

MÉMOIRES

LA

RADIOACTIVITÉ

PAR J. DANIEL, D^r.

Ingénieur à Bruxelles.

[546(432)]

INTRODUCTION

Sous le nom de radioactivité, dans l'acception spéciale où ce terme est considéré actuellement, on désigne la propriété que possèdent des substances, telles que l'uranium, le thorium, le radium, ou leurs sels, d'émettre spontanément certains rayons traversant des plaques de métal, ainsi que d'autres substances opaques. Ces rayons se traduisent par des manifestations de l'énergie chimique et de l'énergie physique : action sur les plaques photographiques et pouvoir de décharger les corps électrisés. Les composés du radium, en raison de leur activité considérable, donnent lieu à des phénomènes particuliers. Dans leur ensemble, ces radiations présentent des analogies marquées avec les rayons de Roëntgen ; parfois, cependant, la ressemblance n'est que superficielle.

La production d'énergie ne s'effectue pas seulement d'une façon spontanée. Son intensité est indépendante, en outre, des influences chimiques ou physiques externes : température, lumière, etc., et se prolonge sans subir de

modifications, pour autant, tout au moins, que les déterminations effectuées jusqu'à ce jour puissent nous permettre de l'affirmer.

La radioactivité est une propriété atomique de la matière, c'est-à-dire que si elle se rencontre dans un corps tel que l'uranium, par exemple, elle se rencontrera aussi dans tous ses composés et ce, à un degré qui dépendra de la quantité d'uranium présente. Le phosphore, dont M^{me} Curie constata le pouvoir d'ioniser les gaz (1), n'est pas une substance radioactive : ses composés ne possèdent aucune activité et son action est purement chimique.

Le sulfate de quinine décharge également les corps électrisés, mais son influence ne s'exerce que s'il a été chauffé et refroidi ensuite; elle n'est donc pas spontanée. En outre, elle est purement temporaire.

Signalons aussi les expériences, déjà anciennes, de Niepce de Saint-Victor: une feuille de papier, exposée à la lumière, puis transportée à l'obscurité, conserve la faculté d'impressionner les plaques photographiques, pendant un certain temps.

Les travaux du D^r Gustave Le Bon, sur la lumière noire, ont pour objet l'étude des radiations émises par les substances solides, lorsque celles-ci ont été soumises à l'action de la lumière (2). Dans les deux cas, la production des rayons est subordonnée à l'intervention d'une influence extérieure.

D'autres phénomènes présentent, avec la radioactivité, des analogies qui pourraient engendrer la confusion : Lénard a montré que, dans certains cas, la lumière ultraviolette possédait la propriété d'ioniser les gaz et d'exercer une action marquée sur les plaques photographiques. Lors-

(1) L'ionisation par le phosphore a fait l'objet d'une étude intéressante de M. EUGÈNE BLOCH. (*Le Radium*, 15 août 1904, p. 33.)

(2) C. R., t. CXXII, 1896, pp. 188, 233, 386, 462; t. CXXIV, pp. 755, 895.

qu'il s'agit de substances radioactives, les rayons dégagés diffèrent essentiellement des rayons lumineux en ce qu'ils ne sont susceptibles ni de réflexion, ni de réfraction, ni de polarisation. D'autre part, dans le cas de la lumière ultra-violette, le pouvoir pénétrant est plus restreint.

Les substances radioactives subissent, par le temps, des transformations si peu sensibles que les moyens d'investigation dont nous disposons n'ont pas permis de les déceler. Les déterminations effectuées par M^{me} Curie, à cet égard, portent sur une période de cinq années (1). La perte de poids, d'après les évaluations de Sir William Crookes, n'atteindrait pas 1 milligramme, par centimètre carré de surface exposée et par siècle.

Ce qui est particulièrement remarquable, dans les phénomènes radioactifs, c'est la quantité énorme d'énergie engendrée. Elle a été évaluée à 750 millions de kilogrammètres (2), pour la vie de chaque gramme de radium; encore faudrait-il vraisemblablement ajouter l'énergie produite depuis la formation du radium dans la croûte terrestre. Pour faire ressortir combien cette quantité est considérable, rappelons que, d'après les données théoriques basées sur le calcul, l'énergie dégagée par l'explosion d'un gramme de nitroglycérine est évaluée à 675 kilogrammètres.

Cette production d'énergie est inexplicable; elle ne peut être assimilée à d'autres phénomènes, tels que l'impression produite par le musc sur l'odorat, sans perte appréciable de matière, même au bout de périodes très longues; dans ce cas, en effet, on conçoit aisément que la substance se trouve divisée à un degré de ténuité extrême. Pour ce qui concerne la

(1) Thèse présentée, en 1903, à la Faculté des Sciences de Paris.

(2) VERNON BOYS, Discours d'ouverture de la section de mathématiques et de physique, à l'Association britannique pour l'avancement des Sciences, 1903.

radioactivité, au contraire, nous constatons une production constante d'énergie.

En somme, nous nous trouvons en présence de manifestations qui semblent pouvoir se concilier bien difficilement avec les données admises, en général, au sujet des questions les plus fondamentales de la science. A cet égard, elles présentent un intérêt dont on ne saurait exagérer la portée. Dans tous les pays, les savants les plus éminents se passionnent pour l'étude de ces phénomènes nouveaux. Chaque jour, le résultat de leurs recherches font l'objet de mémoires, de notes, dont les conclusions offrent des contradictions marquées, parfois.

Sans prétendre aucunement y apporter de contribution personnelle, nous nous sommes borné à coordonner ces éléments, à l'effet de présenter un exposé aussi complet que possible de la question; nous nous sommes abstenu, toutefois, d'aborder les discussions théoriques et les développements mathématiques qui auraient fait reculer notre étude au-delà des limites que nous nous sommes imposées.

CHAPITRE PREMIER

Historique.

La découverte de la radioactivité date de 1896. Elle est due au physicien français Becquerel et se trouve liée aux recherches nombreuses dont furent l'objet, à cette époque, les applications des rayons X; ces derniers, comme on sait, sont engendrés par les rayons que dégage la cathode des tubes de Crookes, lorsqu'ils rencontrent la paroi du verre et la portent à la fluorescence. Or, M. Henri Poincaré avait émis l'hypothèse que, dans tous les cas de fluorescence ou de phosphorescence, les rayons lumineux étaient accompagnés de rayons X. Cette hypothèse présentait un intérêt considérable, car elle permettait, si elle était vérifiée, de remplacer les ampoules de Crookes par de simples substances phosphorescentes.

Dans cet ordre d'idées, plusieurs physiciens procédèrent à des expériences dont les conclusions furent affirmatives : si nous parcourons les comptes-rendus des séances de l'Académie des Sciences, nous voyons successivement, du 10 février au 9 mars 1896, des notes résumant les recherches de MM. Ch. Henry, Niewenglowski, Becquerel et Troost, recherches ayant porté successivement sur le sulfure de zinc phosphorescent, le sulfure de calcium, le sulfate double d'urane et de potasse, et la blende hexagonale artificielle. Ainsi donc, rien ne pouvait faire prévoir que les expériences auxquelles procédait alors

M. Becquerel serviraient d'acheminement à une découverte dont le retentissement devait être si considérable; à titre de document, nous reproduisons (fig. 1) l'épreuve qui révéla l'existence du rayonnement. Elle représente une lame mince de cuivre, en forme de croix, obtenue au moyen d'une plaque photographique entourée de papier noir.

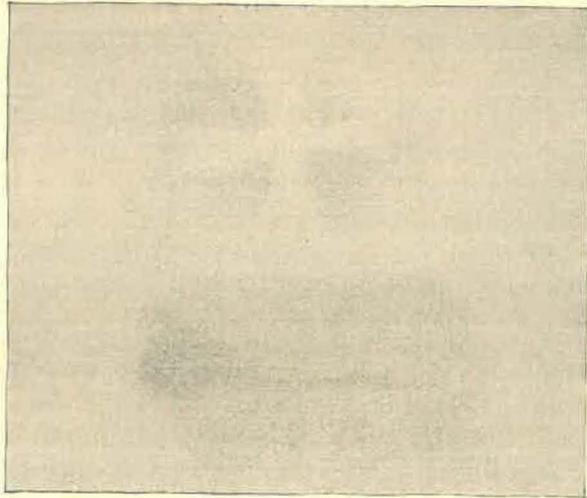


FIG. 1.

En outre, fait bizarre à remarquer, malgré les essais effectués ultérieurement par M^{me} Curie, avec le plus grand soin, il lui a été impossible de reproduire les mêmes résultats, en employant les diverses substances expérimentées, le sel d'urane excepté.

Le 26 février, surlendemain de sa première communication à l'Académie des Sciences, M. Becquerel avait placé, en regard de plaques photographiques, des lamelles cristallines du sel d'urane expérimenté. Lorsqu'il se proposa de développer les clichés, le temps était couvert,

ce qui l'engagea à remettre l'opération au jour suivant; en attendant, il mit les châssis dans le tiroir d'un meuble, laissant en place les lamelles salines. Mais le soleil ne se montra pas davantage; aussi, M. Becquerel se décida à développer les plaques. Comme elles étaient demeurées dans l'obscurité, il s'attendait à trouver des images très faibles. Or, à sa grande surprise, elles étaient fort nettes.

L'expérience fut reproduite dans les mêmes conditions et dès lors, l'attention de M. Becquerel se trouvant appelée sur les rayons nouveaux dont l'existence venait de lui être révélée, il se proposa de comparer leurs propriétés à celles des rayons X : il put constater qu'à l'exemple de ceux-ci, ces rayons déchargeaient les corps électrisés, rendant conducteur le milieu gazeux ambiant. Il signala aussi la constance du rayonnement, durant une période de 160 heures.

Les phénomènes dont il s'agit avaient été considérés, jusqu'à ce moment, comme étant communs à diverses substances phosphorescentes. Dans la note communiquée le 23 mars, nous voyons se produire une évolution importante; cette note concerne, en effet, les radiations invisibles émises par les sels d'urane. Les idées prennent corps et, lors de la séance suivante, M. Becquerel examine les propriétés qui distinguent les radiations dont il s'agit du rayonnement de la paroi anticathodique d'un tube de Crookes : procédant à l'étude de leurs propriétés optiques, il leur attribue la double réfraction, la polarisation des deux rayons et leur inégale absorption par la tourmaline. Les recherches ultérieures de M. Rutherford ont montré que ces conclusions étaient inexactes. L'erreur commise provenait d'une radiation secondaire qui se produit lorsque les rayons viennent à rencontrer un corps solide.

La note communiquée, le 18 mai, traite des radiations émises par l'uranium métallique, métal présentant, pour la première fois, un phénomène de phosphorescence invisible.

Plusieurs notes se succèdent encore. Le 23 novembre, M. Becquerel fit constater la persistance du rayonnement : les sels d'uranium, maintenus à l'obscurité depuis le 3 mars et enfermés le 3 mai dans une double boîte en plomb épais, étaient encore susceptibles d'impressionner des plaques photographiques, placées à la distance d'un centimètre. M. Becquerel donna aux rayons émis le nom de *radiations uraniques*, mettant ainsi en évidence leur caractère de propriété atomique de l'uranium.

Dès lors, la voie était ouverte; en présence de la nouveauté des phénomènes signalés, plusieurs physiciens se proposèrent de rechercher si d'autres substances ne jouissaient pas de propriétés analogues. M. Schmidt, en Allemagne, signala le thorium; vers le même moment, M^{me} Curie présenta une note, à l'Académie des Sciences, sur ce métal (12 avril 1898).

Les recherches de M. et M^{me} Curie étaient basées sur l'emploi d'un appareil de mesure fort précis, reposant sur le principe de la conductibilité acquise par l'air sous l'influence des rayons uraniques; nous en donnons la description ci-après. Ces recherches portèrent sur un grand nombre de corps simples, les terres rares notamment : gallium, germanium, scandium, rubidium, etc., mais sans donner aucun résultat. Des minéraux furent expérimentés alors; le rayonnement fut constaté, lorsqu'il s'agissait de substances renfermant de l'uranium ou du thorium.

M. et M^{me} Curie furent tout particulièrement frappés de ce que certains de ces minéraux accusaient une puissance de radiation supérieure à celle de l'uranium pur : cette puissance était double pour la chalcolite et quadruple pour la pechblende. La pechblende, minéral de composition très complexe, renferme en moyenne 40 % d'oxyde vert d'urane, mélangé à nombre d'autres substances : arsenic, soufre, cuivre, nickel, bismuth, manganèse, baryum, cobalt, argent, etc. Ayant constaté qu'aucun de ces composants ne

possédait la propriété d'émettre des radiations, les expérimentateurs en conclurent à la présence de substances, non connues encore, et jouissant d'une activité particulière. Pour étayer leur conviction, ils préparèrent chimiquement de la chalcopite artificielle, phosphate de cuivre et d'uranium. Ils obtinrent un produit deux fois et demie moins actif que l'uranium métallique.

M. et M^{me} Curie, en vue de rechercher le corps inconnu dont la présence se confirmait à leurs yeux, se proposèrent de l'isoler en recourant aux procédés ordinaires de l'analyse qualitative. Après chacune des séparations, les groupes obtenus étaient soumis à la mesure de la radioactivité, la partie non active étant rejetée et l'autre se concentrant progressivement. Par éliminations successives, la pechblende permit ainsi d'arriver à un groupe de substances présentant une activité quatre cents fois supérieure à celle de l'uranium métallique, groupe qui renfermait le bismuth, accompagné d'un corps inconnu, auquel on donna le nom de *polonium*, en l'honneur du pays dont M^{me} Curie est originaire (*C. R.*, 18 juillet 1898).

Depuis lors, ce corps n'a pu être isolé, ni sous forme de sel, ni sous forme de métal. Son existence n'a pas été démontrée, davantage, à l'aide du spectroscope; citons, à ce sujet, les travaux de Runge et Exner, Sir William Crookes (*Proc. Roy. Soc.*, mai 1900) et Berndt (*Phys. Zeit.*, t. II, 1900, p. 180).

M^{me} Curie a constaté que des échantillons renfermant du polonium avaient perdu la moitié de leur activité initiale, au bout de onze mois. Mais M. Marckwald, d'autre part, a obtenu une substance analogue au polonium, dont l'activité est restée invariable pendant neuf mois (*Phys. Zeit.*, 1902, n° 16, p. 51). Le procédé employé pour la séparer de la solution de chlorure de bismuth provenant des résidus d'urane était des plus simples: une tige de bismuth, plongeant dans cette solution, se recouvrit rapidement d'un dépôt noir très

actif; au bout d'un certain temps, toute l'activité de la solution s'y trouvait concentrée. La quantité ainsi recueillie fut de 0^{gr}6, pour 850 grammes de solution. M. Marckwald considère l'élément actif dont il s'agit comme plus rapproché du tellure que du bismuth, au point de vue chimique.

RADIUM.

La découverte du radium fit l'objet d'une note communiquée à l'Académie des Sciences, en décembre 1898. C'est également la pechblende qui permit de l'obtenir. Ce minéral, dont nous avons indiqué la composition complexe, provient de Joachimstahl, en Bohême; on en extrait l'argent, depuis quatre siècles. On en tire également, depuis 1853, des sels d'urane qui fournissent des couleurs très appréciées. C'est en traitant les résidus de cette double fabrication que M. et M^{me} Curie obtinrent des sels de radium. Ceux-ci accompagnent le baryum, au cours des séparations successives.

L'opération est des plus laborieuses; on en appréciera la difficulté lorsqu'on saura que, pour isoler un seul gramme de sel de radium, à l'état de pureté, il faut plusieurs tonnes de résidus. Chacune d'elles nécessite 5 tonnes de réactifs divers, et 50,000 litres d'eau de lavage. Nous allons résumer les phases successives du traitement que M. et M^{me} Curie firent appliquer, dans l'usine que possède à Javel, près d'Ivry, la Société centrale des Produits chimiques :

Les résidus à traiter contiennent des sulfates en quantité; c'est sous cette forme que le radium se trouve également. La méthode, en principe, est basée sur le peu de solubilité de sels de radium dans les réactifs employés successivement. On commence par l'acide chlorhydrique concentré, lequel dissout la plupart des sulfates. Le résidu, lavé à l'eau, est mélangé à une solution concentrée et bouillante de carbonate de soude; on élimine ainsi les sulfates qui n'ont pas été dissous. Ayant décanté le liquide et lavé le dépôt à l'eau, on l'additionne d'acide chlorhydrique étendu.

Après filtration, on traite par l'acide sulfurique; celui-ci précipite, sous forme de sulfate brut, le baryum radifère. Pour éliminer les impuretés qu'il renferme, on fait agir à nouveau le carbonate de soude, en solution concentrée, avec lequel on le soumet à l'ébullition. Un troisième traitement à l'acide chlorhydrique transforme en chlorure le carbonate obtenu. Après l'avoir lavé à nouveau, on le reprend par le carbonate de soude. Le produit, soumis enfin à l'action de l'acide bromhydrique, est transformé en bromure de baryum radifère. La quantité obtenue est de 6 à 8 kilogrammes par tonne et l'activité de 60 environ, celle de l'uranium pur étant prise comme unité. A l'origine, on préparait le chlorure, au lieu du bromure; les recherches de M. Giesel ont démontré que ce dernier permettait d'obtenir un rendement meilleur.

On procède alors au fractionnement ou concentration du bromure de baryum radifère : à cet effet, il est soumis à une série de cristallisations, dans l'eau pure d'abord, et dans l'eau additionnée d'acide bromhydrique, ensuite. Les sels de baryum étant plus solubles que les sels de radium, les cristaux qui se déposent deviennent de plus en plus riches. Finalement, on obtient 300 grammes environ de bromure, dont l'activité vaut 1,000, approximativement. On le transporte au laboratoire, où la concentration se continue. Après une longue série d'opérations, aussi nombreuses que délicates, le sel est isolé, possédant une activité qui atteint 1,500,000. Le rendement est de 2 à 3 décigrammes par tonne.

Un ensemble de circonstances très favorables permit, à M. et M^{me} Curie, d'effectuer ce traitement coûteux : le Gouvernement autrichien leur offrit gracieusement une tonne des résidus minéraux nécessaires; d'autre part, le travail fut exécuté au prix de revient, et les fonds furent fournis par l'Académie des Sciences, ainsi que par des Sociétés savantes. L'opération dura trois à quatre mois.

Dès l'origine des recherches, la substance obtenue fut

soumise à l'examen spectroscopique; celui-ci vint montrer qu'effectivement, un élément nouveau avait été découvert. Ce résultat fut contrôlé par la détermination du poids atomique du radium, effectuée par M^{me} Curie: en examinant les échantillons de chlorure de baryum radifère obtenus successivement, elle put constater que les chiffres trouvés dépassaient d'autant plus le poids atomique du baryum que les produits étaient plus actifs; l'élément inconnu était donc de poids atomique plus élevé que le baryum.

