

## SUR LA PRODUCTION DE RADIUM PAR L'IONIUM\*

**Sommaire.** — Dans cet article, j'ai examiné les problèmes qui se rattachent à l'étude de la production du radium par l'ionium. J'ai exposé les conditions de cette étude du point de vue théorique, indiquant une méthode graphique pour l'interprétation des mesures et une méthode pour la détermination exacte de la quantité de radium présente à un moment donné. Cette méthode a été appliquée à un travail fait en collaboration avec Mme Cotelte et ayant déjà fait l'objet d'une publication en commun avec elle. On trouve la valeur de 119 000 ans pour la vie moyenne de l'ionium, d'après la mesure de l'accroissement de radium dans une solution contenant une quantité connue de mélange ionium-thorium de poids atomique moyen connu.

L'ionium est le parent direct du radium dans la série de filiation dont le premier terme est l'uranium. La transformation d'ionium en radium ayant lieu avec émission de rayons  $\alpha$ , on attribue à l'ionium le poids atomique 230 par addition de 4 unités à celui du radium. En qualité de dérivé de l'uranium, l'ionium se trouve dans les mêmes minerais que celui-ci et participe à l'équilibre de régime établi dans les minéraux d'urane anciens inaltérés, conformément à la théorie des transformations radioactives. La proportion d'ionium dans ces minéraux est d'environ 20 grammes par tonne d'uranium. Quand on traite les minéraux pour en extraire le radium, l'ionium se partage généralement entre les produits du traitement. Par exemple, si l'attaque du minerai est faite par l'acide sulfurique dilué, après addition de baryum, l'ionium passe en partie dans la solution sulfurique avec l'urane et le fer, tandis que la partie restante accompagne les sulfates insolubles de baryum et de plomb. Ce comportement s'explique par les propriétés chimiques de l'ionium qui est un isotope du thorium et, par conséquent, forme comme celui-ci un sulfate qui possède une certaine solubilité, mais qui subit l'entraînement par le sulfate de baryum.

Pour extraire l'ionium pur du minerai, il est nécessaire que celui-ci soit exempt de thorium à une grande précision, puisque la proportion ionium-uranium est de l'ordre  $2 \times 10^{-5}$ . Parmi les minerais exploités, ceux qui ne contiennent pratiquement pas de thorium sont les plus appréciés pour la fabrication du

\* [Mme Pierre Curie, *J. Chim. Phys.*, 27, 347 (1930) — ed.].

radium, car ils fournissent cet élément exempt de mésothorium qui est un dérivé du thorium, mais accompagne le radium au cours des traitements puisque ces deux corps sont isotopes. D'autre part, l'association du thorium avec l'uranium dans les mêmes minerais a conduit à envisager la possibilité d'une relation de filiation entre ces corps. La recherche de petites quantités de thorium dans les minerais d'urane a donc un intérêt à la fois théorique et pratique, mais le dosage de ces traces est délicat et on possède peu de résultats précis à ce sujet. Dans les pechblendes exploitées, la proportion de thorium paraît être du même ordre que celle d'ionium, de sorte que la matière extraite des minerais est un mélange d'ionium et de thorium en proportions comparables.

Pour connaître cette proportion on peut avoir recours à la détermination du poids atomique moyen, laquelle doit être exécutée avec une grande précision, puisque l'ionium et le thorium ont des poids atomiques voisins 230,0 et 232,12. Hönigschmid et Horovitz ont établi à cet effet une méthode qui consiste à préparer le bromure de thorium et à doser le brome qui y est contenu à l'état de bromure d'argent<sup>1</sup>. Ils ont appliqué cette méthode à l'étude d'un mélange ionium-thorium provenant de la pechblende de Jachymov (St-Joachimsthal) et ont trouvé pour ce mélange un poids atomique moyen 231,51, qui correspond à une proportion atomique  $x = 0,61/2,12$ , soit 28,77% d'ionium. Des expériences ultérieures de St. Meyer et C. Ulrich<sup>2</sup> faites sur des mélanges isotopiques provenant de la même localité ont fourni une proportion de Io d'environ 50%; ces auteurs pensent que le rapport Io/Th n'est pas nécessairement constant pour divers lots d'un minerai de provenance déterminée.

