X_1$  possède les propriétés du thorium et on peut le séparer de l'uranium dans lequel il s'en accumule une quantité limite déterminée par les lois de l'équilibre radioactif. Ce corps jusqu'ici n'a été séparé que pour des travaux physico-chimiques, et les méthodes indiquées sont très variées. Pour que l'opération puisse être pratique, il faut pouvoir la renouveler facilement. Pour cela, on pourrait, dans une solution d'urane, ajouter une petite quantité de solution de sel de baryum et précipiter ce baryum complètement par l'acide sulfurique. Le sulfate de baryum formé entraîne l'uranium X plus ou moins complètement. Ce précipité séparé du liquide surnageant serait dissous par un traitement chimique convenable et l'uranium X serait séparé de cette solution à l'aide d'un réactif qui précipite le thorium. On pourrait ainsi assez rapidement extraire l'uranium X provenant de 100 kilogrammes d'urane et l'obtenir disponible pour les expériences, dans une solution ne contenant que très peu de matière étrangère, tandis que la solution d'urane privée par cette opération de son uranium X, en reformerait de nouveau et contiendrait après une période de vingt-quatre jours la moitié de la quantité limite qui ne peut être dépassée.

L'élément qui succède à l'uranium X dans la famille est un corps de longue vie, l'ionium, qui se trouve dans les minéraux en proportion environ 50 fois plus grande que le radium et n'émet pratiquement que des rayons  $\alpha$ . Ce corps est un isotope du thorium et se trouve toujours mélangé à celui-ci dans les minéraux; c'est donc un mélange ionium-thorium que l'on extrait de ceux-ci, et ce mélange ne peut être modifié puisque la séparation des isotopes est une opération à peu près impossible par des moyens pratiques.

L'ionium-thorium n'a pas encore été préparé industriellement, mais pourrait l'être comme sous-produit de la fabrication du radium. Il pourrait sans doute recevoir des applications industrielles telles que l'usage pour mélanges lumineux; pour l'utiliser en médecine, il faudra tenir compte du fait que son activité spécifique est moindre que celle du radium, de sorte que la quantité de matière nécessaire pour obtenir le même rayonnement  $\alpha$  est beaucoup plus grande.

Nous n'avons pas à nous arrêter au dérivé suivant qui est le radium et nous pouvons passer aussitôt au radon ou émanation du radium, corps gazeux dont la préparation est devenue une opération habituelle, quoique délicate, dans plusieurs Instituts consacrés à la radiumthérapie, en particulier à l'Institut du Radium de Paris.

La période du radon est de 3,8 jours environ, et on l'extrait des solutions de radium accompagné d'un mélange de gaz que l'on absorbe par des réactifs appropriés. Le radon purifié est introduit, soit par condensation, soit par refoulement, dans de petites ampoules dont le rayonnement, quoique décroissant avec le temps, est de même nature que celui qui provient des tubes de radium.

La préparation du radon est une opération de laboratoire industrialisée qui demande des opérateurs habiles. Les corps A, B, C sont des dérivés à courte vie du radon et c'est aux corps B et C qu'est dû le rayonnement  $\gamma$  des ampoules d'émanation.

Le dérivé suivant, le radium D, ou radioplomb, est un corps à longue vie, dont la période est seize ans, et qui se trouve dans les minerais en proportion de 10 milligrammes par gramme de radium. Ce corps qu'on obtient mélangé au plomb vulgaire, comme sous-produit de la fabrication du radium, n'a pas grand intérêt par lui-même, car son rayonnement est très faible, mais il est important comme source de deux dérivés, le radium E et le polonium, dont le premier ne donne que des rayons  $\beta$ , tandis que le second ne donne que des rayons  $\alpha$ . Au lieu d'être extrait du minerai, le radioplomb peut être obtenu comme produit de la destruction du radon et de ses dérivés; chaque ampoule d'émanation en contient, après destruction du radon, une quantité minime. On peut donc extraire le radioplomb, soit du minerai, soit d'anciennes ampoules d'émanation. Au laboratoire Curie, le traitement des ampoules a été organisé en exploitation régulière. Les ampoules usées sont conservées et réunies en lots. Quand un lot est suffisant, on pile les ampoules, et on traite le verre pilé par une solution acide chlorhydrique ou azotique à chaud. On dissout ainsi le radioplomb avec une petite quantité de plomb vulgaire contenu dans le verre. La solution est purifiée et conservée dans un flacon de quartz d'environ 20 cent. cubes de contenance, à bouchon rodé. Dans cette solution s'accumulent le radium E et le polonium.

L'extraction du polonium (période 140 jours) a lieu par dépôt de ce métal sur l'argent. Une lame d'argent mince, maintenue en rotation lente dans la solution pendant quelques heures, récolte tout le polonium qui s'y trouve. Cette lame est ensuite dissoute dans l'acide nitrique étendu, et l'argent est précipité par l'acide chlorhydrique en solution très acide. Le polonium reste dans la solution; celle-ci est évaporée presque à sec et ramenée pour l'utilisation à un état de faible acidité; elle ne contient pour ainsi dire pas de matière solide en proportion appréciable. C'est avec du polonium ainsi préparé qu'ont été faites les belles expériences de M. le Dr Lacassagne en collaboration avec Mme Lattès sur la fixation du polonium par l'organisme et sur la micro-radiographie des organes. Dans la solution privée de polonium, celui-ci se reforme et l'on en retrouve, après quelque temps, la quantité prévue.

Partant des solutions de radioplomb de minerais, nous espérons organiser une production analogue, mais la proportion de plomb vulgaire est, en ce cas, beaucoup plus grande; l'exploitation devra procéder par emploi de cadres d'argent en rotation dans des solutions de radioplomb contenues dans des bacs.

Le radium E peut être obtenu des solutions de radioplomb par dépôt sur du nickel ou du cuivre, l'opération est cependant plus difficile que pour le polonium.

Passant à la famille du thorium, je rappellerai que le mésothorium 1, premier dérivé du thorium, est préparé industriellement par les mêmes procédés que le radium dont il est l'isotope, et qu'il donne naissance au radiothorium qui est aussi livré par l'industrie, car on l'obtient à la queue de la cristallisation fractionnée qui fournit à la tête le mésothorium. Le produit suivant, le thorium X, a reçu des applications médicales, et a fait l'objet d'une préparation semi-industrielle restreinte, pour laquelle on procède comme il suit. D'une solution de radiothorium contenant quelques milligrammes de thorium on précipite le thorium et le radiothorium par l'ammoniaque ou par l'eau oxygénée. La solution qui contient le thorium X est évaporée; le résidu, s'il existe, ne doit contenir que des sels ammoniacaux qu'on chasse par calcination. La matière active qui reste à l'état impondérable est dissoute dans l'eau, et les solutions de thorium X ainsi obtenues peuvent être presque complètement exemptes de résidu solide. La période du thorium X est de 3,6 jours.

Dans la série de l'actinium aucune préparation régulière n'a été tentée; ni l'actinium ni le protactinium n'ont encore été préparés en quantité importante à cause des difficultés de leur extraction. Si l'on disposait d'une certaine provision d'actinium, on pourrait organiser une préparation régulière d'actinium X (période 11,2 jours), en le séparant de l'actinium et du radioactinium par précipitation de ces derniers par l'ammoniaque. J'ai entrepris récemment des travaux chimiques pour arriver à ce résultat et nous comptons, à l'Institut du Radium, organiser progressivement la production de tous les radioéléments dont il a été question dans cette communication.