Eu égard à la quantité énorme de pechblende nécessaire pour obtenir un gramme de radium, à l'état de sel pur, ainsi qu'à la difficulté de l'opération, on se rend compte aisément de sa rareté et de son prix élevé; c'est à peine s'il en existe quelques grammes, dans le monde entier. Voici, à titre d'exemple, les prix auxquels les usines de Nogent-sur-Marne vendent les sels de baryum radifère :

ACTIVITÉ	PRIX par gramme.
50	20 francs
100	40 »
1,000	300 »
10,000	2,500 »
50,000	10,000 »
100,000	20,000 »
500,000	100,000 »
Bromure de radium pur	400,000 »

La production des résidus de pechblende est limitée, car elle est subordonnée à celle des couleurs d'urane. D'après les renseignements que M. Curie a bien voulu nous communiquer, au cours d'un entretien récent, cette production est tellement restreinte qu'elle ne peut suffire à ses besoins personnels. Le Gouvernement autrichien réserve les résidus à M. Curie, au prix de 1,000 francs la tonne; auparavant, ils étaient sans valeur aucune.

Dans de telles conditions, on conçoit combien est intéressante la recherche de substances minérales autres que la pechblende, susceptibles de permettre l'extraction du radium. En dehors de la méthode électrique, employée par M^{me} Curie, l'examen des minerais peut s'effectuer par la méthode photographique; ces deux méthodes sont décrites ci-après.

Dans les Etats-Unis d'Amérique, les sels de radium sont extraits de la carnotite, vanadate d'urane et de cuivre. Ce minéral est exploité par la *Welsh-Lofftus Uranium and Rand Metals Company*, de Buffalo.

ACTINIUM.

En dehors des substances radio-actives que nous avons indiquées, il en est une autre, l'actinium, dont la découverte est due à M. Debierne, professeur à l'Ecole alsacienne de Paris (1). Elle fut également extraite de la pechblende; au cours du traitement, elle suivit le groupe du fer. Voici la marche de l'opération :

1° Précipitation, en solution à chaud, après addition d'acide chlorhydrique, par un excès d'hyposulfite de soude. La matière active passe entièrement dans le précipité.

2° Action de l'acide fluorhydrique sur les hydrates fraîchement précipités, en suspension dans l'eau. La portion dissoute n'est que faiblement active. Séparation du titane.

3° Précipitation des solutions nitrées neutres, par l'eau oxygénée. Le précipité entraîne la matière active.

4° Précipitation des sulfates insolubles. On sépare le thorium de l'actinium par conversion en chlorure et précipitation par l'ammoniaque.

L'opération, en tout état de cause, est très délicate et n'a permis d'obtenir, jusqu'ici, que des quantités d'actinium trop restreintes pour qu'il fût possible d'en déterminer le

(1) *C. R.*, 1899, t. cxxix, p. 593; 1900, t. cxxx, p. 906; t. cxxxI, p. 137; 1903, t. cxxxvi, pp. 146, 446 et 671; 1904, t. cxxxviii, p. 411.

poids atomique. L'étude spectrale de l'actinium avait été entreprise par M. Demarçay; elle fut interrompue par la mort de ce savant. Ce corps, jusqu'à ce jour, ne s'est manifesté que par ses propriétés radioactives; son existence n'a pas été autrement démontrée.

AUTRES SUBSTANCES RADIOACTIVES.

M. Giesel (*Ber. chem.*, 1902, p. 3608; 1903, p. 342) a obtenu, également au moyen de la pechblende, une substance analogue à l'actinium; elle appartient au groupe du cérium et se précipite avec lui.

MM. Hoffmann et Strauss (*Ber. chem.*, 1901, p. 3035), ont extrait, de la pechblende aussi, un sulfate de plomb d'une activité considérable. Celle-ci n'était due à la présence d'aucune des substances radioactives que nous avons passées en revue. Elle disparut au bout d'un certain temps, mais revint par l'exposition de la substance à l'action des rayons cathodiques. Ce sulfate de plomb présentait une phosphorescence accentuée. D'après M. Giesel (*loc. cit.*, 1901, p. 3775), ce sel ne pourrait être considéré comme réellement radioactif.

Au point de vue chimique, le plomb radioactif ne diffère pas du plomb ordinaire. On en a déterminé le poids atomique, en dosant la teneur du sulfate en acide sulfurique; la proportion de SO^4 fut trouvée égale à 41.35 %, tandis qu'habituellement, elle ne dépasse pas 31.71 %. Le poids atomique s'élève à 260.2, au lieu de 206.9, pour le plomb ordinaire. Winkler (*loc. cit.*, 1904, p. 1655) considère la justesse de la détermination comme douteuse, parce que le sulfate employé avait été chauffé jusque 400 à 420° seulement, et non jusqu'à l'apparition de vapeurs acides; cette manière de procéder ne permet pas d'éliminer la totalité de l'acide libre, d'où résulte la proportion trop élevée de SO^4 .

CHAPITRE II.

Propriétés physiques du radium.

RADIUM.

A l'état métallique, le radium n'a pas été isolé jusqu'à ce jour. Les sels : chlorure, bromure, azotate, etc., ont le même aspect que les sels de baryum, quand ils sont fraîchement préparés. Mais au bout de quelques heures, les cristaux de baryum radifère se colorent en jaune, orangé ou rose; en même temps, ils dégagent des produits gazeux. La coloration se produit avec une rapidité d'autant plus considérable que la proportion de baryum est plus élevée; elle est très lente, lorsqu'il s'agit de sels purs. Pour ramener le sel à sa teinte primitive, il suffit de le dissoudre dans l'eau. Les sels de radium sont hygrométriques.

Le poids atomique du radium a été déterminé par M^{me} Curie; elle a obtenu 225, comme résultat moyen. Ce chiffre, admis par certains physiciens, est contesté par d'autres : d'après les expériences de Runge et Precht, le poids atomique réel serait égal à 257.8. Le radium appartient au groupe des métaux alcalino-terreux; il vient se placer à la suite du baryum, dans les tableaux de Mendeléf.

Le bromure de radium communique à la flamme du bec de Bunsen une superbe teinte carmin (GIESEL, *Phys. Zeit.*,

1902, n° 24, p. 578). S'il renferme du baryum, la coloration verte due à ce dernier apparaît seule; on peut donc, de cette manière, en apprécier le degré de pureté.

Le spectre de flamme des sels de radium, examiné par M. Giesel, contient deux belles bandes rouges, une raie dans le bleu-vert et deux lignes faibles dans le violet. Ce spectre est très brillant.

Avec l'étincelle et une solution de chlorure de radium pur, M. Demarçay a obtenu un spectre dont toutes les raies étaient nettes et étroites; les trois principales sont dans le bleu ($\lambda = 468.30$), le violet ($\lambda = 434.06$) et l'ultra-violet ($\lambda = 381.47$). Comme intensité, elles peuvent rivaliser avec les raies les plus nettes. On aperçoit également deux bandes nébuleuses fortes: l'une se trouve dans le bleu, l'autre commence dans l'indigo et dégrade vers l'ultra-violet. On consultera avec intérêt, au sujet du spectre, les travaux de M. et M^{me} Huggins (*Proc. Roy. Soc.*, 1903, t. LXXII, pp. 196 et 409), ainsi que ceux de Crookes et de Dewar (*British Association*, 1903).

Le radium peut figurer parmi les corps dont la réaction spectrale est la plus sensible: elle permet de le doser à moins de 0.00001.

Comme on le voit, les propriétés physiques du radium n'offrent aucun caractère bien particulier. Il en est de même, quant à ses propriétés chimiques. En réalité, tout l'intérêt qu'il présente se concentre sur les phénomènes radioactifs proprement dits.

CHAPITRE III.

Rayons dégagés par les substances radioactives.

Le rayonnement se propage en ligne droite, dans le vide comme dans l'air; il n'est soumis, ni aux lois de la réflexion, ni à celles de la réfraction.

L'action exercée par le champ magnétique sur les rayons du radium a permis de les diviser en trois groupes, désignés par les lettres α , β et γ . Ce phénomène fut constaté par M. Giesel, vers la fin de 1899, puis par MM. Meyer et Schweidler.

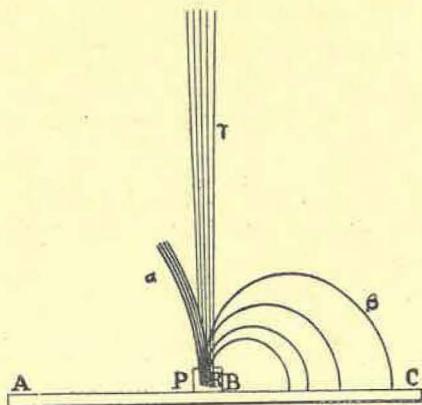


FIG. 2.

Si nous introduisons un sel de radium au fond d'une cavité creusée dans un petit bloc de plomb P (fig. 2), que

nous plaçons dans un champ magnétique uniforme et très intense, produit par un électro-aimant puissant (fig. 3), les trois groupes de rayons se trouveront séparés; l'électro-aimant est disposé (fig. 2) de manière que son pôle N soit en avant du plan de la figure et son pôle S, en arrière.

RAYONS α .

Les rayons α , ainsi que l'indique la figure 2, sont déviés très légèrement vers la gauche. Ils se composent de particules ou projectiles chargés d'électricité positive et

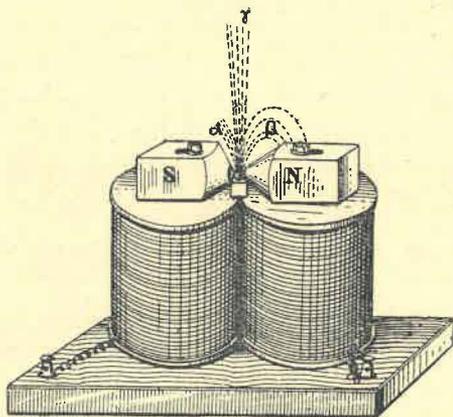


FIG. 3.

lancés avec une vitesse dix à vingt fois inférieure à celle de la lumière. Si l'on admet que la charge de chaque projectile est la même que celle d'un atome d'hydrogène dans l'électrolyse, on trouve que sa masse est de même ordre de grandeur que l'atome d'hydrogène.

Le nombre de projectiles est énorme: d'après les évaluations de Wien (*Phys. Zeit.*, 1903, t. IV, p. 624) ou celles de Rutherford et Mac Clung (*Phil. Trans.*, 1901, p. 25); il atteindrait 80 ou 100 milliards par seconde-gramme,

engendrant une quantité d'énergie égale à 4 ou 5 sixièmes de petite calorie, soit 355,000 ou 440,000 calories par an. Pour l'uranium ou le thorium, dont l'activité est 1,500,000 fois moindre, chacune de ces données se trouve réduite dans la même proportion.

On a constaté que les rayons α étaient analogues aux rayons-canaux de Goldstein (*Kanalstrahlen*), lesquels prennent naissance vers l'arrière d'une cathode percée de petites ouvertures.

Les déterminations effectuées ont montré que les rayons α constituaient 99 % du rayonnement total. Leur pouvoir pénétrant est très faible : dans l'air ils ne peuvent parcourir que quelques centimètres seulement. Des expériences ont été faites par M. Rutherford et Miss Brooks (*Phil. Mag.*, juillet 1902), pour déterminer la fraction du rayonnement absorbée par des feuilles d'aluminium mesurant 0.0034 m/m d'épaisseur, superposées successivement; l'appareil de mesure employé était analogue à celui que nous décrivons ci-après.

Voici le résumé des résultats obtenus :

NOMBRE DE FEUILLES D'ALUMINIUM	INTENSITÉ	
	Radium	Polonium
0.	100	100
1.	48	41
2.	23	12.6
3.	13.6	2.1
4.	6.4	0.14
5.	2.5	0
6.	0.9	
7.	0	

Les rayons α du radium furent donc absorbés totalement lorsque le nombre de feuilles d'aluminium était égal à 7, représentant 0.0238 millimètres d'épaisseur.

Ces expériences furent faites, également, avec des écrans autres que l'aluminium : papier, fer-blanc, etc.

La loi de décroissement est de la forme

$$I_t = I_0 e^{-\lambda t},$$

dans laquelle on représente par

I_t , l'intensité correspondant à une épaisseur t de l'écran,

I_0 , l'intensité initiale,

e , la base naturelle des logarithmes,

λ , une constante dont la valeur varie avec la substance radioactive que l'on emploie, ainsi que celle dont l'écran est constitué. Cette loi ne subsiste pas jusqu'au bout : lorsque presque tous les rayons sont absorbés, le décroissement devient plus rapide.

M. Rutherford a déterminé expérimentalement, pour l'aluminium et pour l'air, la valeur de λ :

	Aluminium.	Air.
Thorium	1,250	0.69
Radium	1,600	0.90
Uranium	2,750	1.6

Si, aux valeurs de λ , nous comparons les densités d de l'aluminium et de l'air (cette dernière étant de 0.00120, à 20° et 760 millimètres), le rapport $\frac{\lambda}{d}$ vaudra :

	Aluminium.	Air.
Thorium	480	550
Radium	620	740
Uranium	1,060	1,300

On voit que l'absorption est sensiblement proportionnelle à la densité.

On consultera avec intérêt, au sujet du pouvoir pénétrant

des rayons α , les mémoires publiés par MM. Rutherford, Owens et Miss Brooks (*Phil. Mag.*, janvier et octobre 1899, juillet 1900).

RAYONS β .

Les rayons β sont fortement déviés par l'aimant; les trajectoires qu'ils décrivent sont circulaires et situées dans un plan normal à la direction du champ magnétique. Si on les reçoit sur une plaque photographique B C (fig. 2), on obtient une large bande diffuse. M. Becquerel a démontré, ainsi, combien les rayons β sont inégalement déviables. Il est facile, aussi, de prouver combien ils diffèrent, au point de vue de la pénétrabilité :

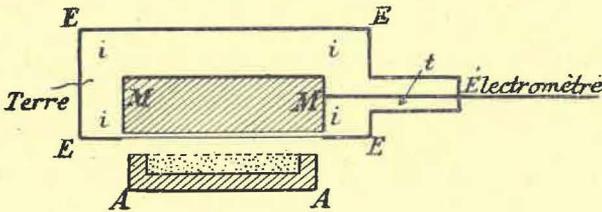


FIG. 4.

Si on recouvre la plaque de divers écrans absorbants : papier, verre, métaux, on constate que les rayons les plus déviés, c'est-à-dire ceux dont la trajectoire a le plus petit rayon, sont les moins pénétrants; certains d'entre eux sont aussi absorbables que les rayons α . Il en est d'autres, par contre, qui traversent plusieurs millimètres de plomb.

Les rayons β sont analogues aux rayons cathodiques. De même que ces derniers, ils transportent de l'électricité négative. Le fait a été démontré expérimentalement par M. et M^{me} Curie (*C. R.*, 1900, t. CXXX, p. 647). Dans l'appareil employé, le conducteur est un plateau M, représenté en coupe dans la figure 4; il est entouré d'un bon diélectrique solide et relié à un électromètre, par une tige métallique t . Une enveloppe métallique E, en communication

permanente avec la terre, protège l'ensemble. Le sel de radium, placé dans la petite cuve en plomb A, dégage des rayons qui sont absorbés par le plateau conducteur. L'électromètre accuse un dégagement continu d'électricité négative.

Lors d'une expérience effectuée, la quantité d'électricité produite ne dépassa pas 10^{-11} coulombs par seconde, pour un chlorure de baryum très actif formant une couche de 2.5 centimètres carrés de surface et 2 millimètres d'épaisseur; cette couche était recouverte d'une feuille d'aluminium mesurant $0^{\text{mm}}01$ d'épaisseur, qui interceptait la majeure partie des rayons α : 86.4 %, si nous nous basons sur les expériences de M. Rutherford.

De même que les rayons cathodiques, les rayons β sont considérés comme constitués de particules extrêmement ténues ou électrons (Crookes) chargées d'électricité négative, dont la masse serait deux mille fois inférieure à celle de l'atome d'hydrogène; elles seraient projetées avec une vitesse comparable à la lumière. Quant à leur nombre, on a démontré qu'il était quatre fois moindre que celui des particules dont sont constitués les rayons α . Il représenterait donc, pour le radium, 20 à 25 milliards par seconde-gramme.

De ce que les rayons β transportent de l'électricité négative, il résulte que si l'on enferme une certaine quantité de radium dans une enveloppe parfaitement isolante, elle doit se charger spontanément, à une tension très élevée. Une circonstance fortuite a permis de vérifier le fait : un échantillon très actif était conservé, dans un tube de verre. Lorsque celui-ci fut découpé, à la lime, il se produisit une étincelle; l'examen à la loupe permit de constater que cette étincelle avait perforé le verre, à l'endroit où le trait de lime l'avait aminci. Le radium présente le premier exemple d'un corps qui se charge spontanément d'électricité.

RAYONS γ .

Pénétrants et insensibles à l'action de l'aimant, les rayons γ sont analogues aux rayons X. Leur puissance est telle qu'ils peuvent encore être perceptibles, après avoir traversé une épaisseur de fer égale à 30 centimètres.

Les rayons γ ont été mis particulièrement en évidence par M. Villard.

La loi d'absorption des rayons β et γ par les écrans est de la forme $I_t = I_0 e^{-\lambda t}$, comme celle qui concerne les rayons α . Le tableau suivant donne, d'après M. Rutherford, la valeur des constantes :

ÉCRANS	RAYONS β (Uranium)		RAYONS γ	
	λ	$\frac{\lambda}{d}$	λ	$\frac{\lambda}{d}$
Eau	—	—	0.033	0.033
Verre.	14	5.7	0.086	0.035
Fer	44	5.6	0.28	0.036
Zinc	—	—	0.28	0.039
Cuivre	60	7.7	0.31	0.035
Etain	96	13.2	0.38	0.052
Plomb	122	10.8	0.77	0.068
Mercurc	—	—	0.92	0.068

Le radium est la seule substance qui émette des rayons γ . Le polonium se borne aux rayons α ; l'uranium et le thorium dégagent des rayons α et β .

Au point de vue du pouvoir pénétrant, on peut admettre, avec M. Rutherford, que l'intensité des radiations α , β et γ est réduite de moitié par l'emploi d'écrans en aluminium d'une épaisseur respective égale à 0.003, 0.5 et 80 millimètres.

Les trois espèces de rayons, rencontrant un corps solide, engendrent des rayons secondaires. Ceux-ci sont tous plus déviables, sous l'action du champ magnétique, que les rayons dont ils sont issus. (*C. R.*, 1901, t. CXXXII, pp. 371, 734, 1286.)