Pour comparer les teneurs en ionium de mélanges Io/Th, on peut remplacer la détermination du poids atomique par la mesure de la vitesse de formation du radium dans des échantillons de poids connu; la quantité de radium formée en un temps donné est, en effet, proportionnelle à la quantité d'ionium dans le mélange et indépendante de la quantité de thorium. Cette méthode se prête donc à l'étude systématique de la proportion Io/Th dans des mélanges de diverses provenances.

Si l'on dispose d'un échantillon dont la teneur en ionium a été contrôlée par la mesure du poids atomique, la même méthode permet de déterminer la vie moyenne de l'ionium. Si  $q$  est la quantité de radium en grammes formée pendant un an à partir de la quantité  $Q$  grammes d'ionium, le nombre d'atomes de Ra formé est  $Nq/226$  où  $N$  est le nombre d'Avogadro; à chacun de ces atomes correspond un atome d'ionium détruit, et comme le nombre de ceux-ci était  $NQ/230$ , la fraction transformée, c'est-à-dire la constante radioactive est  $\lambda = 230 q/226 Q \text{ an}^{-1}$ , et la vie moyenne est  $\theta = 1/\lambda$ . La connaissance de  $\lambda$  ainsi obtenue peut être comparée à celle déduite par F. Soddy de mesures d'accroissement de ra-

<sup>1</sup> C. Hönigschmid et S. Horovitz, *Wien. Ber.*, 125 (1916).

<sup>2</sup> St. Meyer et C. Ulrich, *Wien. Ber.*, 132 (1923).



dium dans une solution contenant une quantité connue d'urane parfaitement purifié et par là privé à l'origine tant d'ionium que de radium. Enfin, considérant comme connues les constantes radioactives de Io et U, on connaît la proportion Io/U dans les minéraux anciens inaltérés, celle-ci étant égale au rapport  $\lambda_U/\lambda_{Io}$ . La mesure de la proportion Io/Th pour un échantillon permet donc de déduire la proportion Th/U pour le minerai dont provient cet échantillon.

On voit, par ce qui précède, l'intérêt qui s'attache à l'étude systématique de la production de radium par l'ionium. J'ai entrepris à ce sujet, à l'Institut du Radium, un travail en collaboration avec Mme Cotelle. La mesure des poids atomiques a été remise à une époque ultérieure, grâce à l'obligeance de M. le Professeur St. Meyer qui a bien voulu mettre à ma disposition un échantillon très pur d'oxyde Io-Th de poids atomique connu, pour le prêt duquel je lui adresse ici tous mes remerciements. A l'aide de cet échantillon, il a été préparé une solution étalon. Le débit en radium d'autres échantillons d'oxyde Io/Th en solution a été comparé à celui de la solution étalon.

Cet article comprend l'étude théorique du problème, la description d'une méthode graphique servant à interpréter les expériences et l'application de cette méthode au calcul de la vie moyenne de l'ionium. Dans une publication ultérieure Mme Cotelle décrira les travaux chimiques qu'elle a exécutés pour préparer les solutions, ainsi que les séries de mesures de radon dégagé faites sur ces solutions et les résultats qui s'en déduisent.

L'ionium et le radium étant des corps à vie longue, la vitesse de production du radium par l'ionium peut être considérée comme constante dans des limites de temps étendues. Désignons par  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  les constantes radioactives de Io et Ra respectivement, par  $N_1$  et  $N_2$  les nombres d'atomes en présence au temps  $t$ , par  $N_{1,0}$  et  $N_{2,0}$  ces nombres au temps 0. D'après la théorie, nous avons

$$N_2 = N_{2,0} e^{-\lambda_2 t} + \frac{\lambda_1 N_{1,0}}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}).$$

Tant que les produits  $\lambda_1 t$  et  $\lambda_2 t$  restent suffisamment petits par rapport à l'unité, on peut utiliser une relation approchée obtenue en développant les exponentielles en série. En limitant le développement aux termes en  $t^2$ , on trouve

$$N_2 = N_{2,0} + (\lambda_1 N_{1,0} - \lambda_2 N_{2,0}) t - [\lambda_1^2 N_{1,0} + \lambda_2 (\lambda_1 N_{1,0} - \lambda_2 N_{2,0})] \frac{t^2}{2}.$$