COMPARAISON AVEC LES RAYONS X.

Nous voyons, d'après ce qui précède, que les rayons α , β et γ sont analogues aux divers groupes de rayons émis par le tube de Crookes. Leur pouvoir de pénétration, toutefois, est plus considérable. L'échelle de Benoist, que nous reproduisons ci-contre (fig. 5), d'après les *Archives d'électricité médicale* (25 février 1904, p. 131), en représente graphiquement les intensités relatives. Par suite des nécessités du dessin, les épaisseurs traversées par les rayons canaux, les rayons cathodiques et les rayons α sont inférieures, en réalité, à celles qui se trouvent figurées. La même remarque peut être appliquée, en sens inverse, aux rayons γ . Quant aux rayons β , la figure représente leur intensité moyenne.

Echelle comparative des pouvoirs pénétrants des rayons du radium et des radiations émises par le tube de Crookes.

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10.

Echelons du radiochromomètre de Benoist en aluminium, dont les épaisseurs vont en croissant d'un millimètre par échelon;

11, 12. Echelons du même appareil, mais où l'aluminium a été remplacé par du plomb;

K S Kanalstrahlen;

α Rayons α du radium;

K θ Rayons cathodiques;

β Rayons β du radium;

X Rayons X de Röntgen;

γ Rayons γ du radium.

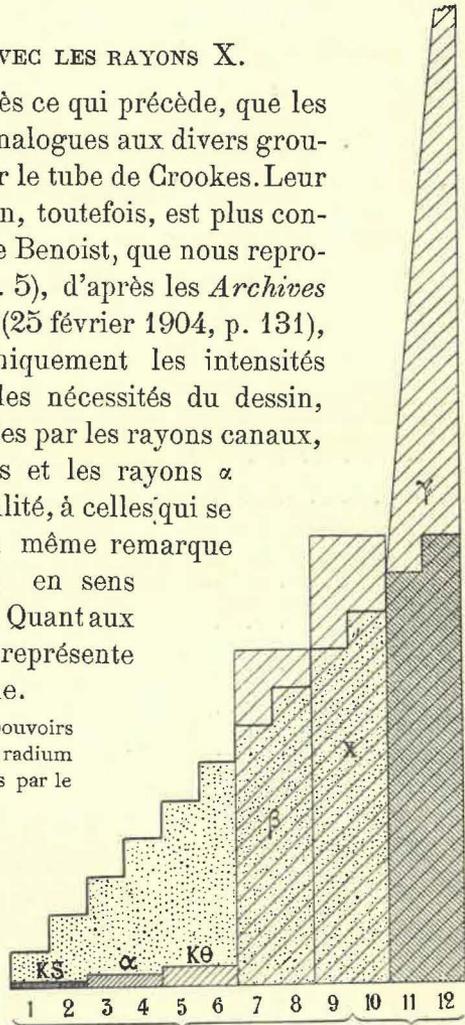


FIG. 5.

CHAPITRE IV

Energie dégagée par les substances radioactives.

Si on examine un sel de radium peu de temps après sa préparation, on constate que son activité est faible. Chose curieuse, elle augmente progressivement : au bout d'un mois environ, elle atteint une limite valant du triple au quadruple de l'activité initiale. Ce phénomène est dû à l'émanation produite par le radium, laquelle s'accumule au fur et à mesure de sa production.

La constance de l'activité, à la température de l'air liquide, a été constatée par M. Becquerel, pour l'uranium (*C. R.*, 1901, t. CXXXIII, p. 199) et par M. Curie, pour le radium (*Société de Physique*, 2 mars 1900).

Un sel de radium, chauffé à l'air libre, perd 70% de son activité. La perte est temporaire et ne résulte aucunement d'une modification subie; l'émanation se trouve simplement chassée, ainsi que nous le verrons ci-après. Les circonstances sont analogues, en somme, à celles qui concernent le radium fraîchement préparé. La régénération se produit graduellement, jusqu'au moment où s'établit un état d'équilibre entre l'apport résultant de la production de l'émanation et la perte provenant de son émission. En vase clos, l'émanation ne peut être chassée, de sorte qu'aucune modification de l'activité ne résulte de la chaleur.

Si on dissout dans l'eau un sel de radium, l'activité radiante se répartit, au bout de quelques jours, entre le

solide et le liquide. Il suffit, en effet, de les séparer par distillation, pour constater que l'activité du résidu tombe à 10 % de l'activité primitive, ou moins encore. La régénération s'effectue spontanément. La solution aqueuse, conservée dans un tube scellé, possède une activité élevée. A l'air libre, au contraire, l'état de régime est marqué par une activité très faible.

Les phénomènes radioactifs sont fort complexes. Ils se manifestent sous la forme d'énergie chimique, lumineuse et calorifique. Nous allons les examiner successivement :

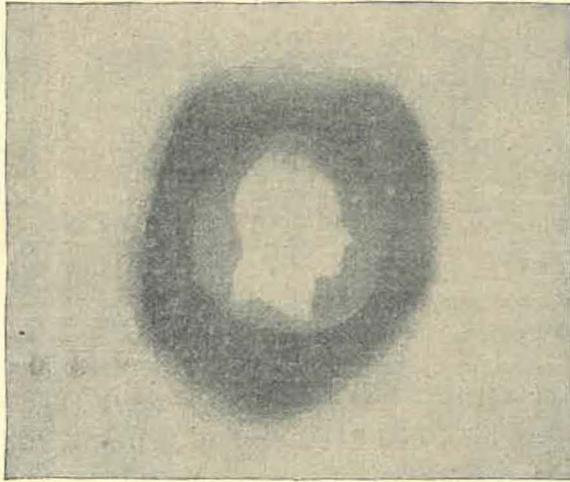


FIG. 6.

ENERGIE CHIMIQUE.

Rappelons, tout d'abord, l'action que les substances radioactives exercent sur les plaques photographiques. De même que les rayons X, elles permettent d'obtenir des radiographies fort nettes, tout en employant un matériel moins coûteux et moins encombrant. La figure 6 représente

une épreuve qui fut obtenue par M. Becquerel dès l'origine de ses recherches. Dans la figure 7, l'opération fut effectuée au moyen du radium.

Il est intéressant, à cet égard, de comparer les radiations émises par le radium avec celles de l'uranium ou du thorium. Alors qu'il faut vingt-quatre heures, à ces dernières,

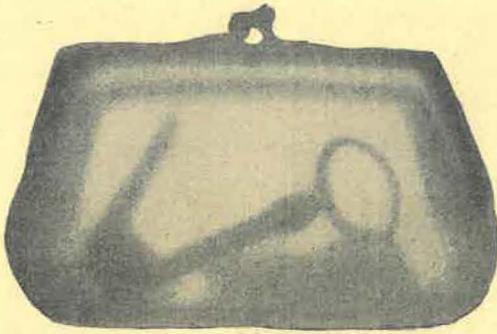


FIG. 7.

pour impressionner une plaque photographique, les rayons du radium, à peu de distance, permettent d'obtenir un résultat immédiat. Cette manière de procéder, toutefois, n'est guère favorable; il vaut mieux opérer de plus loin. Dans ce cas, si la substance à employer est suffisamment active et en quantité minime, on aura l'avantage de restreindre la surface d'émission des rayons. En outre, la distance qui sépare de la plaque le sel de radium ne permet pas aux rayons α d'arriver jusqu'à elle; l'épreuve obtenue sera plus nette.

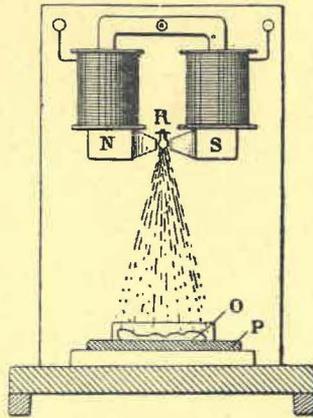


FIG. 8.

On aura avantage, également, à éliminer les rayons β . A cet effet, on emploiera l'appareil que représente la figure 8.

L'objet O à radiographier est séparé de la plaque, par une feuille de papier noir P. Quant au radium R, l'ampoule qui le renferme est placée entre les pôles d'un électro-aimant, dont l'action fait dévier les rayons β et permet aux rayons γ d'impressionner seuls la plaque. Comme ils ne constituent qu'une faible partie du rayonnement total, il en résulte une augmentation notable du temps de pose.

Les rayons émis par le radium et les rayons X traversent, avec une facilité sensiblement égale, le corps humain, la chair et les os. Pour ce qui concerne les métaux, les premiers sont plus pénétrants : l'épaisseur traversée est égale à 0^{mm}10 pour le cuivre et 0^{mm}08 pour le platine. L'argent et le zinc, l'eau, le soufre, la paraffine, le quartz, le spath d'Islande sont transparents à des degrés divers.

Il convient de ne conserver aucun sel de radium d'une certaine activité dans le laboratoire de photographie, sous peine d'altérer les substances sensibles qui s'y trouvent.

La recherche des substances minérales radioactives présente, avons-nous vu page 807, un intérêt considérable. La méthode photographique offre l'avantage d'être simple et pratique : ayant déposé une plaque sensible sur le fond d'une boîte quelconque, on place sur cette plaque l'échantillon à examiner, en ayant soin d'interposer une feuille de papier noir destinée à prévenir toute action chimique due au contact. Il est bon d'user, au tour d'optique, la face sur laquelle repose l'échantillon, de manière à la rendre plane; de cette manière, s'il n'est pas homogène, on augmente le nombre des parties susceptibles d'impressionner la plaque. On ferme alors la boîte, au moyen d'un couvercle permettant d'éviter toute infiltration de lumière. Après un temps de pose qui varie de 5 à 6 heures, pour les plaques extra-rapides, ou de 10 à 12 heures, pour celles

qui sont moins sensibles, on procède au développement. S'il existe des parties radioactives, elles sont marquées par des taches blanches, sur les photographies obtenues. (Fig. 9, 10 et 11.)



FIG. 9.



FIG. 10.



FIG. 11.

Lorsqu'on procède à des expériences comparatives, il convient évidemment d'employer des plaques d'égale sensibilité, les temps de pose étant invariables. En outre, il est utile de se servir d'un témoin : sel d'urane, par exemple, que l'on dépose sur la plaque en même temps que la substance à expérimenter.

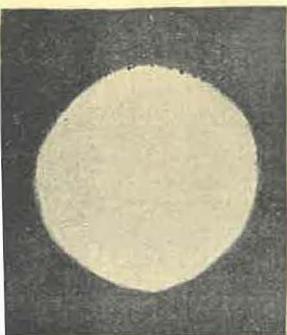


FIG. 12. — Pechblende.

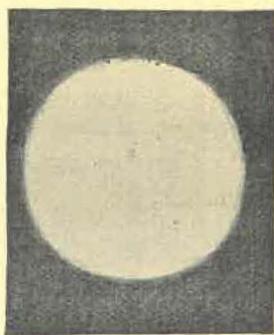


FIG. 13. — Minéral actif.

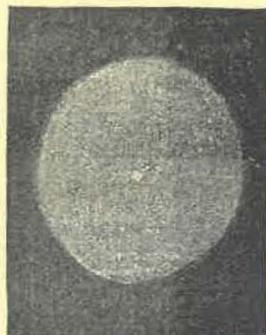


FIG. 14. — Minéral inactif.

Au lieu de radiographier les échantillons tels quels, on peut les réduire en poudre, au préalable; on aura soin de prélever, à cet effet, des parties d'aspects différents. Les photographies obtenues présentent des teintes homogènes et peuvent être classées aisément. (Fig. 12, 13 et 14.)

On peut, au moyen d'une seule plaque photographique, faire l'essai d'une douzaine ou même d'une vingtaine d'échantillons. A cet effet, on prend une feuille de plomb, de quelques millimètres d'épaisseur, et on y fore des ouvertures qui constituent des cases, dans lesquelles on dépose les échantillons à examiner.

M. Talberg a proposé l'application de la méthode photographique à l'examen des combustibles minéraux. Se basant

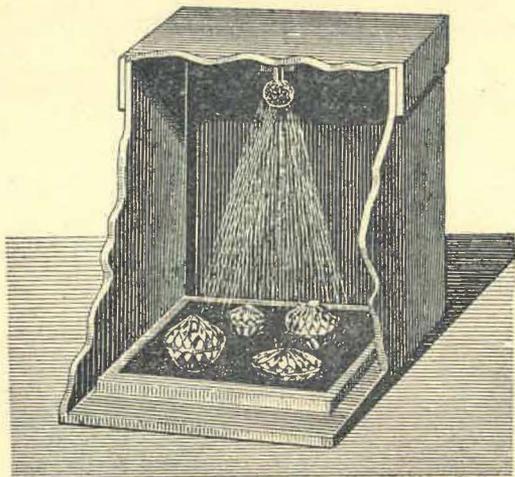


FIG. 15.

sur les expériences de M. Couriot, expériences que nous avons eu l'occasion de reprendre dès l'origine (*Annales des Mines de Belgique*, 1899, t. IV, 1^{re} liv.) et qui consistaient à soumettre les échantillons des combustibles proposés à l'action des rayons X, il substitue à ceux-ci une substance radioactive, dont l'activité est égale à 1000. La plaque, après développement, porte des taches noires dont l'intensité varie, en raison inverse de la minéralisation du charbon.

Dans le même ordre d'idées, on peut distinguer le diamant des imitations (fig. 15). Celles-ci sont opaques

tandis que le diamant laisse passer les radiations ; (fig. 16). La même remarque peut être faite à l'égard

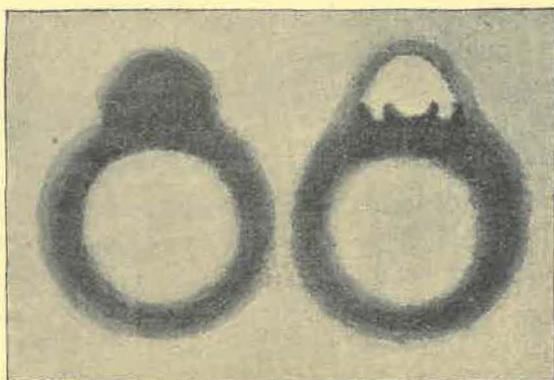


FIG. 16.

des pierres précieuses : rubis, émeraude, saphir, etc., plus transparentes que les pierres fausses ; la comparaison est facilitée par l'emploi de témoins. Si l'on dispose d'un

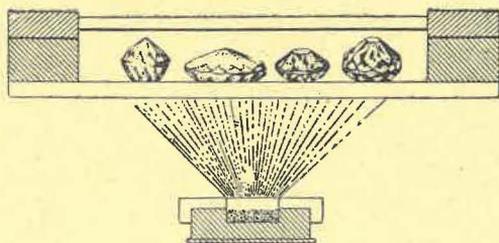


FIG. 17.

produit suffisamment radioactif, l'examen peut s'effectuer au moyen de l'écran fluorescent (fig. 17) (1).

Au point de vue chimique, la radioactivité présente

(1) Ces trois figures sont empruntées à la publication *Le Radium*.

d'autres phénomènes intéressants : M. Becquerel a constaté que le phosphore blanc se transformait en phosphore rouge; ce sont les rayons β qui agissent principalement, ainsi que les rayons secondaires.

M. Hardy et Miss Willcock ont montré que l'iodoforme, exposé à l'action du bromure de radium, se décomposait et prenait une teinte pourpre, due au dégagement de l'iode; Le phénomène est produit, également, par les rayons β .

L'anhydride iodique est décomposé en ses éléments (Berthelot).

Les rayons de radium décomposent l'acide nitrique, de même que la lumière, avec dégagement de vapeurs nitreuses.

Les rayons α et β du radium transforment l'oxygène en ozone (CURIE, *C. R.*, 1899, t. CXXIX, p. 823, et GIESEL, *Verhand. phys. Ges.*, 5 janvier 1900); la présence de ce dernier est décelée par l'odorat ou par l'iodure de potassium.

Une feuille de papier, soumise au rayonnement du radium, se colore, s'effrite et finit par ressembler à une passoire, tant elle est criblée de trous.

Gaz dégagés par le radium. — MM. Curie et Debierne ont remarqué, les premiers, que les sels de radium en solution, introduits dans un tube où l'on avait fait le vide, dégageaient des produits gazeux, sans produire aucune modification au spectroscope (*C. R.*, t. CXXXII, 1901, p. 768). M. Giesel a constaté le même phénomène, avec du bromure de radium (*Ber Chem.*, t. CXXXV, 1902, p. 3605). MM. Runge et Bödlander, avec 1 gramme de sel radioactif, obtinrent 3.5 centimètres cubes de gaz en seize jours; ce gaz renfermait 88 % d'hydrogène et 12 % d'oxygène.

MM. Ramsay et Soddy (*Proc. Roy. Soc.*, t. LXXII, 1902, p. 204), au moyen de 50 milligrammes de bromure

de radium, arrivèrent à un dégagement de 0.5 c. c. par jour. L'analyse donna 71 % d'hydrogène et 28.9 % d'oxygène. Le léger excès d'hydrogène sur la proportion correspondant à la décomposition de l'eau était dû, probablement, à l'absorption de l'oxygène par la matière lubrifiante dont était enduit le bouchon; l'émanation du radium, en effet, exerce une action puissante sur les substances organiques.

Si nous admettons ces résultats, la quantité d'énergie absorbée par la décomposition de l'eau est de deux petites calories par gramme-heure.

Hélium. — Les mêmes expérimentateurs, se basant sur la présence constante de l'hélium dans les minéraux radioactifs, se demandèrent si ce gaz n'était pas produit, régulièrement, par la décomposition du radium (*Phil. Mag.*, 1902, p. 582; 1903, 453 et 579). Ils procédèrent à des expériences dans ce sens :

Deux centigrammes de bromure de radium, préparé depuis trois mois, furent dissous dans l'eau et introduits dans un tube *ad hoc*. L'oxygène et l'hydrogène produits ayant été éliminés au moyen d'une spirale de cuivre chauffée au rouge et la vapeur d'eau résultante absorbée au moyen d'anhydride phosphorique, la présence de l'hélium fut nettement caractérisée, à l'aide du spectroscope. Ce résultat fut confirmé par des expériences ultérieures, faites sur 30 et 50 milligrammes de sel radioactif.

ÉNERGIE ÉLECTRIQUE.

De même que les rayons X, ceux qui sont dégagés par les corps radioactifs possèdent la propriété de décharger les corps électrisés. A cet égard, l'action du radium est très intense : dans un laboratoire de physique, par exemple, les

électroscopes se déchargent rapidement ; si les substances radioactives sont enfermées dans une enveloppe de plomb, leur influence se manifeste néanmoins. Il convient donc de n'introduire ces substances dans le laboratoire qu'en cas de nécessité et de ne les y laisser que le temps strictement nécessaire.