Si la préparation contient très peu de radium à l'origine, la vitesse de destruction initiale du radium  $\lambda_2 N_{2,0}$  reste petite par rapport à sa vitesse de production  $\lambda_1 N_{1,0}$  et le rapport de ces vitesses est une petite fraction  $\varepsilon$ . Désignant par  $\varepsilon'$  l'expression  $(\lambda_1 + \lambda_2) t/2$  qui reste aussi une petite fraction pour des valeurs du temps suffisamment petites, on trouve

$$N_2 = N_{2,0} + \lambda_1 N_{1,0} t (1 - \varepsilon - \varepsilon').$$

Introduisant les valeurs approximatives  $\lambda_1 = 8,5 \times 10^{-6} \text{ an}^{-1}$ ;  $\lambda_2 = 4,4 \times 10^{-4} \text{ an}^{-1}$ , on trouve pour  $t = 10 \text{ ans}$ ,  $\varepsilon' = 0,002$ . Soient  $Q_0$  et  $q_0$  les quantités initiales d'ionium et de radium en présence. On a

$$\frac{q_0}{Q_0} = \frac{226 N_{2,0}}{230 N_{1,0}}, \quad \varepsilon = \frac{\lambda_2 N_{2,0}}{\lambda_1 N_{1,0}} = 53 \frac{q_0}{Q_0}.$$

Pour  $q_0/Q_0 = 4 \times 10^{-5}$ , on a  $\varepsilon = 0,002$ . L'écart total  $\varepsilon + \varepsilon'$  ne dépasse donc pas 0,004, pour une expérience de 10 ans, si la quantité initiale de Ra ne dépasse pas  $10^{-6}$  grammes pour 25 milligrammes d'ionium.

La production de radium par l'ionium étant évaluée par la mesure du dégagement de radon par la solution qui contient l'ionium, on peut traiter ce dégagement comme un problème de trois substances consécutives dont les constantes radioactives sont  $\lambda_1$  pour l'ionium,  $\lambda_2$  pour le radium et  $\lambda$  pour le radon. Les nombres d'atomes respectifs en présence étant  $N_1$ ,  $N_2$  et  $N$ , et la solution étant purgée de radon à l'origine du temps, on a au temps  $t$

$$N = \lambda_1 \lambda_2 N_{1,0} \left[ \frac{e^{-\lambda_1 t}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda - \lambda_1)} + \frac{e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda - \lambda_2)} + \frac{e^{-\lambda t}}{(\lambda_1 - \lambda)(\lambda_2 - \lambda)} \right] + \frac{\lambda_2 N_{2,0}}{\lambda - \lambda_2} (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda t}).$$

Si, conformément à la discussion précédente, on utilise l'approximation qui consiste à remplacer  $e^{-\lambda_1 t}$  par  $1 - \lambda_1 t$  et  $e^{-\lambda_2 t}$  par  $1 - \lambda_2 t$ , dans le terme qui dépend de  $N_{1,0}$ , on trouve

$$N = \lambda_1 \lambda_2 N_{1,0} \left[ \frac{\lambda t - 1}{(\lambda - \lambda_1)(\lambda - \lambda_2)} + \frac{e^{-\lambda t}}{(\lambda - \lambda_1)(\lambda - \lambda_2)} \right] + \frac{\lambda_2 N_{2,0}}{\lambda - \lambda_2} (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda t}).$$

Négligeant alors  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  par rapport à  $\lambda$ , dont la valeur est considérablement plus grande, et remplaçant  $e^{-\lambda_2 t}$  par 1 dans le terme qui dépend de  $N_{2,0}$  on obtient

$$N = \frac{\lambda_1 \lambda_2 N_{1,0}}{\lambda} \left[ t - \frac{1 - e^{-\lambda t}}{\lambda} \right] + \frac{\lambda_2 N_{2,0}}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}).$$

On voit que le nombre  $N$  d'atomes de radon accumulés se compose de deux parties dont la première est proportionnelle à la vitesse de production de Ra, tandis que la deuxième est proportionnelle au nombre  $N_{2,0}$  d'atomes Ra présents au temps  $t = 0$ .

Supposons que le radon soit extrait de la solution et transporté dans une chambre d'ionisation en un temps négligeable par rapport au temps d'accumulation  $t$ . Le courant  $i$  que l'on mesurera quand le radon sera en équilibre, avec son dépôt actif (3 heures après l'introduction dans la chambre) est proportionnel à  $N$ . Ce courant dépend d'ailleurs de la forme et des dimensions



de la chambre. Soit  $J$  sa valeur pour un curie de radon, quantité en équilibre avec un gramme de radium, pour laquelle  $\lambda N = \lambda_2 N_2$ .

Si la solution contenait  $q_0$  grammes de radium pour  $t = 0$  et s'il s'en forme  $p$  grammes par unité de temps, nous pouvons écrire, en désignant par  $N$  le nombre d'Avogadro

$$N_{2,0} = \frac{Nq_0}{226}, \quad \lambda_1 N_1 = \frac{Np}{226}, \quad N = \frac{\lambda_2}{\lambda} \frac{N}{226} \frac{i}{J}.$$

Substituant ces valeurs dans l'équation précédemment obtenue, on trouve

$$(1) \quad Jq_0 + \left[ \frac{t}{1 - e^{-\lambda t}} - \theta \right] Jp = \frac{i}{1 - e^{-\lambda t}}$$

où  $\theta = \frac{1}{\lambda}$  est la vie moyenne du radon.

Considérons une série d'extractions de radon séparées par les temps d'accumulation successifs  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ . Nous aurons la série d'équations

$$(2) \quad \begin{cases} Jq_0 + \left[ \frac{t_1}{1 - e^{-\lambda t_1}} - \theta \right] Jp = \frac{i_1}{1 - e^{-\lambda t_1}} \\ Jq_0 + \left[ t_1 + \frac{t_2}{1 - e^{-\lambda t_2}} - \theta \right] Jp = \frac{i_2}{1 - e^{-\lambda t_2}} \\ \dots \dots \dots \\ Jq_0 + \left[ t_1 + \dots + t_{n-1} + \frac{t_n}{1 - e^{-\lambda t_n}} - \theta \right] Jp = \frac{i_n}{1 - e^{-\lambda t_n}} \end{cases}$$

où  $q_0$  et  $p$  sont les inconnues à déterminer. Quand les temps d'accumulation sont tous assez longs pour que l'exponentielle soit négligeable, ces équations deviennent

$$(3) \quad \begin{cases} Jq_0 + [t_1 - \theta] Jp = i_1 \\ Jq_0 + [t_1 + t_2 - \theta] Jp = i_2 \\ \dots \dots \dots \\ Jq_0 + [t_1 + \dots + t_n - \theta] Jp = i_n. \end{cases}$$

Par soustraction membre à membre de deux équations du groupe on élimine  $Jq_0$  et on calcule  $Jp$ . Cette opération est particulièrement simple quand les équations ont la forme (3). La différence des courants mesurés divisée par  $J$  est alors égale à l'accroissement en grammes de la quantité de radium pendant l'intervalle de temps total qui sépare les extractions de radon correspondant à ces courants.

Si les temps d'accumulation, sans être nécessairement longs, ont tous la même valeur  $t$ , on aura par soustraction terme à terme de deux équations, par exemple la première et la dernière

$$(n-1)pt = \frac{i_n - i_1}{J(1 - e^{-\lambda t})}.$$

L'accroissement de radium se calcule donc dans ce cas d'après l'accroissement de courant par une formule rappelant celle que l'on utilise pour les dosages de radium dans les solutions ne contenant pas d'ionium.

Pour examiner l'ensemble des résultats représentés par un groupe d'équations tel que (2), on peut appliquer une méthode graphique. Chaque équation représente une droite en convenant de porter  $Jp$  en abscisses et  $Jq_0$  en ordonnées. Toutes ces droites doivent se couper en un même point. Le graphique permet de se rendre compte à quel degré cette condition est remplie; toute expérience franchement discordante est mise en évidence très clairement.

Pour construire le graphique, il importe de faire un choix d'échelle convenable. Pour nous en rendre compte, considérons des temps d'accumulation successifs égaux. L'ordonnée à l'origine des droites correspondantes subit alors le même accroissement d'une droite à la suivante, et il en est de même pour la tangente de l'angle  $\varphi_n$  que fait la droite d'ordre  $n$  avec l'axe des abscisses. On peut poser:

$$\operatorname{tg} \varphi_n = a + (n-1)z, \quad \operatorname{tg} \varphi_{n+1} = a + nz, \quad \operatorname{tg} \varphi_{n+1} - \operatorname{tg} \varphi_n = z.$$

Si les angles  $\varphi_{n+1}$  et  $\varphi_n$  sont peu différents, on en déduit pour la variation

$$\Delta\varphi = \varphi_{n+1} - \varphi_n = z \cos \varphi_n \cos \varphi_{n+1}.$$

Par conséquent l'accroissement d'angle est de moins en moins grand d'une droite à la suivante quand  $n$  augmente, et tend vers 0 quand  $\varphi_n$  tend vers  $\frac{\pi}{2}$ .