Ions. — La propriété de décharger les corps électrisés résulte de la conductibilité que le milieu gazeux ambiant acquiert, sous l'influence des rayons de Becquerel. A cet égard, il ne sera pas sans intérêt de rappeler sommairement les notions générales relatives aux ions.

Ce terme fut proposé par Faraday, en 1834, à l'effet de désigner les éléments qui se dirigent vers chacun des électrodes, dans le cas d'une décomposition électrolytique.

Pour ce qui concerne les gaz, il est admis qu'ils ne peuvent transporter l'électricité qu'à la condition de subir certaines modifications, lesquelles se traduisent par la production de particules chargées ou *ions*, provenant de la dissociation de particules électriquement neutres. On a démontré expérimentalement que la charge transportée par les ions était la même pour tous les gaz (RUTHERFORD, *Radio-activity*, p. 51). Elle est égale à celle que transporte l'ion d'hydrogène, dans le cas de l'électrolyse d'un liquide ; sa valeur est de 3.4×10^{-10} unités électrostatiques. Quant au nombre d'ions engendrés, ou degré d'ionisation, il augmente avec l'intensité du courant transporté.

Mesure de la radioactivité. — La méthode de mesure qui a permis à M. et M^{me} Curie d'arriver à la découverte du radium est basée sur l'évaluation de la conductibilité acquise par l'air, sous l'action des rayons dégagés par l'échantillon que l'on se propose d'examiner.

L'appareil employé, à cet effet, se compose d'un con-

indications numériques. A cet égard, l'unité admise est l'uranium métallique.

Il ne faut pas perdre de vue qu'aucune méthode de mesure ne peut donner des résultats absolus, car elle concerne telle ou telle manifestation de l'énergie, et non pas la totalité de celle qui est développée.

Les mesures électriques peuvent être effectuées, également, au moyen de l'électroscope à feuille d'or. Cet appareil (fig. 20), sous sa forme la plus simple, se compose d'un flacon mesurant un litre de capacité, fermé par un bouchon en diélectrine, mélange de paraffine et de soufre. La tige t

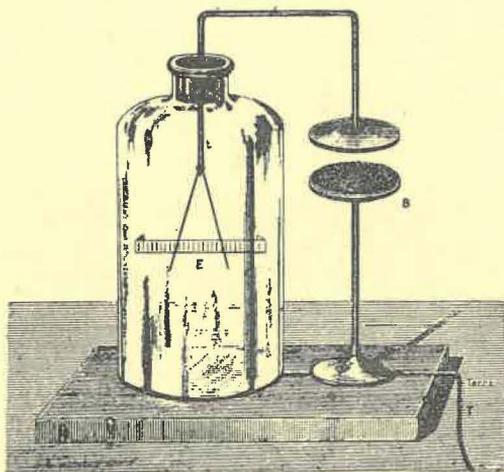


FIG. 20.

porte, à l'extrémité inférieure, deux minces feuilles d'or; la lecture de leurs déplacements s'opère au moyen d'une échelle graduée E. La matière à expérimenter, finement pulvérisée, est placée sur le plateau B, relié à la terre.

L'électroscope à feuilles d'or fut employé par M. Becquerel, dès l'origine. M. et M^{me} Curie s'en servirent également. Les modifications qui y furent apportées, par M. Wilson, se trouvent décrites dans le bel ouvrage de

M. Rutherford (*Radio-activity*, chap. III); on y trouve aussi les indications relatives aux électromètres, ainsi qu'aux détails d'expérimentation.

Mesure du potentiel de l'atmosphère. — Le potentiel de l'atmosphère varie constamment. L'appareil employé

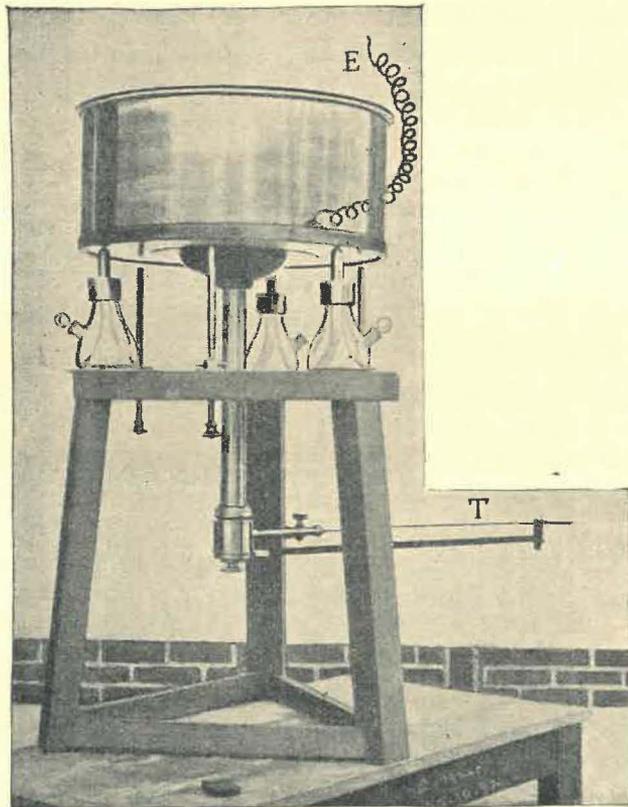


FIG. 21.

à l'observatoire météorologique du Parc Saint-Maur, dans le but d'en enregistrer la marche d'une façon continue, se trouve représentée dans la figure 21, empruntée à l'inté-

ressante étude publiée par M. Moureaux, directeur du dit observatoire, dans la revue intitulée *Le Radium* (juin 1904). Cet appareil comprend un réservoir plein d'eau qui se trouve à l'étage supérieur de l'observatoire et laisse écouler au dehors un mince filet, par l'intermédiaire d'un tuyau horizontal T traversant le mur et d'une longueur égale à 2 mètres.

Le réservoir constitue le collecteur; monté sur trois isolements de M. Mascart, à acide sulfurique, il est relié, par un fil E, à un électromètre qui mesure le potentiel, en l'endroit où le filet se transforme en gouttelettes. L'électromètre est placé dans une chambre noire, où l'adjonction des dispositifs voulus permet l'obtention de courbes continues.

L'inconvénient principal que présente cet appareil résulte de ce qu'en hiver, la congélation de l'eau en rend l'application impossible. Les mesures que l'on prend pour y remédier ne sont que des palliatifs. En outre, les substances étrangères que renferme inévitablement le liquide constituent des causes d'arrêt et astreignent à une surveillance très assujettissante. Enfin, sous l'action des différences de pression dues aux variations du niveau de l'eau dans le réservoir, ainsi que sous celle du vent, la transformation du filet en gouttelettes ne se produit pas toujours au même point; il en résulte que les variations du potentiel ne sont pas rigoureusement comparables.

L'emploi des sels de radium simplifie cette méthode de mesure et permet de parer aux divers inconvénients qu'elle présente. La substance radioactive est placée dans une boîte, que l'on fixe au point dont on se propose de déterminer le potentiel, soit l'extrémité libre du tuyau T. Cette boîte est constituée d'une rondelle en cuivre mesurant $40 \text{ }^m/m$ de diamètre et $20 \text{ }^m/m$ d'épaisseur. On y pratique un logement central, dont les dimensions respectives sont de

15 et 20 $\frac{m}{m}$; le fond est garni d'amiante, et une feuille mince d'ébonite sert de couvercle. L'étanchéité est donc parfaite, condition nécessaire pour soustraire le radium à l'action de l'humidité. Un tube de diamètre approprié, soudé sur la boîte (fig. 22), permet de l'adapter au point voulu.

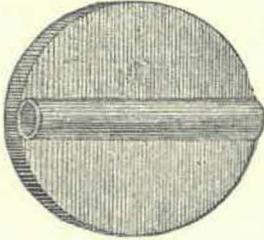


FIG. 22.

Les expériences effectuées, en 1903, ont montré la nécessité d'employer une substance dont l'activité fût assez élevée. La courbe ci-contre (fig. 23) a été obtenue (28 au 29 mars) en prenant le potentiel, alternativement, au moyen de l'écoulement d'eau et de 1 décigramme de chlorure de baryum radifère, dont l'activité était égale à 30,000; les détails sont d'une égale netteté et les raccords successifs de la courbe, parfaits. L'expérience dura plusieurs jours, donnant les mêmes résultats.

En dehors des avantages que nous avons indiqués, l'emploi du radium permet de substituer au réservoir un simple disque collecteur, dans les appareils nouveaux, ce qui diminue les frais d'installation et d'entretien; quant à la surveillance, elle se réduit à la vérification de l'isolement du conducteur. En outre, si on remplace le tuyau T par une tige verticale, l'extrémité libre de celle-ci se trouvera à une hauteur permettant de mesurer le potentiel en un point qui domine les bâtiments, les arbres, etc., obstacles de toute nature qui modifient l'allure normale des courbes équipotentiellles et enlèvent une grande partie de leur valeur aux résultats obtenus. Le radium est susceptible, enfin, d'être employé dans les régions polaires, où l'étude du phénomène est particulièrement intéressante.

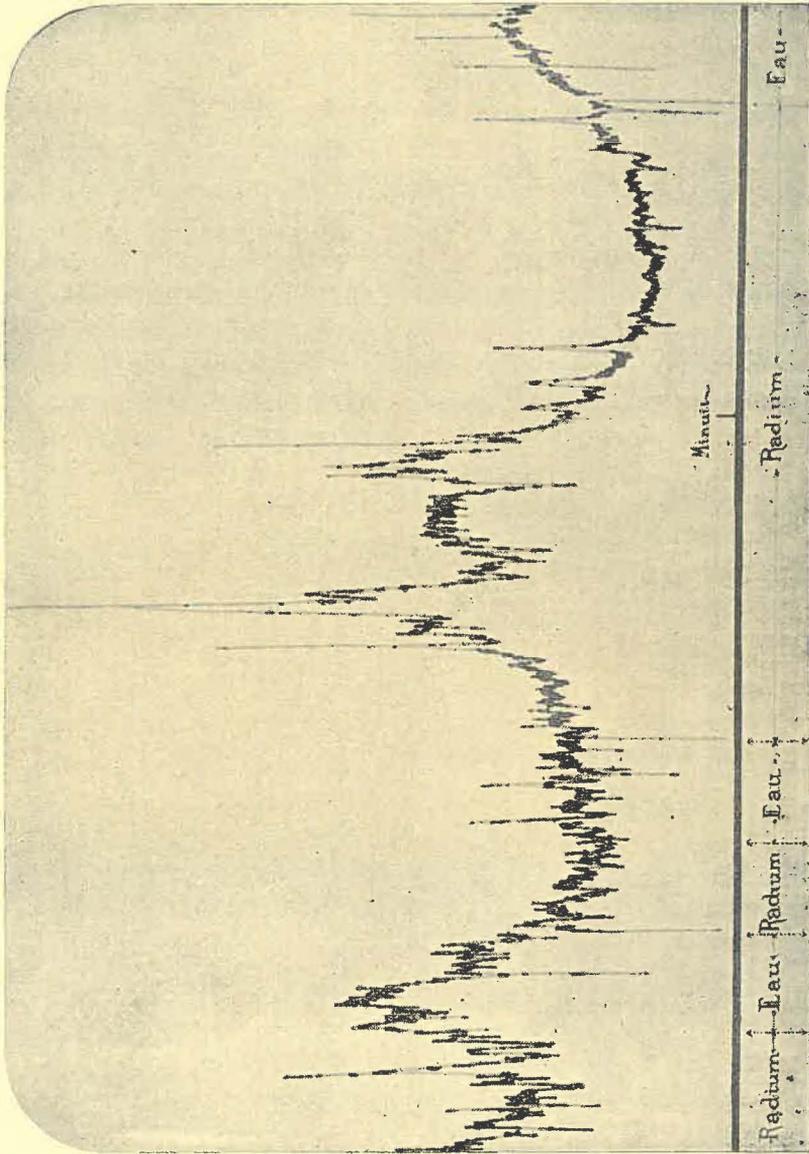


Fig. 23.

Conductibilité acquise par les gaz, les liquides et les solides.

— Le radium ionise les gaz autres que l'air. La question a fait l'objet d'une étude expérimentale très complète, de la part de M. Strutt (*Phil. Trans.*, 1901, p. 507). Il a examiné l'action respective des rayons α , β et γ sur un certain nombre de gaz. Pour éliminer les premiers, il employait une feuille d'aluminium mesurant 1 millimètre d'épaisseur et pour les suivants, 10 millimètres de plomb. Il sera intéressant, dans le tableau ci-dessous, de remarquer la relation entre la conductibilité et la densité, ainsi que la différence entre la radioactivité et les rayons X, à cet égard.

GAZ	DENSITÉS RELATIVES	CONDUCTIBILITÉS RELATIVES			
		Rayons α	Rayons β	Rayons γ	Rayons X
		Hydrogène	0.0693	0.226	0.157
Air	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Oxygène.	1.11	1.16	1.21	1.17	1.39
Acide carbonique . . .	1.53	1.54	1.57	1.53	1.60
Cyanogène	1.86	1.94	1.86	1.71	1.05
Anhydrique sulfurique	2.19	2.04	2.31	2.13	7.97
Chloroforme	4.32	4.44	4.89	4.88	31.9
Iodure de méthyle . . .	5.05	3.51	5.18	4.80	72.0

Les différences de conductibilité sont dues à l'inégale absorption des rayons dégagés. M. Rutherford a montré, en effet, que le nombre total d'ions produits par les rayons α de l'uranium différerait fort peu pour des gaz divers, en cas d'absorption totale (*Phil. Mag.*, janvier 1899, p. 137).

Quant à ce qui concerne les liquides, M. P. Curie a constaté

(*C. R.*, 1902, t. CXXXIV, p. 420) que les diélectriques devenaient conducteurs sous l'influence du radium. L'appareil de mesure employé, analogue en principe à celui que nous avons décrit p. 829, se composait de deux cylindres concentriques en cuivre mince, entre lesquels on introduisait le liquide à examiner; le radium était placé au centre.

Le tableau suivant résume les résultats obtenus :

SUBSTANCES :	Conductibilité par centimètre cube, exprimée en 10^{-14} mégohms
Sulfure de carbone.	20
Ether de pétrole	15
Amyline	14
Tétrachlorure de carbone.	8
Benzine	4
Air liquide	1.3
Huile de vaseline	1.6

L'air liquide, l'huile de vaseline, l'éther de pétrole et l'amyline sont normalement des isolateurs presque parfaits. A la température de -17° C., la conductibilité de l'amyline et de l'éther de pétrole est dix fois moindre qu'à 0° . L'influence du froid est donc considérable.

M. Becquerel a démontré (*C. R.*, t. CXXXVI, 1903, p. 1173) que la paraffine devenait légèrement conductrice, sous l'action des rayons β et γ du radium. Lorsqu'elle ne s'y trouve plus soumise, le décroissement de la conductibilité s'opère comme pour les gaz.

Le sélénium, substance qui possède la curieuse propriété de devenir plus ou moins conductrice, selon qu'elle est plus ou moins éclairée, présente la même sensibilité à l'égard du radium (HIMSTEDT, *Phys. Zeit.*, 1900, p. 476), ainsi qu'à des rayons X.

Étincelle électrique. — De même que la lumière ultraviolette et les rayons de Röntgen, le radium facilite le passage de l'étincelle électrique, entre deux électrodes; le phénomène est surtout visible lorsqu'il s'agit d'étincelles produites par une petite bobine d'induction. M. et M^{me} Curie ont constaté qu'une feuille en plomb mesurant 1 centimètre d'épaisseur ne contrariait en rien l'action du radium; celle-ci est due, par suite, aux rayons γ .

Le professeur de Hemptinne (*C.R.*, t. CXXXIII, 1901, p. 934) a montré que, dans les tubes à vide très poussé, la décharge électrique commençait à une pression plus élevée, si on plaçait une petite quantité de radium à proximité; il obtint, à cet égard, les chiffres respectifs de 51 et 68 millimètres. La couleur de l'étincelle fut modifiée également.

ENERGIE LUMINEUSE

Luminescence. — Tous les composés du radium ou du baryum radifère sont spontanément lumineux. La lumière émise rappelle celle du ver luisant. Elle est perceptible dans une demi-obscurité, ainsi que dans une pièce éclairée au gaz; elle peut permettre, même, de lire dans l'obscurité.

La luminescence varie avec l'activité de la substance expérimentée; elle est plus accentuée avec un sel de baryum radifère qu'avec un sel de radium pur. Le chlorure, par exemple, émet une lumière très faible, dont la teinte se modifie progressivement. Pour le régénérer, il suffit de le dissoudre dans l'eau et de le dessécher ensuite.

Les solutions des sels radioactifs sont faiblement lumineuses; si des cristaux s'y trouvent, leur plus forte luminosité est apparente.

A l'air humide, la luminosité s'atténue considérablement; elle réapparaît par la dessiccation.

Phosphorescence, fluorescence. — Les rayons émis par les sels de radium provoquent la fluorescence ou la phosphorescence d'un grand nombre de corps; le second de ces phénomènes se distingue du premier en ce qu'il persiste plus ou moins longtemps, lorsqu'a cessé l'action qui l'a engendré. Parmi les substances sensibles, on peut citer les sels des métaux alcalins et alcalino-terreux, ainsi que certaines matières organiques, telles que le coton, le papier, la peau, etc.

Le platino-cyanure de baryum, particulièrement impressionnable, prend une magnifique phosphorescence verte; le platino-cyanure de potassium devient bleu-azur. Le premier est d'une sensibilité telle que le radium agit, sur lui, à des distances qui atteignent 2 et 3 mètres, et même au travers du corps humain.

Le sulfure de zinc donne lieu à une particularité intéressante: si on examine la fluorescence à la loupe, on aperçoit des points lumineux, sortes de petites étoiles brillantes qui apparaissent et disparaissent continuellement. Sir William Crookes a, le premier, observé ce phénomène et constaté qu'il n'était perceptible que si la distance entre la substance active et le sel impressionné ne dépassait pas 5 centimètres. Il serait causé, d'après le savant anglais, par un véritable bombardement, dû aux projectiles innombrables qui constituent les rayons α ; ces projectiles produiraient une sorte de clivage, sur la surface du sulfure de zinc. On se trouve donc en présence d'un phénomène causé directement par la désagrégation de l'atome.

Le spintharisope, appareil portatif imaginé par Crookes, est un simple tube en laiton dont une des extrémités porte un écran en sulfure de zinc de Sidot; cet écran est mobile, afin d'en permettre la mise au point. A peu de distance, maintenue dans l'axe du tube par un fil métallique, se trouve une fraction de milligramme d'un sel de baryum

radifère. L'autre extrémité porte une forte loupe. L'expérience se pratique dans l'obscurité; l'observateur, au bout de cinq minutes environ, voit nettement la scintillation.