Il y a donc lieu de séparer autant que possible les droites de rang élevé. Pour cela remarquons que  $\Delta\varphi$  passe par un maximum quand on fait varier  $z$  par un choix d'échelle. Pour simplifier, supposons qu'on puisse négliger  $a$  par rapport à  $nz$ . En ce cas  $\Delta\varphi = z/1 + n^2z^2$ , et la dérivée de cette expression s'annule pour  $nz = 1$ , c'est-à-dire quand la droite d'ordre  $n$  fait un angle de  $45^\circ$  avec l'axe des abscisses.

Quand les temps d'accumulation ne sont pas tous égaux, on peut appliquer les résultats ci-dessus au jugé, plaçant vers  $45^\circ$  de l'axe des abscisses les droites représentatives des dernières expériences, si les intervalles de temps sont comparables, et en dépassant cet angle, si à ces expériences correspondent des intervalles plus longs qu'à celles du début.



A des intervalles d'accumulation courts correspondent des droites très rapprochées, et il y a avantage, pour ne pas encombrer le graphique, à en réunir plusieurs sur une droite moyenne obtenue par addition terme à terme, suivie d'une division, terme à terme également, par le nombre de droites réunies.

La figure donne l'exemple d'un graphique se rapportant à la solution étalon d'ionium-thorium de poids atomique 231,51. A l'origine de chaque droite, on a indiqué le numéro de l'expérience. Aux expériences 7, 8 et 9 on a fait correspondre une droite moyenne, et de même aux expériences 13 à 17.

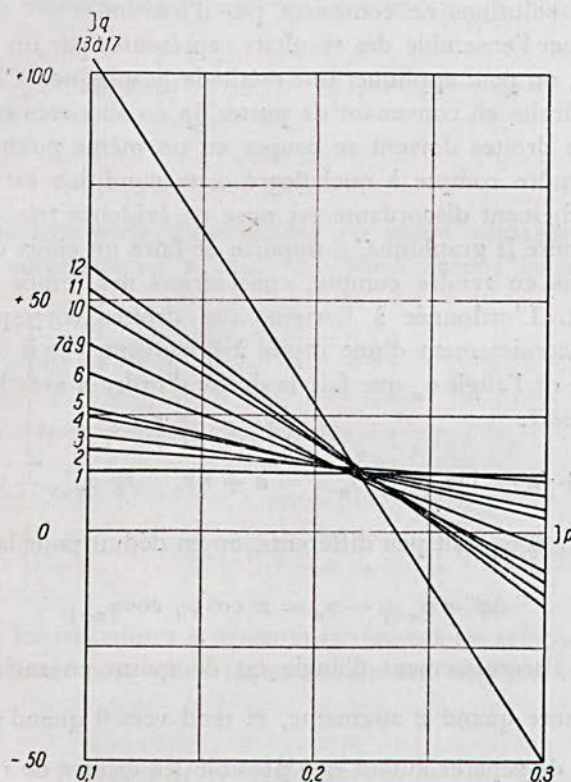


Fig. 1

Les mesures de radon dégagé utilisées pour ce graphique ont été faites par Mme Cotelle à l'aide de la méthode de barbotage à froid couramment employée à l'Institut du Radium pour les dosages de radium en solution, sous la forme résultant d'une étude faite en 1910<sup>1</sup>. Cette méthode s'applique à une petite quantité de solution (2 cm<sup>3</sup> environ) enfermée dans un barboteur dont

<sup>1</sup> Mme P. Curie, *Le Radium*, 7 (1910), 65 [voir p. 381 — ed.]; *Traité de Radio-activité*, Paris 1910, p. 283.

le volume est petit par rapport à celui de la chambre d'ionisation lequel est de 440 cm<sup>3</sup>. L'étalonnage a donné pour le courant d'ionisation produit dans la chambre, 3 heures après l'introduction de radon, la valeur  $j = 2,62 \times 10^4$  unités E. S. par gramme de radium dans la solution et par heure de temps réduit  $t_r$ , défini par la relation  $t_r = \theta (1 - e^{-\lambda t})$ , où  $t$  est le temps d'accumulation. Les mesures sont rapportées à une densité d'air dans la chambre qui correspond à la pression normale et à la température de 15°; elles sont généralement faites à l'aide d'un électromètre et d'un quartz piézoélectrique<sup>1</sup>.

La valeur du courant d'ionisation par curie de radon dans la chambre est donnée par la relation

$$J = j\theta = 2,62 \times 10^4 \times 132,37 \text{ E. S.} = 3,47 \times 10^6 \text{ E. S.}$$

Quand il s'agit d'expériences dont la durée porte sur une ou plusieurs années, on peut toujours craindre l'altération progressive des solutions. Toutes précautions utiles sont prises à ce point de vue en ce qui concerne la préparation des barboteurs. C'est aussi pour éviter cette altération que j'ai préféré la méthode de barbotage à froid à celle de dégagement par ébullition qui peut donner lieu à des projections de liquide et où l'attaque des parois du vase est favorisée par l'élévation de température. Les solutions ici considérées préparées par Mme Cotelle se sont conservées à l'état de limpidité parfaite.

Bien que le graphique fasse ressortir une précision assez satisfaisante sur l'intersection des droites, il semble que cette précision puisse encore être améliorée. Pour cela, le moyen le plus favorable me paraît être, d'après l'expérience acquise, d'effectuer à une époque déterminée non une expérience unique, mais un dosage précis de radium dans la solution, par une série de trois ou quatre extractions de radon à des intervalles d'environ 2 jours. Pendant chacun de ces intervalles, l'accroissement de radium est très petit. De plus, on peut en tenir compte dès que les mesures à intervalle de temps suffisant auront fait connaître approximativement la vitesse d'accroissement. Soit, en effet,  $q$  la quantité de radium existant dans la solution au début du temps d'accumulation  $t$  et soit  $i$  le courant mesuré lors de l'extraction. On a

$$q + p \left( \frac{t}{1 - e^{-\lambda t}} - \theta \right) = \frac{i}{J(1 - e^{-\lambda t})} = \frac{i}{j t_r} = \frac{R}{j} \quad \text{où } R = \frac{i}{t_r}.$$

<sup>1</sup> D'après mon ancienne étude des conditions du dosage, on peut craindre un déficit de 2 à 3% sur le dégagement de radon après un temps d'accumulation prolongé. Ce déficit était attribué à l'absorption de radon par les parois du vase. Il a été reconnu depuis que l'effet considéré provenait en partie de l'emploi d'une constante trop faible de 1% pour le radon. Cependant, si le phénomène subsiste en partie, il se traduirait par un écart systématique entre les mesures à temps d'accumulation long et bref.



Si la quantité de radium n'était pas variable, le rapport  $R/j$  mesurerait la valeur en grammes de cette quantité. En raison de la croissance de Ra, ce rapport mesure une quantité intermédiaire entre les valeurs  $q$  et  $q + pt$  qui correspondent au début et à la fin du temps d'accumulation  $t$ . A la quantité  $q + pt$  correspondrait un rapport  $R$  augmenté de

$$\Delta R = jp \left( \theta + t - \frac{t}{1 - e^{-\lambda t}} \right) = Jp \left( 1 + \frac{t}{\theta} - \frac{t}{t_r} \right).$$

La quantité de radium en solution à la fin du temps  $t$  est donc

$$q_t = \frac{1}{j} (R + \Delta R).$$

A l'aide de cette formule, on peut calculer la teneur en radium à des intervalles de temps d'environ 2 jours. Si les nombres obtenus ne présentent pas d'anomalies, on en déduit une valeur précise moyenne de la teneur en Ra rapportée à un instant moyen. De tels points moyens convenablement espacés dans le temps donnent pour le calcul exact de  $p$  et de  $q_0$  une base offrant une sécurité accrue. Sur un graphique, les droites représentatives de ces extractions voisines doivent être à peu près confondues et il convient de les remplacer par une droite moyenne. Il en est ainsi pour les expériences 13, 14, 15, 16 et 17 réunies sur le graphique de la figure. Ces expériences donnent à une bonne précision pour la teneur en radium de la solution au 8-9 mars 1930 la valeur  $q = 4,705 \times 10^{-7}$  grammes Ra.