Les métaux ne donnent lieu à aucune phosphorescence. Nombre de minéraux, au contraire, sont plus ou moins impressionnables. A cet égard, des expériences fort complètes ont été effectuées par deux spécialistes américains, MM. Kunz et Bakersville; elles firent l'objet d'une note présentée à l'Académie des Sciences, de New-York, le 6 décembre 1903. Les minerais de zinc furent particulièrement sensibles : la willémité, ortho-silicate de zinc, donna une phosphorescence qui dura vingt-quatre heures. Un sel de baryum radifère dont l'activité s'élevait à 300,000 exerça son action, sur ce minéral, à une distance atteignant 100 pieds. Citons également la kunzité, variété de spodomène découverte récemment en Californie. C'est un silicate d'alumine et de lithine, de teinte améthyste, dont les cristaux sont fort beaux et de dimensions considérables.

Le diamant est susceptible, également, d'une phosphorescence brillante. On peut ainsi le distinguer de ses imitations ; le quartz, par exemple, est fort peu sensible à l'action du radium.

Le verre, de toute espèce, ainsi que la porcelaine, présentent des phénomènes de phosphorescence très accusés et se produisant dans toute la masse.

Pour les diverses observations relatives à la phosphorescence, il faut que l'œil s'accommode à l'obscurité, ce qui demande un laps de temps qui varie d'après l'organe visuel de l'expérimentateur.

Il est intéressant de constater, au sujet de la fluorescence et de la phosphorescence, les analogies et les différences qui existent entre les rayons X, les rayons lumineux et les rayons du radium : certaines substances, le sulfate double d'urane et de potasse, par exemple,

sont sensibles aux trois catégories de radiations. Le diamant, par contre, très impressionnable par la lumière et le radium, reste inerte en présence des rayons X. Il en est de même de la blende hexagonale, et d'autres sels encore.

M. Becquerel a effectué des mesures photométriques, relativement à l'absorption des rayons du radium par l'air, ainsi que par des écrans phosphorescents divers. La substance active était placée sur un support muni d'un dispositif permettant de la déplacer et de mesurer exactement la distance parcourue. Elle était recouverte d'une feuille d'aluminium battue, afin d'empêcher sa luminosité propre de fausser les résultats; quant aux écrans phosphorescents, on les obtenait en enduisant, au moyen des substances à expérimenter, des lames de verre ou de mica.

Le tableau ci-après résume les intensités relatives i , en fonction des distances d , et de d^{-2} .

DISTANCES		Platino-cyanure DE BARYUM	DIAMANT	SULFATE DOUBLE D'URANYLE ET DE POTASSIUM		
d	d^2			i	d	d^2
mm				mm		
6.3	»	1	1	5.6	1	1
8.5	0.549	0.480	0.543	7.8	0.515	0.556
11.5	0.299	0.262	0.262	10.8	0.268	0.267
13.5	0.217	0.167	0.167	12.8	0.191	0.175

L'examen de ce tableau montre que l'intensité diminue plus vite que le carré de la distance; il y a donc absorption du rayonnement par l'air, absorption qui varie avec la distance.

Thermoluminescence. — On désigne, sous le nom de thermoluminescence, la propriété que possèdent certaines substances de devenir lumineuses lorsqu'on les chauffe au-dessus de la température nécessaire pour les porter à l'incandescence. A ce titre, on peut citer la fluorine et notamment une variété appelée chlorophane, laquelle émet de très belles lueurs vertes ; or, cette propriété s'épuise peu à peu. Sous l'action du radium, elle se régénère, avec dégagement de lumière (*Phys. Zeit.*, 1901, t. II, p. 269).

Colorations engendrées. — Outre la phosphorescence, le verre possède la propriété de se colorer plus ou moins rapidement en violet, jaune, brun ou gris, sous l'influence du radium. Ce phénomène, que présentent toutes les qualités de verres, n'est pas liée à la présence du plomb, mais plutôt à celle des métaux alcalins. Chauffé à la température de 500°, le verre reprend sa teinte primitive, en même temps qu'il émet de la lumière. La faculté de devenir phosphorescent, qui avait diminué progressivement sous l'action du radium, se régénère également ; on se trouve en présence de manifestations aussi curieuses que complexes.

Nombre d'autres substances se colorent aussi sous l'action du radium. Les sels alcalins cristallisés prennent des tons vifs et variés : le chlorure de sodium devient orange et le chlorure de potassium, violet ; ces couleurs disparaissent, lorsqu'on éloigne la substance radioactive qui les a engendrées. Le platino-cyanure de baryum prend une teinte brune qui s'atténue considérablement, par l'exposition à la lumière. Le sulfate double d'urane et de potasse jaunît ; en même temps, sa luminescence diminue. Les sels de baryum radifères se colorent, ainsi que nous l'avons vu, sous l'influence de leurs propres radiations. Le bicarbonate de soude et le méta-bisulfite de potasse deviennent améthyste ; le phénomène, toutefois, demande vingt-quatre heures pour se produire.

Ces diverses colorations s'obtiennent plus facilement en plongeant, dans le sel pulvérisé, l'ampoule qui renferme le radium. Goldstein a constaté que le résultat était meilleur, aussi, lorsque le sel à colorer était fondu ou porté au rouge : du sulfate de potasse fondu prit rapidement, sous l'action d'une substance fortement active, une teinte bleu-vert bien marquée, qui vira graduellement au vert sombre.

Certains minéraux présentent une sensibilité extrême : la kunzite prend une magnifique coloration rose-saumon ; le topaze devient jaune-orangé. On est arrivé, aussi, à colorer le diamant.

Le quartz, exposé plusieurs jours au rayonnement du radium, sous forme de cristal transparent, se transforme peu à peu en quartz enfumé. La modification obtenue, fort nette, peut être susceptible d'applications.

ÉNERGIE CALORIFIQUE.

MM. Curie et Laborde ont constaté que les sels de radium dégageaient, d'une façon continue et spontanée, une quantité de chaleur évaluée à 100 petites calories par gramme-heure; ces sels peuvent donc fondre, par heure, un peu plus que leur poids de glace.

Il en résulte que leur température est constamment un peu plus élevée que celle de l'atmosphère ambiante. Le fait a été mis en évidence d'une façon très simple : prenant deux vases identiques, bien isolés au point de vue calorifique, on y introduisit respectivement 0^{gr}7 de bromure de radium et une égale quantité d'un sel inactif, du chlorure de baryum, par exemple; dans chacun des vases plongeait un thermomètre. Lorsque l'équilibre thermique fut établi, on constata un écart de 3°.

MM. Curie et Dewar ont montré que, même à la température de — 253°, le dégagement de chaleur s'effectuait

néanmoins. L'appareil employé (fig. 24) se composait d'un tube A, fermé à la partie inférieure et entouré d'un isolateur thermique à vide; ce tube contenait une petite

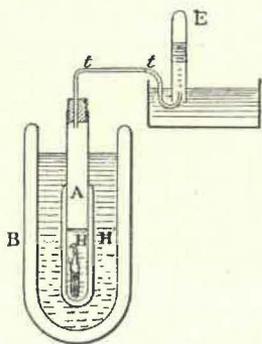


FIG. 24.

quantité d'hydrogène liquide H. Afin d'éviter tout apport de chaleur, on l'introduisit dans un récipient B, où se trouvait également de l'hydrogène liquide H'. Ayant placé, dans le liquide H, une ampoule contenant 0^{gr}7 de bromure de radium, on vit se produire un dégagement continu d'hydrogène gazeux, que le tube *t* permit de recueillir dans l'éprouvette graduée E. La quantité de gaz libé-

rée fut de 73 centimètres cubes par minute. On put, au moyen de cette expérience, calculer la chaleur dégagée par le sel employé.

Parmi les phénomènes si particuliers que présente le radium, le dégagement de chaleur est, certes, des plus intéressants. Il représente, pour l'atome-gramme (225 gr.), 22,500 calories par heure, quantité comparable à celle que produit, au total, la combustion de l'atome-gramme (1 gramme) d'hydrogène. Comment expliquer une telle production d'énergie, continue et indépendante de toute influence extérieure, alors que les moyens d'investigation les plus perfectionnés dont nous disposions n'accusent aucune diminution de poids, aucune modification de la substance !

Si un sel de radium, dissous dans l'eau, est introduit dans un tube scellé, il dégage peu de chaleur à l'origine. La quantité produite augmente progressivement, et devient aussi élevée que si le sel était à l'état solide.

CHAPITRE V

Émanation dégagée par les substances radioactives.

Les composés du radium, du thorium et de l'actinium, à l'exclusion des sels de l'uranium et du polonium, possèdent la propriété d'émettre une émanation radioactive matérielle.

THORIUM.

A diverses reprises, il avait été constaté que plusieurs des composés du thorium, l'oxyde notamment, manifestaient une activité radiante très inégale, lorsqu'on les examinait à l'air libre par la méthode électrique.

M. Owens observa que ce phénomène était dû à l'influence des courants d'air (*Phil. Mag.*, octobre 1899, p. 360) : en vase clos, l'activité augmentait progressivement jusqu'à une limite constante, et il suffisait d'un courant d'air pour la diminuer dans une large mesure.

M. Rutherford, reprenant l'étude de ces phénomènes (*Phil. Mag.*, janv. 1900, p. 1), montra qu'ils étaient causés par une sorte d'émanation matérielle radioactive, qu'une mince feuille de mica posée sur la substance radioactive suffisait pour empêcher de se répandre dans l'atmosphère ambiante.

L'émanation est entraînée par les courants d'air; elle passe au travers de tampons de coton ou de l'air, ainsi que des liquides, sans rien perdre de son activité. Elle diffère

complètement, en cela, des ions développés dans les gaz sous l'influence de la radioactivité : ces derniers, en effet, perdent leur charge électrique, dans des conditions analogues. L'émanation traverse aisément des cartons épais ; elle n'est donc pas composée de particules solides.

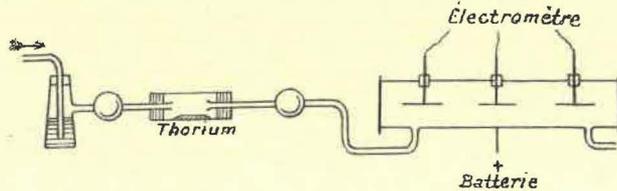


FIG. 25.

Pour étudier l'émanation, on fait passer, sur un sel de thorium introduit dans un tube en verre (fig. 25), de l'air ayant barboté au préalable dans l'acide sulfurique, afin d'en éliminer toutes les poussières. Les mesures s'effectuent par la méthode électrique ; il faut avoir soin d'arrêter, au moyen d'un tampon intercalé dans le tube destiné au passage de l'émanation, les ions qui se trouvent dans l'air entraîné par celle-ci.

On constate que le courant développé augmente très rapidement, ainsi qu'il résulte du tableau suivant :

Nombre de secondes	Courant
23	25
53	49
96	167
125	76
194	88
304	99
484	100

L'activité diminue sensiblement suivant une marche symétrique ; il suffit, pour la déterminer, de fermer la

communication qui permet à l'émanation d'arriver à l'appareil de mesure, et de noter ensuite les décroissements du courant.

Si le sel de thorium est étalé en couche, l'épaisseur exerce une influence notable : si elle ne dépasse pas quelques millimètres, la quantité d'émanation engendrée lui est proportionnelle; dans ce cas, en effet, le courant développé est dû surtout aux rayons α . Si la couche est plus épaisse, il n'en est plus de même.

Les divers sels de thorium ne produisent pas tous une égale quantité d'émanation; l'oxyde, par exemple, en donne plus que l'azotate.

RADIUM.

L'émanation du radium fut découverte par M. Dorn, peu de temps après celle du thorium. A l'état solide, les sels de radium ont un dégagement d'émanation fort restreint. Pour le favoriser, il faut les chauffer ou les dissoudre dans l'eau.

Loi de décroissement. — L'émanation se produit et se dissipe plus lentement que celle du thorium. On en étudie le décroissement au moyen d'un tube (fig. 26), dans la partie inférieure duquel on introduit un sel de radium, en solution aqueuse; l'air qui se trouve vers le haut se charge d'émanation. Au bout de quelques jours, on sépare les deux parties du tube, fermant à la lampe la partie intermédiaire. Il reste, dès lors, à examiner le rayonnement de l'ampoule chargée d'émanation. A cet effet, on emploie un appareil de mesure électrique, analogue en principe à celui que nous avons décrit page 829; les plateaux sont remplacés par des cylindres concentriques. Ayant introduit dans le cylindre intérieur le tube renfermant



FIG. 26.

l'émanation, on mesure la conductibilité acquise par la couche d'air qui se trouve entre les deux cylindres. (CURIE, *C. R.*, 1902, t. cxxxv, p. 857.)

Lors d'expériences faites par MM. Rutherford et Soddy (*Phil. Mag.*, avril 1903), la diminution de l'activité s'effectua de la manière suivante :

Nombre d'heures.	Activité.
0	100
20.8	85.7
187.6	24.0
354.9	6.9
521.9	1.5
786.9	0.19

L'activité décroît sensiblement de moitié en quatre jours.
La loi de décroissement est de la forme :

$$I_t = I_0 e^{-\lambda t}$$

dans laquelle on représente par

I_t , l'activité au bout de t secondes ;

I_0 , l'activité initiale ;

e , la base naturelle des logarithmes ;

λ , une constante dont la valeur, déterminée expérimenta-

lement, est de $\frac{1}{463,000}$.

Cette loi est rigoureuse et absolument indépendante des conditions dans lesquelles l'expérience est effectuée : pression et nature du gaz dans lequel l'émanation se trouve diffusée, radioactivité de la substance productrice d'émanation, nature et dimensions de l'ampoule qui la renferme, etc. Les expériences faites par M. Curie (*C. R.*, 1903, t. cxxxvi, p. 223) ont montré qu'elle subsistait encore, lorsqu'on faisait varier la température entre -180° et 450° .

Propriétés. — L'émanation rend radioactives les substances qui se trouvent en contact avec elles, par exemple,

les parois du tube qui la renferme; le verre de Thuringe est très sensible. Le phénomène se manifeste avec une intensité toute particulière si le verre est enduit d'une substance telle que le sulfure de zinc de Sidot, par exemple. Il a été mis en évidence, par MM. Rutherford et Soddy, à l'aide d'une ingénieuse expérience que nous décrivons ci-dessous.

Il a été constaté, également, que l'émanation provenant de 50 milligrammes de bromure de radium en solution dans l'eau, recueillie dans un tube en verre contenant de l'oxygène maintenu par du mercure, rendait le verre nettement violet, au bout d'une nuit. Le mercure, s'il est humide, se recouvre d'une pellicule d'oxyde rouge; sec, il reste inaltéré.

L'émanation joue un rôle considérable dans le dégagement de chaleur dont le radium est le siège. MM. Rutherford et Barnes l'ont mis en évidence d'une façon très simple (*Phil. Mag.*, février 1904) : ayant chassé d'une substance radioactive, par l'action de la chaleur, l'émanation qui s'y trouvait renfermée, ils condensèrent celle-ci dans un tube entouré d'air liquide. Mesurant alors les quantités de chaleur que dégageaient la substance privée d'émanation et l'émanation isolée, ils constatèrent qu'elles représentaient, respectivement, 30 et 70 % de la quantité totale. La régénération s'effectue progressivement.

Stabilité. — Sous l'action des agents les plus énergiques, on n'a pu arriver, jusqu'ici, à modifier aucunement l'émanation. A cet égard, des expériences ont été faites avec les acides, le platine chauffé électriquement à la plus haute température possible, ainsi que le chromate de plomb chauffé au rouge. On a fait également passer l'émanation, entraînée par un courant hydrogène, sur de la poudre de magnésium ainsi que du noir de palladium, chauffés au rouge. D'autres essais encore, auxquels procédèrent MM. Ramsay et Soddy (*Proc. Roy. Soc.*, 1903, t. LXXII, p. 204), ont montré

que l'insensibilité de l'émanation aux actions susceptibles de la modifier était telle que les gaz de la famille de l'argon, seuls, pouvaient lui être comparés, à cet égard.

Diffusion. — Les analogies que présente l'émanation avec les gaz sont remarquables : si on met en communication deux réservoirs, dont un seul renferme de l'émanation, celle-ci ne tarde pas à se diriger vers l'autre; le phénomène ne prend fin que lorsque l'état d'équilibre est établi, comme s'il s'agissait d'un gaz.

Lorsque la diffusion de l'émanation s'effectue au moyen de tubes capillaires, on constate que la vitesse de l'écoulement est proportionnelle à la quantité d'émanation qui se trouve dans le réservoir; elle varie avec la section du tube capillaire, et en raison inverse de sa longueur. Dans l'air, le coefficient de diffusion de l'émanation est égal à 0.10, à la température de 10°; il présente donc peu de différence avec celui de l'acide carbonique, lequel vaut 0.15.

La diffusion de l'émanation dans des liquides a fait l'objet de recherches effectuées par M. Wallstabe (*Phys. Zeit.*, 1903, t. IV, p. 721).

Action de la température. — Il a été démontré expérimentalement que l'émanation se dilatait, comme les gaz, suivant la loi de Gay-Lussac.

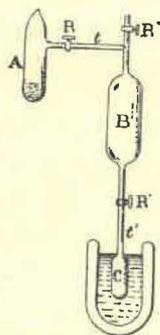


FIG. 27.

MM. Rutherford et Soddy en ont réalisé la condensation et ont constaté qu'à la température de -150° , elle se vaporisait à nouveau. Le phénomène a fait l'objet, de leur part, d'une étude détaillée (*Phil. mag.*, nov. 1902 et mai 1903).

L'expérience a été disposée d'une manière très ingénieuse (fig. 27) : dans le tube en verre A, on introduit un sel de radium, en solution dans l'eau. Les tubes t et t' , commandés respectivement par les

robinets R et R', le mettent en communication avec les ampoules B et C, enduites intérieurement de sulfure de zinc phosphorescent, et dans lesquelles on a fait le vide.

L'appareil étant placé dans l'obscurité, le tube A est légèrement lumineux. Si on ouvre le robinet R, l'émanation se trouve aspirée vers le réservoir B et provoque la vive phosphorescence du sulfure de zinc dont il est enduit. Ouvrant alors le robinet R', on voit le réservoir C s'illuminer à son tour, tandis que le réservoir B devient moins brillant; l'émanation, en effet, se répartit entre eux. Si, ensuite, on plonge le réservoir C dans l'air liquide, l'émanation vient s'y condenser; sa luminosité augmente d'une manière sensible, tandis que le réservoir B, privé d'émanation, ne tarde pas à perdre tout son éclat.

Nous voyons, d'après les considérations qui viennent d'être exposées, combien sont accentuées les analogies que présente l'émanation avec les gaz. Aussi, certains physiciens, M. Rutherford notamment, la considèrent absolument comme une substance gazeuse. On n'a pu, il est vrai, lui déterminer de poids perceptible, jusqu'à ce jour, ni constater de pression produite par elle; mais ces résultats négatifs tiennent, peut être, à l'imperfection des instruments dont nous disposons, ainsi qu'aux quantités trop restreintes de radium sur lesquelles s'effectuent les expériences.

Il convient de remarquer que l'émanation, en somme, n'a jamais manifesté son existence que par des phénomènes radioactifs, exclusivement. Aussi, l'opinion de M. Rutherford n'est-elle pas admise sans conteste: M. Curie se refuse à considérer l'émanation comme une substance matérielle.

D'après les calculs de M. Rutherford (*Radio-activity*, p. 246), si l'on considère 1 gramme de radium à l'état d'équilibre radioactif, le nombre de particules d'émanation qu'il renferme est égal à 1.2×10^{16} , représentant

un volume de 0.000330 centimètres cubes, aux conditions normales de pression et de température.

ACTINIUM.

L'émanation de l'actinium a été étudiée par M. Debierne (*C. R.*, 1903, t. cxxxvi, p. 146; 1904, t. cxxxviii, p. 411). Elle possède la propriété caractéristique de se dissiper en quelques secondes seulement. M. Giesel, au moyen de la substance radioactive analogue à l'actinium découverte par lui, a obtenu également de l'émanation.

CHAPITRE VI.

Radioactivité induite.

Une des propriétés les plus intéressantes que présentent le radium et le thorium, ainsi que l'actinium, c'est de rendre radioactive toute substance solide, liquide ou gazeuse qui se trouve placée, pendant un certain temps, dans leur voisinage. Cette propriété fut découverte par M. et M^{me} Curie, pour le radium (*C. R.*, 6 nov. 1889, t. cxxxix, p. 714) et indépendamment par M. Rutherford, pour le thorium (*Phil. Mag.*, janv. et fév. 1900).

La radioactivité induite est due à l'émanation, et non au rayonnement. Si, en effet, on place plusieurs feuilles de papier sur la substance activante, les rayons α se trouvent interceptés, tandis que l'émanation les traverse; on constate, dans ce cas, la persistance de la radioactivité induite. Si, au contraire, on se sert d'une mince feuille de mica comme écran, elle arrête l'émanation et, avec elle, la radioactivité induite. L'uranium et le polonium ne dégagent pas d'émanation; or, ils ne peuvent influencer les substances placées dans leur voisinage.

A l'air libre, les phénomènes de la radioactivité induite présentent des aspects très variés. En vase clos, ils se produisent avec une activité et une intensité plus considérables. Les résultats sont plus marqués si le sel actif se trouve en solution dans l'eau que s'il est à l'état solide.

La radioactivité induite, en vase clos, augmente progressivement, d'après la loi exponentielle vue précédemment. Elle se rapproche, suivant une courbe asymptotique variable avec la substance activante, d'une limite d'autant plus

élevée que cette substance est plus énergique et en quantité plus considérable.

Les expériences faites par MM. Curie et Debiere, au moyen du radium, sur des lames de matières diverses : plomb, cuivre, verre, ébonite, carton, paraffine, etc., ont montré que cette courbe était indépendante de leur nature.

Elle ne dépend pas davantage du milieu gazeux dans lequel se trouve la substance induite, ni de sa pression, ni de son état électrique. La présence de poussières, dans l'atmosphère, est un élément de perturbation.

Quant à la désactivation de la substance induite, soustraite à l'influence de la substance active, elle suit une marche qui se modifie absolument avec la durée de l'exposition, ainsi que nous allons le montrer, pour le thorium d'abord et le radium ensuite.

THORIUM.

Si l'action du thorium a été suffisamment prolongée, le décroissement de l'activité induite s'opère sensiblement de la même manière que son augmentation. Voici quelle en est la marche, d'après M. Rutherford, l'objet activé étant une tige en bronze.

ACTIVATION		DÉSACTIVATION	
Nombre d'heures	Intensité	Nombre d'heures	Intensité
1.58	6.3	0	100
3.25	10.5	7.9	64
9.83	40	11.8	47.4
14.00	59	23.4	19.6
23.41	77	29.2	13.8
29.83	83	32.6	10.3
47.00	90	49.2	3.7
72.50	95	62.1	1.86
96.00	100	71.4	0.86

l'intensité du rayonnement et en abscisses, les temps. Deux heures après le commencement de la désactivation, la seconde des deux exponentielles devient négligeable par rapport à la première et la courbe représentant la loi devient une droite, en raison du choix des unités. L'activité baisse de moitié en vingt-huit minutes.

Si la durée de l'activation a été inférieure à vingt-quatre heures, la loi de désactivation devient extrêmement complexe, et les courbes représentatives du phénomène prennent des formes assez variées. Pour une activation de quelques secondes, par exemple, on constate d'abord une baisse brusque d'activité; le rayonnement augmente ensuite, passe par un maximum et recommence à diminuer. Deux heures après, l'activité a pris sa marche normale et baisse de moitié en vingt-huit minutes. Ce phénomène, analogue à celui qui caractérise le thorium dans le cas d'une exposition restreinte, est attribué par M. Rutherford à l'influence de l'émanation : ayant éliminé celle-ci au moyen d'un courant d'air, il put remarquer que la diminution de l'activité commençait immédiatement.

Quand on retire les substances induites de l'enceinte activante, on constate qu'elles peuvent émettre aussi une petite quantité d'émanation. Il semble qu'elles s'en soient imprégnées. La plupart perdent cette quantité d'émanation occluse, pendant les vingt minutes qui suivent le début de la désactivation. Cependant, certains corps solides, tels que le celluloid, le caoutchouc et la paraffine, possèdent la propriété de continuer à émettre de l'émanation pendant plusieurs heures, et même plusieurs jours. La loi de désactivation est complètement modifiée (fig. 29).

Si la durée du séjour en présence de l'émanation a été très prolongée, les corps soustraits à cette action se désactivent suivant la loi ordinaire (de moitié en vingt-huit minutes), mais sans que l'activité disparaisse complè-

tement; elle devient plusieurs milliers de fois plus faible qu'au début et peut se manifester pendant plusieurs années encore.

Les considérations qui précèdent sont empruntées au très intéressant travail sur le radium, publié par M. Danne dans le *Génie civil* (Janvier 1904); de ce travail, également, nous avons extrait plusieurs des figures qui précèdent.

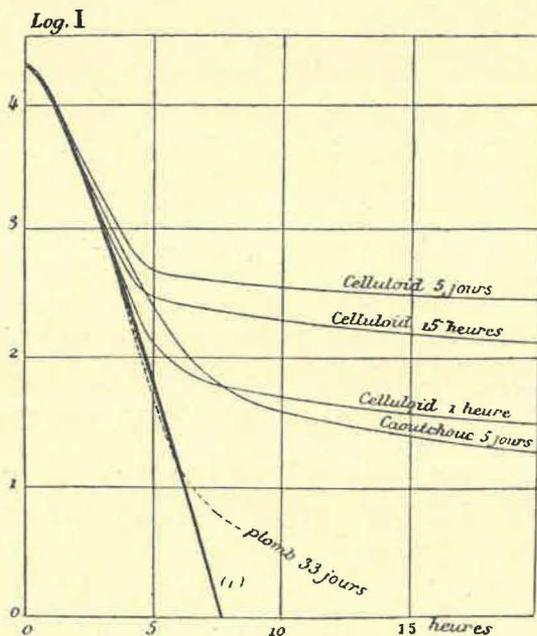


FIG. 29. — Loi de désactivation de quelques substances qui retiennent de l'émanation occluse.

La courbe (1) est la courbe normale.

L'activité induite a été constatée par M. Debiere, pour l'actinium (*C. R.*, t. CXXXVI, 1903, p. 671), ainsi que par M. Giesel (*Ber. chem.*, t. XXXVI, 1903, p. 342), pour la substance radioactive analogue à celui-ci. Il a donné le nom de rayons E aux radiations émises par l'émanation dégagée.

Les substances liquides peuvent devenir radioactives, de même que les solides : si, dans une enceinte, on introduit un sel radioactif en même temps que de l'eau, des solutions salines ou de l'essence de pétrole, on constate que ces liquides s'activent faiblement; il semble que l'émanation s'y dissolve, car si on les enferme dans une ampoule scellée, le rayonnement émis par celle-ci diminue de moitié en quatre jours.

La radioactivité induite cause, dans les laboratoires, de sérieuses perturbations : lorsqu'il s'y trouve des substances fortement actives, tous les appareils ne tardent pas à être influencés, et il devient fort difficile de les isoler convenablement. Ces difficultés s'ajoutent à celles qui résultent du rayonnement, lequel rend l'air conducteur. Les poussières, les vêtements, l'atmosphère deviennent radioactifs.

INDUCTION AU CONTACT.

Si, à un sel de radium, on ajoute un sel de baryum, celui-ci devient actif et peut être concentré comme le chlorure ou le bromure de radium radifère, les produits les plus actifs étant les moins solubles dans l'eau ou l'acide chlorhydrique étendu. On a obtenu ainsi des substances spontanément lumineuses, d'une activité égale à 1000; cependant, elles ne présentaient, au spectroscope, aucune des raies du radium. L'activité induite diminue progressivement : au bout de trois semaines, il n'en reste plus que le tiers. Elle offre cependant un caractère relatif de stabilité, car elle résiste à certaines transformations chimiques.

M. Debierne, au moyen de l'actinium, a obtenu du chlorure de baryum dont l'activité atteignait 6,000; au bout de trois mois, elle se réduisit à 2,000. (*C. R.*, t. CXXXI, 1900, p. 137.)

M. Giesel, en 1900, montra que le bismuth pouvait être activé par le radium et en conclut que le polonium avait pu être engendré de cette manière. M^{me} Curie obtint également un bismuth radioactif (2,000 unités),

dont elle effectua la séparation comme celle du polonium. Les expériences de M. Giesel furent continuées en 1903 (*Ber. chem.*, p. 2368). Le bismuth actif avait été séparé du radium avec le plus grand soin : il émettait, en effet, des rayons α exclusivement. On put constater sa grande ressemblance avec le polonium, ainsi qu'avec le tellure radioactif de Marckwald.

Uranium X. — La radioactivité, avons-nous vu, est une propriété atomique de la matière, c'est-à-dire qu'elle est liée à la présence des atomes constituant les substances radioactives, indépendamment de toute modification physique ou chimique subie par elles.

Or, certaines expériences de Sir William Crookes (*Proc. Roy. Soc.*, 1900, t. LXVI, p. 409) donnèrent des résultats qui semblaient mettre cette notion en défaut : ayant traité par le carbonate d'ammoniaque un sel d'uranium en solution, il fit dissoudre, dans un excès de réactif, le précipité obtenu. Le résidu léger qui subsista fut examiné par la méthode photographique, après avoir été filtré, et reconnu très actif ; le sel primitif, par contre, était devenu inerte. Ce résidu actif fut désigné sous le nom d'uranium X.

L'activité de l'uranium X décroît progressivement, selon la loi exponentielle connue $I_0 = I_t e^{-\lambda t}$. Au bout de chaque période de vingt-deux jours, elle se réduit de moitié ; la régénération de l'uranium primitif suit la marche inverse.

Si on emploie la méthode électrique au lieu de la méthode photographique, on constate avec surprise que le résidu d'uranium n'est pas inactif. Cette différence provient de ce que l'uranium a perdu temporairement les rayons β , mais non les rayons α . Il n'a pas été possible, jusqu'à ce jour, de séparer ceux-ci de l'uranium. M. Becquerel avait signalé l'obtention d'uranium totalement inerte (*C. R.*, 1900, t. CXXXI, p. 137), mais ce résultat provenait de ce que la substance active était recouverte d'une feuille de papier noir qui absorbait les rayons α .

L'uranium X a été préparé, également, en dissolvant dans l'éther le nitrate d'urane cristallisé.

M. Becquerel (*loc. cit.*, t. CXXXIII, 1901, p. 977) obtint l'uranium X en partant du même sel, dissous dans l'eau et additionné de chlorure de baryum. Après avoir laissé les deux sels en contact, pendant un certain temps, et ajouté de l'acide sulfurique, le baryum fut précipité sous forme de sulfate. L'opération ayant été répétée à plusieurs reprises, le produit obtenu fut ensuite desséché. Ce mode de préparation est analogue à celui qui permet d'obtenir les substances induites au contact.

Thorium X. — MM. Rutherford et Soddy (*Phil. Mag.*, septembre et novembre 1902), ayant additionné d'ammoniaque l'azotate de thorium, obtinrent un précipité d'oxyde de thorium, moitié moins actif que l'oxyde de thorium ordinaire. En revanche, le liquide restant possédait une certaine activité; évaporé à sec, il laissa un résidu fort minime et possédant une activité 2,500 fois plus considérable que l'oxyde de thorium. Le thorium X, de même que le thorium, émet de l'émanation en quantité.

Le décroissement de l'activité du thorium X, ainsi que la régénération du sel primitif, sont presque complets au bout de trois semaines environ. Elles s'opèrent suivant la loi habituelle. Il est à remarquer qu'au cours de la première journée, l'activité du thorium X subit une augmentation sensible, tandis que celle du thorium diminue. Le phénomène est analogue à celui qui caractérise la décroissance de la radioactivité induite (voir p. 855).

Le thorium X n'est pas étranger, peut-être, à l'obtention de certains échantillons de thorium presque totalement inactifs, signalés par M. Bakersville (*Journ. Amer. chim. Soc.*, 1901, p. 761) et par MM. Hofmann et Zerban (*Ber. chim.*, 1903, p. 3093).

Emanation X. — Supposons un fil de platine ayant été soumis à l'émanation du thorium. L'activité induite n'en

sera pas modifiée sensiblement si on l'introduit dans l'eau, froide ou chaude, ou bien dans l'acide nitrique. Si, au contraire, le fil de platine est introduit dans une solution concentrée ou diluée d'acide chlorhydrique, sulfurique ou fluorhydrique, plus de 80 % de l'activité passent dans la solution, et il suffit d'évaporer celle-ci pour les concentrer (RUTHERFORD, *Phil. Mag.*, février 1900).

En réalité, la surface de la substance induite s'est recouverte d'un dépôt radioactif dont on peut enlever une partie en frottant avec un morceau de toile et la presque totalité, avec du sable ou du papier à l'émeri. Ce dépôt présente donc les caractères d'une substance solide, tout en étant trop restreint pour pouvoir être décélé à la balance ou au microscope. Il diffère absolument de l'émanation qui l'a engendré; celle-ci est, en effet, de nature gazeuse. En outre, elle est insoluble dans l'acide chlorhydrique et dans l'acide sulfurique.

Par analogie, on a désigné ce dépôt sous le nom d'émanation X. Au point de vue des propriétés chimiques et autres, l'émanation X du thorium et celle du radium présentent des caractères distincts.

Les propriétés de l'émanation X ont été étudiées par M. von Lerch (*Annalen der Physik*, Leipzig, nov. 1903). A cet effet, il dissolvait le fil induit et précipitait ensuite, à la fois, le métal et l'émanation X : le cuivre, par exemple, ayant été dissous dans l'acide nitrique, la potasse caustique donna un précipité radioactif. Le magnésium, dissous dans l'acide chlorhydrique, fut précipité comme phosphate actif. L'activité de ces précipités diminua normalement; la réduction fut de 50 %, au bout de onze heures.

L'émanation X est peu soluble dans l'éther, ainsi que dans l'alcool. De même que les substances radioactives, elle est susceptible d'induire au contact le chlorure de baryum.

CHAPITRE VII.

Radioactivité de l'atmosphère, du sol, ainsi que des substances solides, en général.

Les expériences faites par M. Geitel (*Phys. Zeit.*, 1900, t. II, p. 116) et par M. C.-I.-R. Wilson (*Proc. Roy. Soc.*, 1901, t. LXVIII, p. 151) ont montré qu'un conducteur, chargé positivement ou négativement, perdait graduellement sa charge, en vase clos, par suite d'une certaine conductibilité de l'atmosphère ambiante.

MM. Elster et Geitel ont constaté qu'il en était de même à l'air libre, et que le taux de la décharge variait d'après les conditions atmosphériques. Leurs expériences subséquentes (*Phys. Zeit.*, 1901, t. II, p. 590, et t. III, p. 76) démontrèrent la radioactivité de l'atmosphère : un fil métallique, de 20 mètres environ, fut exposé à une certaine hauteur et maintenu à un potentiel négatif élevé, au moyen d'une machine à influence. Au bout de quelques heures, l'ayant introduit dans un récipient, en même temps qu'un électroscope, on vit que sa présence augmentait sensiblement le taux de la décharge.

La radioactivité (émanation X) se dépose sur le fil comme s'il avait été soumis à l'émanation du thorium. Il suffit, en effet, de le frotter avec un morceau de cuir imprégné d'ammoniaque pour communiquer à celui-ci une radioactivité comparable à celle que possède un gramme d'oxyde d'uranium. L'intensité de la radioactivité induite du fil est indépendante de la substance dont il est constitué : le fer, le plomb, le cuivre présentent une égale sensibilité.

Lorsque le fil est soustrait à l'influence activante, l'activité se dissipe rapidement. MM. Rutherford et Allan ont déterminé expérimentalement le mode de désactivation par la méthode électrique (*Phil. Mag.*, déc. 1902), au moyen d'un fil de 15 mètres, chargé à un potentiel de — 10,000 volts. Une heure d'exposition suffit pour développer une radioactivité intense. Il fut constaté que le décroissement s'effectuait suivant une loi exponentielle et diminuait de moitié en trois quarts d'heure environ; le taux du décroissement était indépendant de la nature du fil, de son potentiel, ainsi que de la durée d'exposition.

La majeure partie de l'émanation était due à des radiations un peu moins absorbables que les rayons α . Leur intensité était réduite de moitié par l'interposition d'une feuille d'aluminium mesurant 0.01 m/m d'épaisseur. Certains des rayons émis, plus pénétrants, étaient analogues aux rayons β ; ils traversaient 0.1 m/m d'aluminium.

Influences météorologiques. — MM. Rutherford et Allan (*loc. cit.*) ont obtenu, au Canada, par les temps les plus froids, le sol étant couvert d'une épaisse couche de neige, les mêmes résultats que MM. Elster et Geitel, en Allemagne. Ils ont constaté qu'un vent violent rendait plus intense la radioactivité de l'atmosphère. Quant à l'humidité, elle sembla exercer peu d'influence.