Je reproduis ici les conclusions relatives à la vie moyenne de l'ionium, déjà exposées dans une publication précédente, faite en commun avec Mme Cotellet<sup>1</sup>.

Les valeurs adoptées pour  $p$  et  $q_0$  à la suite des mesures représentées sur le graphique et portant sur environ 2 ans, sont les suivantes

$$Jp = 0,2185, \quad Jq_0 = 13,25$$

en unités employées pour la construction graphique, c'est-à-dire le courant d'ionisation étant mesuré en gr./sec. de la lame de quartz employée. Passant de là aux unités absolues, on trouve

$$p = 5,703 \times 10^{-10} \text{ gr. Ra/jour} = 2,082 \times 10^{-7} \text{ gr. Ra/an}$$

$$q_0 = 3,46 \times 10^{-8} \text{ gr. Ra.}$$

<sup>1</sup> Mme P. Curie et Mme S. Cotellet, *C. R.*, t. 190 (1930), p. 1289 [voir p. 618 — ed.].

La quantité d'oxyde Io/Th dans le barboteur était 0,1001 gr. contenant 0,02514 gr. d'ionium. D'où pour la constante de Io

$$\lambda_1 = \frac{2,082 \times 10^{-7} \times 230}{0,02514 \times 226} = 8,43 \times 10^{-6} \text{ an}^{-1}.$$

On en déduit pour la vie moyenne  $\theta_1 = \frac{1}{\lambda_1}$  et pour la période  $T_1 = \frac{\text{Log}_e 2}{\lambda_1}$  les valeurs:  $\theta_1 = 1,19 \times 10^5$  ans;  $T_1 = 82.250$  ans. La valeur la plus récente donnée par F. Soddy et ses collaborateurs est  $\theta_1 = 110.000$  ans, admettant 2.375 ans pour la vie moyenne de Ra et  $3,4 \times 10^{-7}$  pour le rapport Ra/U à l'équilibre<sup>1</sup>. Utilisant la vie moyenne 2.280 ans, plus généralement admise, on aurait à augmenter  $\theta_1$  de 4%, ce qui donnerait 114.000 ans. La valeur  $\theta_1 = 130.000$  ans a été admise par St. Meyer<sup>2</sup> comme limite supérieure, d'après la mesure du rayonnement  $\alpha$  de couches minces de préparations Io/Th de poids atomique connu.

On peut estimer que la concordance de ces résultats est aussi satisfaisante qu'on pouvait l'espérer dans l'état actuel de la question.

Dans les expériences ici décrites, l'erreur sur  $p$  n'atteint probablement pas 3%, et les erreurs pouvant résulter des pesées sont inférieures à cette limite, mais si l'on envisage pour les poids atomiques admis une possibilité d'erreur de 0,01 ou 0,02 seulement, il pourrait en résulter une erreur de quelques pour cent sur le calcul de la quantité d'ionium et, par suite, sur sa vie moyenne. En effet, si l'on désigne par  $\varepsilon$ ,  $\varepsilon'$ ,  $\varepsilon''$ , respectivement les erreurs sur les poids atomiques de Io, Th, Io + Th, la proportion atomique  $x$  devient

$$x = 0,2877(1 + 0,47 \varepsilon + 1,17 \varepsilon' - 1,64 \varepsilon'').$$

Attribuant à  $\varepsilon$ ,  $\varepsilon'$  et  $\varepsilon''$  la valeur absolue 0,01, on trouve une erreur totale nulle si tous les signes sont les mêmes et une erreur de 3% dans le cas le plus défavorable où  $\varepsilon''$  est de signe contraire à celui de  $\varepsilon$  et  $\varepsilon'$ .

Je tiens à reconnaître le soin et la persévérance de Mme Cotelle au cours des opérations chimiques et des mesures qui ont conduit au résultat ci-dessus énoncé et je lui adresse tous mes remerciements.

<sup>1</sup> F. Soddy et A. Hitchins, *Phil. Mag.*, t. 47 (1924), p. 1148.

<sup>2</sup> St. Meyer et E. Schweidler, *Radioaktivität*, 1927, p. 389-390.