MM. Elster et Geitel ont étudié, pendant une année entière, l'influence des variations météorologiques sur la radioactivité. D'après ces expérimentateurs, le brouillard la favoriserait notablement, ainsi que le froid : les moyennes observées, au-dessous et au-dessus de 0°, furent dans le rapport de 1.44 : 1. Il en est de même des dépressions barométriques.

Sur les côtes de la Baltique, l'activité fut trois fois moins élevée qu'à Wolfenbüttel, endroit situé à l'intérieur de l'Allemagne. Il serait intéressant de procéder à des expériences

atmosphériques en pleine mer, à l'effet de constater s'il est exact que la radioactivité de l'air provient exclusivement des émanations du sol, comme d'aucuns le prétendent.

Pluie fraîchement tombée, neige. — M. G.-I.-R. Wilson a fait évaporer à siccité, dans un creuset en platine, 50 centimètres cubes d'eau fraîchement tombée, afin d'observer si la pluie entraînait une partie de la radioactivité atmosphérique (*Proc. Cambridge Phil. Soc.*, 1902, t. II, p. 428). Il a constaté que le creuset avait acquis une activité suffisante pour quadrupler ou quintupler le taux de décharge d'un électroscope, après avoir fait traverser aux rayons émis une mince feuille d'or ou d'aluminium. La même expérience, reproduite avec de l'eau tombée depuis un certain temps, ainsi que de l'eau provenant de la distribution dont disposait M. Wilson, donna des résultats absolument nuls.

L'activité n'est pas détruite lorsqu'on chauffe le creuset au rouge. Elle se dissipe spontanément au bout de quelques heures; une demi-heure suffit pour la réduire de moitié. Elle est analogue, en tous points, à celle qui est engendrée par l'atmosphère. Son intensité est invariable si l'eau tombe sous la forme d'une fine averse ou de larges gouttes, le jour ou la nuit. Lorsque la pluie dure plusieurs heures, il est indifférent de prélever l'échantillon à n'importe quel moment.

M. Wilson a obtenu aussi un précipité radioactif en ajoutant à l'eau de pluie fraîchement tombée, du chlorure de baryum et un peu d'acide sulfurique; le même résultat fut atteint avec de l'alun, l'aluminium étant ensuite précipité par l'ammoniaque (*Proc. Roy. Soc.*, 1902, t. XII). Nous voyons donc la radioactivité se manifester comme dans les substances actives (p. 860), ainsi que dans l'émanation X (p. 862).

La radioactivité de la neige fraîchement tombée est analogue à celle de la pluie. Elle a été constatée par plusieurs expérimentateurs : M. Wilson, en Angleterre

(*Proc. Cambridge Phil. Soc.*, 1903, t. XII, p. 85); M. Allan et M. Mac Lennan, au Canada (*Physical Review*, de New-York, 1903, t. XVI, pp. 106 et 184).

RADIOACTIVITÉ DU SOL.

MM. Elster et Geitel ont remarqué que l'atmosphère des souterrains présentait une radioactivité particulièrement prononcée. Ce phénomène pouvait être dû à la stagnation de l'air ou bien à des émanations provenant du sol. Pour élucider la question, ils emmagasinèrent de l'air, pendant plusieurs semaines, dans un vaste récipient. La conclusion fut négative.

Restait donc à étudier l'émanation du sol. A cet effet, les expérimentateurs y enfoncèrent un tuyau d'aspiration. Au moyen d'une pompe, l'air était foulé vers l'appareil d'essai (*Phys. Zeit.*, 1902, t. III, p. 574), où les déterminations s'effectuaient par la méthode électrique. Il fut constaté que l'air provenant du sol était plus actif que l'atmosphère des souterrains. Celle-ci, par conséquent, était induite par l'émanation que dégageait la terre.

D'après les expériences que firent MM. Ebert et Ewers (*Phys. Zeit.*, 1902, t. IV, p. 162), à Munich, la désactivation s'effectue comme suit: lorsque l'air provenant du sol est introduit dans l'appareil d'essai, son activité augmente d'abord pendant quelques heures. Elle diminue ensuite, suivant une loi exponentielle; au bout de trois jours environ, elle est réduite de moitié. L'augmentation initiale est due, probablement à l'influence de l'émanation sur les parois de l'appareil de mesure, ainsi que nous l'avons vu au sujet de la radioactivité induite due au radium (p. 857).

MM. Elster et Geitel, au cours de recherches ultérieures (*Phys. Zeit.*, 1903, t. IV, p. 522), remarquèrent que l'intensité de l'activité variait, dans des proportions considérables, d'après le lieu où s'effectuaient les prises d'échantillons. Ils en conclurent que cette intensité dépendait de la nature

du sol. Certains faits vinrent bientôt confirmer cette opinion : l'air provenant des argiles et des calcaires de Wolfenbüttel accusait une activité seize fois supérieure à la moyenne ; par contre, avec les calcaires de Würzbourg et les basaltes de Willems Höhe, l'activité fut presque nulle.

Dans d'autres expériences, on détermina la radioactivité de plusieurs terres, que l'on introduisit dans l'appareil de mesure. Pour certaines d'entre elles, l'intensité ne diminua pas de valeur pendant plusieurs mois. Des essais furent tentés, dans le but d'en séparer le principe actif ; à cet effet, de l'argile fut traitée par l'acide chlorhydrique. Après dessiccation, on remarqua une diminution de la radioactivité ; le principe actif est donc plus soluble que l'argile. Le phénomène est analogue à la séparation du thorium X, au moyen de la précipitation par l'ammoniaque. La régénération s'effectua spontanément, au bout de quelques jours.

MM. Elster et Geitel se demandèrent si, en enterrant certaines substances, il ne serait pas possible de leur communiquer la radioactivité : des échantillons d'argile et de spath pesant, enveloppés de toile, furent placés à 50 centimètres de profondeur. Un mois après, l'argile seule manifesta de la radioactivité ; celle-ci fut temporaire. MM. Elster et Geitel ont constaté que l'air devenait fortement radioactif, lorsqu'il avait été foulé à travers l'argile.

Eaux des puits et des distributions. — M. J.-J. Thomson a constaté que l'air, après avoir traversé, sous pression, l'eau fournie par les robinets de la distribution de Cambridge, acquérait une conductibilité supérieure à celle de l'air ordinaire et était susceptible de communiquer la radioactivité induite à une tige métallique (*Phil. Mag.*, sept. 1902). Cette eau, en outre, renfermait de l'émanation.

Continuant ses recherches, M. Thomson examina l'eau provenant de puits profonds. Le liquide était soumis à l'ébullition, afin de recueillir l'émanation qui se trouvait ainsi chassée ; dans certains cas, les produits gazeux

obtenus furent fortement radioactifs. Lors d'une des expériences, ils furent liquéfiés et évaporés ensuite. On recueillit alors, séparément, les premières et les dernières parties du gaz engendré. Il fut constaté que l'activité de celles-ci était trente fois supérieure à celle des premières.

Ces expériences furent reprises par M. Adams (*Phil. Mag.*, nov. 1903), qui examina l'émanation ainsi obtenue. Elle était légèrement soluble dans l'eau. Sa désactivation s'effectuait suivant une loi exponentielle, analogue à celle qui concerne le radium. La radioactivité induite engendrée par cette émanation diminuait de moitié en 35 minutes; le temps correspondant, pour le radium, n'est que de 28 minutes. En somme, l'analogie avec l'émanation du radium est néanmoins caractérisée.

M. Adams put constater aussi qu'au bout d'un certain temps, l'eau qui avait bouilli redevenait apte à engendrer encore de l'émanation; toutefois, la quantité obtenue ne dépassait pas 10 % de celle qui avait été produite à l'origine. Il est donc probable que cette eau possède, à part l'émanation qui s'y trouve mélangée, une quantité extrêmement minime de matière radioactive, en solution. L'eau distillée ne donne aucune espèce d'émanation radioactive.

MM. Bumstead et Wheeler ont examiné les émanations provenant des eaux et du sol, à New-Haven, Connecticut (*Amer. Journ. Scien.*, 1904, n° 17). Ils ont constaté également leur analogie avec l'émanation du radium: outre la loi de décroissement, la ressemblance s'étendait au coefficient de diffusion à travers une plaque poreuse.

Eaux minérales. — L'action thérapeutique des eaux minérales, quoique connue depuis bien des siècles, a fait l'objet de discussions nombreuses. Certains esprits, en effet, avaient été frappés de ce que, parmi ces eaux, les moins chargées de sels exerçaient une action physiologique tout aussi marquée que les autres.

L'analyse, disait le D^r Bordès-Pagès, dans une brochure sur les eaux minérales d'Aulus (Foix, 1871), nous fournit évidemment des données précieuses sur la décomposition d'une eau minérale en ses éléments primitifs les plus faciles à saisir; mais les réactions chimiques, en détruisant la constitution naturelle du liquide thermal, en font pour ainsi dire un cadavre. Elles peuvent y faire surgir des combinaisons brutes qui n'y existaient pas, tandis que certaines substances, d'une importance majeure, peuvent échapper à l'imperfection de l'art.

Le D^r Pidoux considère les eaux minérales comme possédant tous les caractères de liquides organisés et vivants, comparables à des médicaments animés.

Une opinion analogue est exprimée par M. Durand-Fardet, dans son *Traité des eaux minérales* (Introduction) : « Si les effets produits par les eaux prises à la source sont supérieurs à ceux des eaux transportées, c'est que les eaux minérales, au sortir du sol, possèdent des qualités intrinsèques insaisissables par l'analyse qui en font des composés inimitables et leur communiquent des activités physiologiques et pathologiques très complexes n'appartenant qu'à elles. Elles exercent sur l'organisme des actions physiologiques et thérapeutiques dont le caractère et les particularités sont tout autres que ceux des agents de la matière médicale. »

Comme fait intéressant à signaler aussi, rappelons que les eaux de Wiesbaden conservent leur chaleur pendant huit jours, et qu'il faut les laisser refroidir de trente-six à quarante heures, avant de pouvoir s'y baigner.

L'influence exercée par l'état électrique de l'atmosphère sur les eaux minérales a été constatée par maint observateur; on s'est préoccupé également, à différentes reprises, d'en déterminer la conductibilité électrique.

Plus récemment, les travaux de MM. Dewar, en Angleterre, Troost et Bouchard, en France, ont révélé la pré-

sence de l'hélium dans les gaz que dégageaient, respectivement, les eaux de Bath et d'Eaux-Bonnes. Rappelons, d'autre part, que MM. Dewar et Ramsay ont engendré ce gaz en partant du bromure de radium (voir p. 827).

M. Strutt a trouvé de l'émanation radioactive dans les eaux thermales de Bath. Il a constaté, en outre, que les dépôts laissés par ces eaux possédaient une certaine activité.

MM. Elster et Geitel (*Phys. Zeit.*, 1903, t. v, p. 11) ont examiné le dépôt des eaux provenant des sources thermales de Battaglia (Nord de l'Italie). Ils ont constaté que ce dépôt émettait trois à quatre fois plus d'émanation que l'argile. En le traitant par l'acide, on dissolvait le principe actif ; si, ensuite, on ajoutait du chlorure de baryum, puis de l'acide sulfurique, le précipité obtenu possédait une activité cent fois plus considérable que le dépôt primitif. Le phénomène est analogue à celui qui permet d'obtenir l'uranium X (p. 861). La radioactivité induite provenant de ces dépôts, comparée à celle du radium, donna une courbe de décroissement sensiblement identique. Ces propriétés radioactives sont dues probablement à la présence d'une proportion minimale de radium, laquelle représenterait le millième de celle que renferme la pechblende.

L'acide carbonique naturel dégagé par des volcans éteints fut trouvé radioactif également; au bout de seize jours, l'activité avait disparu. M. J.-J. Thomson, avon-nous vu ci-dessus, avait constaté la radioactivité de l'eau provenant de puits profonds. Ces deux résultats peuvent être rapprochés.

MM. Curie et Laborde ont examiné des eaux minérales de provenances diverses (*C. R.*, t. CXXXVIII, 1904, p. 1150). Les expériences faites à cet égard ont été décrites par M. Laborde, dans un travail intéressant (*Le Radium*, 15 juillet 1904). Pour de telles recherches, dit M. Laborde, il est important que les gaz soient expédiés au

laboratoire dès qu'ils ont été captés, et qu'on les y étudie le plus rapidement possible ; en effet, lorsqu'ils contiennent de l'émanation, celle-ci se dissipe peu à peu : en quatre jours, son activité diminue de moitié. Des gaz faiblement actifs pourraient donc devenir rapidement inertes.

Ces gaz doivent aussi être recueillis avec grand soin, de façon à ne pas être mélangés d'air : dans ce but, il convient de disposer au griffon de la source, au-dessus du dégagement gazeux, un entonnoir renversé qui dirige les gaz dans un flacon plein d'eau, retourné au-dessus de l'entonnoir de telle façon que son goulot plonge dans l'eau du bassin.

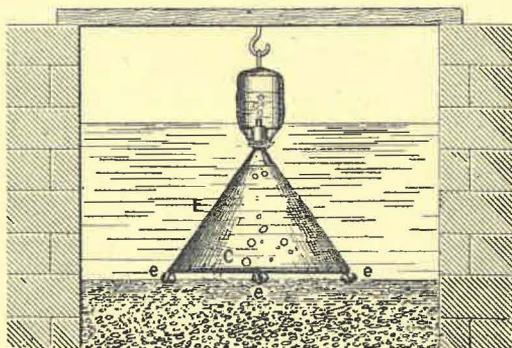


FIG. 30.

Lorsque le flacon est plein de gaz, on le bouche avec soin, sous l'eau, au moyen d'un bouchon en caoutchouc, et l'on cache rapidement.

Si le dégagement gazeux est très faible ou irrégulier (Bagnoles-de-l'Orne, par exemple), il est commode d'employer un très grand entonnoir (fig. 30) ; on le confectionne en suspendant, au-dessus de la source, un cône en toile à voile E, portant à la base un cerceau C, lesté. Les gaz sont recueillis, à la partie supérieure, par l'intermédiaire d'un entonnoir de dimensions ordinaires, dont

l'ajutage passe par un trou ménagé au sommet de l'entonnoir en toile. Moyennant ces précautions, on reçoit des gaz absolument purs et ayant été dégagés dans un temps assez court.

L'appareil de mesure employé est un condenseur (fig. 31) dont l'armature externe est une boîte cylindrique fermée A,

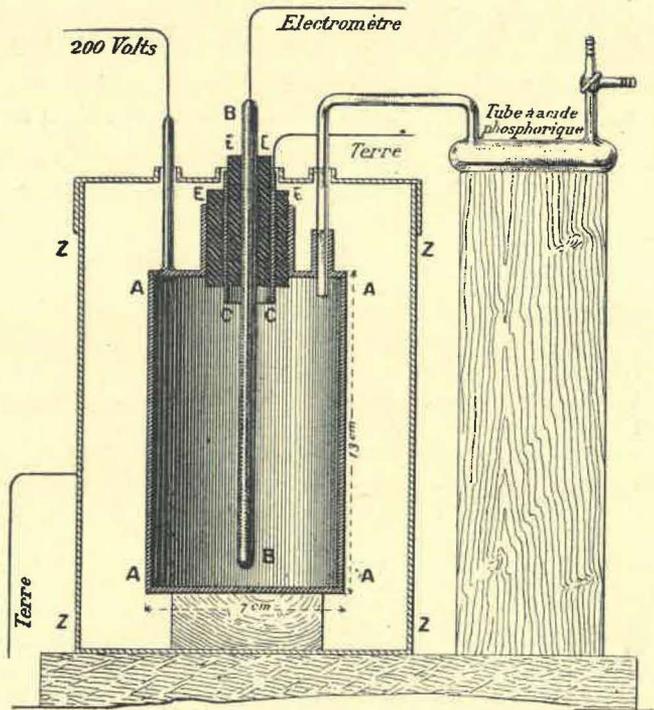


FIG. 31.

en laiton, et dont l'armature interne est une tige de même métal, B, isolée, placée dans l'axe de la boîte. L'isolement est complété par un anneau de garde C, relié à la terre; l'ensemble de l'appareil est protégé par une enveloppe Z, en zinc, également reliée à la terre.

Les gaz étudiés sont d'abord transvasés dans une cloche

graduée, munie d'un robinet. Avant d'employer l'appareil, on y fait le vide, à l'aide d'une trompe à eau; puis, on laisse entrer les gaz, lesquels se dessèchent en passant d'abord sur de l'acide phosphorique.

L'armature externe du condensateur cylindrique étant portée à un potentiel de 200 à 300 volts et la tige intérieure se trouvant reliée à un électromètre, on mesure, au moyen

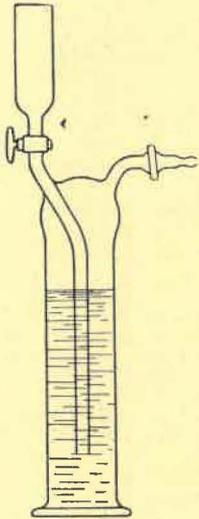


FIG. 32.

du quartz piézo-électrique, le courant électrique qui traverse l'appareil. La connaissance de ce courant et des dimensions de l'appareil (longueur du condensateur, 13 centimètres; rayon du cylindre extérieur, 35 millimètres; rayon du cylindre intérieur, 2 millimètres) permet de caractériser la radioactivité d'un gaz donné.

Toutefois, il est préférable de définir la quantité d'émanation contenue dans le gaz en la comparant directement avec celle qui est dégagée, en un temps donné, par une solution titrée de bromure de radium pur. Pour cela, il suffit de remplacer, dans le condensateur, le gaz radioactif étudié par de l'air ayant barboté dans une solution contenant $0^{\text{er}}00001$ de bromure de radium pur (fig. 32), pendant un temps donné. En comparant les courants qui traversent le condensateur dans le cas du gaz étudié et dans le cas de l'émanation du radium, on peut savoir ce que le gaz étudié contient d'émanation.

Les gaz examinés, ainsi que l'émanation, sont laissés pendant quelques jours dans l'appareil, ce qui permet de suivre, dans chacun des cas, d'abord la période d'établissement de la radioactivité induite sur les parois du condensateur et ensuite, la loi de décroissement: au bout de quelques heures, le courant qui traverse le condensateur passe

par un maximum, à partir duquel il diminue de moitié pendant chaque période de quatre jours.

MM. Curie et Laborde ont ainsi constitué un tableau des gaz étudiés, en faisant figurer le nombre n de minutes pendant lequel il faudrait laisser séjourner 1 milligramme de bromure de radium pur dans 1 litre d'air pour obtenir le même courant qu'avec ces gaz, dans le condensateur. Ces nombres peuvent être considérés comme mesurant la quantité d'émanation contenue dans un litre du gaz de chaque source. La seconde colonne du tableau ci-dessous représente la valeur du courant i qui traverse, dans chaque expérience, le condensateur cylindrique.

PROVENANCE DES EAUX	$i \times 10^3$	n
Bad-Gastein (Autriche). — Source Grabenbäcker	300	19.7
Plombières (Vosges). — Source Vauquelin	47	2.5
Plombières (Vosges). — Source n° 3.	29	1.53
Id. id. — Id. n° 5.	28	1.48
Id. id. — Trou des Capucins	21	1.16
Bains-les-Bains (Vosges)	16	0.89
Luxeuil (Haute-Saône). — Bains des Dames	5.7	0.29
Luxeuil (Haute-Saône). — Grand-Bain.	2.3	0.12
Vichy (Allier). — Source Chomel	4.6	0.25
Néris (Allier).	4.2	0.23
Bagnols-de-l'Orne	3.3	0.17
Salins-Moutiers (Savoie)	3.0	0.16
Cauterets. — Eaux-Bonnes. — Lamalou.	3.0	0.16
— Mont-Dore	de 0.6 à 3	0.16 à 0.03
Royat. — Châlet-Guyon. — Alet.	0	0

Les nombres de ce tableau concernent des gaz captés depuis quatre jours, et il est à peu près certain que s'ils avaient été étudiés à la source, ils se seraient montrés deux fois plus actifs; ils perdent, en effet, la moitié de leur activité en quatre jours. On peut admettre qu'à la source, la quantité d'émanation contenue dans un litre de gaz de Plombières (source Vauquelin), par exemple, est égale à celle que dégage 1 milligramme de bromure de radium pur, en cinq minutes; pour la source n° 3 de Plombières, 1 milligramme de bromure de radium pur ne demandera que trois minutes environ pour dégager l'émanation contenue dans un litre de gaz.

LA RADIOACTIVITÉ EST-ELLE UNE PROPRIÉTÉ GÉNÉRALE DE LA MATIÈRE ?

Si l'on envisage la radioactivité du sol, on peut admettre qu'elle est due, simplement, à la présence du radium ou d'autres substances analogues, en quantité extrêmement réduite. Quant à la radioactivité atmosphérique, on peut la considérer comme causée, en tout ou en partie, par les émanations du sol. Il serait très intéressant de savoir si tous les corps possèdent un degré d'activité plus ou moins marqué ou, en d'autres termes, si la radioactivité constitue une propriété générale de la matière. Certains auteurs n'hésitent pas à se prononcer affirmativement : d'après Sir Olivier Lodge, la difficulté n'est pas de rencontrer des substances qui soient radioactives, mais, au contraire, d'en rencontrer qui ne possèdent pas cette propriété, à un degré quelconque. Citons également M. G. Martin (*Chemical News*, 1902, t. LXXXV, p. 205).

On ne peut passer sous silence, d'autre part, les travaux du D^r Gustave Le Bon, sur la lumière noire.

D'après ces travaux, la radioactivité constituerait simplement le cas particulier d'une loi générale caractérisée par des phénomènes aussi répandus, dans la nature, que les manifestations calorifiques, électriques ou lumineuses.

Il convient de remarquer que l'appareil employé par M^{me} Curie, décrit p. 828, permet de mesurer la radioactivité lorsque son intensité descend à 0.01, l'uranium métallique étant pris comme unité. Or, à part les minerais renfermant les substances radioactives connues, tous furent inertes. En tout état de cause donc, le degré d'activité des autres substances est fort restreint.

Diverses expériences ont été faites, à cet égard : MM. Mac Lennan et Burton (*Physical Review*, New-York, n° 4, 1903) ont mesuré, au moyen d'un électromètre sensible, l'ionisation possédée par l'air que renfermait un cylindre en fer mesurant 25 centimètres de diamètre et 1^m30 de longueur, dans l'axe duquel se trouvait placé un électrode isolé. Le cylindre fut d'abord exposé, non fermé, pendant un certain temps, à une des fenêtres ouvertes de leur laboratoire. Ensuite, ils obturèrent les extrémités et déterminèrent, aussi rapidement que possible, le courant engendré. D'une façon constante, ils purent observer que ce courant diminuait pendant deux ou trois heures et augmentait ensuite très lentement; la diminution initiale était due, probablement, à celle que subissait la radioactivité de l'air même. Ensuite, l'influence activante du métal se manifestait. Les résultats obtenus furent complètement modifiés en recouvrant de plomb, d'étain ou de zinc, la face intérieure du cylindre : les courants engendrés furent, respectivement, dans les rapports 4 : 3 : 2.

M. Strutt a expérimenté des substances diverses : verre, argent, zinc, plomb, platine, aluminium, fer blanc, etc. (*Phil. Mag.*, juin 1903).

M. Cooke (*Phil. Mag.*, août 1903) a constaté que si un vase en bronze renfermant un électroscope à feuilles d'or était entouré de briques, la décharge de l'électroscope augmentait de 40 à 50 %. Le pouvoir pénétrant des radiations émises était tel qu'il fallait 2 millimètres de plomb pour les absorber. Ces résultats concordent avec ceux que MM. Elster et Geitel ont obtenus, avec l'argile (p. 867).

Une observation très importante a été faite par M. Cooke : il a constaté que l'ionisation de l'air se réduisait au tiers de sa valeur lorsqu'on nettoyait avec soin la surface interne du bronze. Il est permis d'en conclure que la radioactivité est due, en majeure partie, à une induction antérieure.

Nous avons vu, en effet, que l'activité induite peut persister plusieurs années durant, dans certains cas (p. 858). Or, l'atmosphère renferme des particules fort ténues de substances radioactives, ainsi que de l'émanation.

Dans le cas de l'activité induite, le nombre des ions produits était de 10 seulement, par centimètre cube et par seconde. Si nous supposons un vase mesurant un litre de capacité, ce nombre est donc de 10,000. Or, il a été établi que chaque particule composant les rayons α du radium engendrait 7,000 ions. On voit donc qu'au total, il y a production d'une seule particule toutes les 7 secondes, soit environ une particule par centimètre carré et par heure; la surface du vase, en effet, si nous le supposons sphérique, est de 480 centimètres carrés. Il est intéressant de comparer ces chiffres à ceux qui concernent le radium.

M. Strutt a remarqué (*Phil. Mag.*, juillet 1903) qu'en faisant barboter de l'air dans du mercure, on obtenait une émanation analogue à celle du radium. Sa valeur diminuait de moitié en 3.18 jours; celle de la radio-

activité induite, en 20 minutes. Le passage de l'air sur du cuivre chauffé au rouge produisit une émanation, également. MM. Bumstead et Wheeler, lors d'expériences subséquentes (*American Journal of Science*, 1904, t. XVII, p. 110), n'ont pu reproduire les résultats obtenus par M. Strutt, au moyen du mercure.

Le Professeur J. Thomson, dans une note récente présentée à la *British Association*, de Cambridge, a communiqué les résultats d'expériences intéressantes. Elles furent analogues à celles de MM. Mac Lennan et Burton, les cylindres employés étant d'égal volume et de natures différentes. Chaque cylindre fut l'objet de deux déterminations, la seconde étant effectuée en plaçant un écran en plomb suffisamment épais pour isoler l'électroscope par rapport au métal du récipient. Dans le tableau ci-dessous, les nombres indiqués, proportionnels à la vitesse de décharge de l'électroscope permettent d'apprécier l'influence propre du métal (1).

NATURE DU CYLINDRE	Sans écran	Avec écran	Diminution %
Plomb	541	488	10
Etain	496	384	22.5
Fer	287	220	23
Zinc.	228	168	26.5

L'un des assistants du Professeur Thomson a déterminé l'ionisation produite dans un réservoir métallique, dont le volume était susceptible de varier, en modifiant l'écartement de deux plateaux parallèles constitués par le métal

(1) *Le Radium*, 15 septembre 1904, p. 82.

étudié. Le courant passant entre les deux plateaux était mesuré au moyen d'un électroscope.

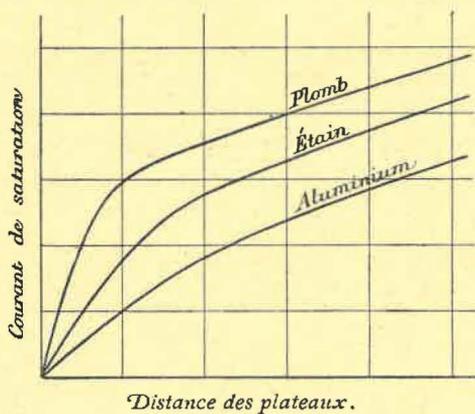


FIG. 33.

La figure 33 représente les courbes obtenues respectivement par le plomb, l'étain et l'aluminium en feuille.

CHAPITRE VIII.

Action du radium sur les organismes vivants ou sur leurs produits.

CHAMPIGNONS INFÉRIEURS ET PLANTES.

L'action exercée par le radium sur les champignons inférieurs a été étudiée par M. Dauphin (*C. R.*, 1904, t. CXXXVIII, p. 154). Il a constaté expérimentalement, pour le champignon *Mortierella*, que les rayons dégagés arrêtaient la croissance du mycelium et empêchaient la végétation des spores. Les champignons, transplantés dans un autre milieu, croissaient à nouveau d'une façon normale.

Sur les plantes, l'influence exercée est analogue. Les expériences faites par M. Matout, à ce sujet, ont porté sur des semences de cresson, ainsi que de sénevé blanc (*loc. cit.*, p. 712).

FERMENTS, TOXINES ET BACTÉRIES.

Les recherches expérimentales faites sur les ferments ont été fort nombreuses. Les résultats ont différé du tout au tout, selon la nature des substances soumises à l'action du radium : dans certains cas, l'activité était atténuée; dans d'autres, elle restait invariable et parfois aussi, elle augmen-

tait. Des renseignements bibliographiques fort utiles sont donnés, à ce sujet, par M. London (*Archives d'électricité médicale*, 1904, n° 148).

Les expériences de M. Phisalix, sur le venin de vipère (*C. R.*, 22 février 1904), ont montré que le radium en diminuait la virulence. L'intensité de l'action exercée varie avec la durée ; au bout de cinquante-huit heures, le venin est rendu inoffensif.

Les premières expériences relatives aux bactéries furent effectuées, en 1899, par MM. Pacinotti et Porcelli : ayant injecté des cultures de staphylococcus sous la peau des oreilles de plusieurs lapins et appliqué ensuite l'uranium, ils constatèrent l'action bactéricide de ce dernier. Cette étude fut reprise expérimentalement par M. Freund, qui ne put obtenir les mêmes résultats (*Grundriss der gesam. Radioter.*, Vienne et Berlin, 1903).

Des travaux ultérieurs montrèrent combien l'influence du radium sur les bactéries était considérable : Aschkinass et Caspari, en trois jours, détruisirent les spores du charbon ; l'action sur les bacilles du typhus et du choléra fut très sensible aussi (*Pflüger Archives*, t. LXXXVI, p. 607). Les mêmes expérimentateurs constatèrent que, parmi les différentes espèces de radiations, les rayons α exerçaient l'action la plus intense ; ce fait fut confirmé ultérieurement. Il en résulte, eu égard au faible pouvoir pénétrant de ces rayons, que les substances radioactives agiront avec beaucoup plus d'efficacité si elles sont à découvert que si les rayons ont à traverser une substance quelconque, fût-ce une simple feuille de mica.

Les nombreuses expériences effectuées par MM. Strebel, Pfeiffer et Friedberger, Danysz, London, Godberg, Dixon et Wigham ont mis en évidence le pouvoir bactéricide des substances radioactives. L'émanation exerce une action analogue, ainsi que l'ont montré MM. Danysz et Godberg.

EMBRYONS ET ANIMAUX INFÉRIEURS.

Les expériences faites par M. Bohn sur des larves de crapauds et de grenouilles, des têtards, etc., ont montré les troubles apportés à la croissance, par l'action du radium. L'émanation produit un effet mortel sur les daphnés et les fourmis rouges.

M. Danysz enferma des larves d'insectes dans un tube de verre, avec du radium très actif. La paralysie survint au bout de vingt-quatre heures et la mort, deux ou trois jours plus tard. L'émanation donna des résultats analogues.

ANIMAUX SUPÉRIEURS.

M. Danysz, dans son laboratoire de l'Institut Pasteur, s'est livré à des recherches fort intéressantes : 1 centigramme de chlorure de baryum radifère, dont l'activité était égale à 500,000, fut appliqué sur la peau de cobayes et de lapins, vingt-quatre heures durant. Chez les premiers, il détermina la destruction de l'épiderme et du derme; la peau fut réellement trouée. Chez le lapin, bien au contraire, il ne fit qu'exciter la croissance du poil.

Les intestins de ces animaux ne furent guère affectés, après une action au contact qui dura quatre mois.

Le système nerveux central manifesta une sensibilité extrême : ayant glissé le tube renfermant le radium sous la peau d'une souris, de manière à le placer exactement au dessus de la colonne vertébrale, à la base du crâne, on vit des phénomènes de paralysie surgir au bout de quelques heures. Vinrent ensuite des attaques, des convulsions, puis la mort. Celle-ci se produisit au bout de douze à dix-huit heures, pour des souris n'ayant qu'un mois; d'autres, plus

âgées, résistèrent quelques jours. Avec des lapins et des cobayes, la mort survint au bout de plusieurs mois, parfois.

A distance, l'action du radium sur les souris détermina également la mort, par suite d'hémorragie interne; les sujets adultes résistèrent trois semaines environ. La peau, congestionnée et ramollie, avait perdu toute consistance. Les expériences à distance furent reprises par M. London, lequel constata que la mort était d'autant plus prompte et les symptômes de paralysie d'autant plus prononcés que les animaux étaient plus rapprochés de la substance radioactive; les lésions de la peau, dans ce cas, étaient moins prononcées.

Plusieurs expérimentateurs obtinrent des résultats analogues, avec les mêmes animaux ou d'autres : chiens, lapins, etc. D'après M. Zukowski, les rayons du radium stimulent d'abord l'excitabilité de l'écorce cérébrale et la font diminuer ensuite progressivement.

L'émanation du radium a fait l'objet d'expériences intéressantes, de la part de MM. Bouchard, Curie et Balthazard. Au bout d'une période comprise entre une et quelques heures, suivant la quantité d'émanation présente, l'animal manifeste des symptômes très nets : la respiration devient saccadée et l'expiration très brève, tandis que la pause respiratoire s'allonge. Ensuite, il tombe dans une torpeur profonde et se refroidit; les mouvements respiratoires gardent leur caractère, mais leur fréquence diminue beaucoup et, dans l'heure qui précède la mort, on ne note plus que dix, huit et même six inspirations par minute. Bien que l'animal reste absolument immobile et affaissé, il n'y a pas de paralysie à proprement parler, car des irritations violentes amènent toujours des mouvements réflexes.

On pourrait attribuer la mort à l'influence toxique de l'ozone; ce gaz, en effet, prend naissance par l'action du radium sur l'oxygène, ainsi que nous l'avons vu, p. 826.

Une certaine quantité de ponce potassique se trouve dans l'appareil d'expérimentation et ramène l'ozone à l'état d'oxygène.

L'examen *post-mortem* permet de constater que la lésion dominante consiste en une congestion pulmonaire intense. A l'œil nu, les poumons apparaissent ponctués, à la face externe, de taches rouges séparées par des espaces rosés. Au microscope, on observe une dilatation considérable des vaisseaux et des capillaires, et quelques petits vésicules d'emphysème. Toutefois, il n'existe pas d'hémorragies interstitielles ou alvéolaires; l'épithélium des alvéoles et des bronches est intact.

Le sang subit des modifications qui portent surtout sur les leucocytes, dont le nombre est très diminué; il n'existe pas d'altérations microscopiques grossières au niveau du foie, des reins et du cerveau, en dehors d'une congestion assez marquée.

La rigidité cadavérique débute au moment même de la mort, et le cœur est en systole.

Les expérimentateurs ont recherché, trois heures après la mort, par la méthode photographique, la radioactivité des divers tissus de l'organisme; tous étaient actifs, mais à des degrés variables. La radioactivité atteint son maximum avec les poils; la peau rasée est peu active, l'œil de même. L'intensité est à peu près égale pour le rein, le cœur, le foie, la rate et le cerveau; elle est, chose curieuse, beaucoup plus grande pour les capsules surrénales et surtout, pour le poumon. Cette action radiographique dépend de deux causes: la radioactivité induite des tissus et la présence d'émanations dissoutes dans les humeurs; il serait intéressant de les dissocier.

En résumé, concluent-ils, éliminant les causes d'erreur dues au confinement de l'atmosphère et à la production de l'ozone, nous avons établi la réalité d'une action toxique

des émanations du radium introduites par la voie respiratoire et agissant sur le revêtement cutané. Ajoutons qu'il ne nous a pas été possible d'obtenir d'effets nocifs en injectant les émanations, avec des gaz, dans le péritoine de cobayes ou de lapins. (*C. R.*, séance du 6 juin 1904.)

ORGANISME HUMAIN.

Le radium exerce sur l'épiderme une action très prononcée, analogue à celle des rayons X et de la lumière ultra-violette. Son contact produit une tache rouge, soit immédiatement, soit au bout d'un certain temps. Après une période plus ou moins longue, cette altération prend la forme d'une brûlure et évolue de même. La guérison peut être longue et difficile.

Afin d'expérimenter cette action, M. Curie laissa en contact avec son bras un sel peu actif, pendant dix heures. Il se produisit une rougeur immédiate, puis une plaie qui détruisit l'épiderme et mit quatre mois à guérir, laissant une cicatrice très apparente. Lors d'une autre expérience, le contact dura une demi-heure seulement. La brûlure apparut quinze jours après, formant une ampoule qui guérit au bout de deux semaines. Une autre fois encore, le contact ayant été réduit à huit minutes, aucune manifestation n'apparut avant deux mois. Alors se forma une simple tache rouge, dont les effets furent insignifiants.

M. Becquerel put également apprécier, sur lui même, l'action produite par les sels de radium : il avait porté pendant six heures, dans la poche de son gilet, quelques décigrammes d'un sel très actif (800,000 unités), enfermé dans un tube en verre scellé mesurant 20 millimètres de longueur et 4 millimètres de diamètre ; ce tube était enveloppé de papier et protégé, en outre, par une petite boîte en carton.

Neuf à dix jours après, sans avoir absolument rien ressenti au moment même, M. Becquerel constata la présence d'une tache rouge; elle devint plus foncée les jours suivants, dessinant la forme oblongue du tube. Au bout de neuf jours, l'épiderme se détachait, la partie attaquée se creusant et suppurant. Pendant un mois, la plaie fut soignée comme une brûlure ordinaire et demanda quarante-neuf jours pour se fermer. L'altération de l'épiderme fut telle que les traces en étaient encore très marquées après deux ans et demi, figurant sur la peau une partie plus blanche parsemée de marbrures rouges.

Quelques jours avant la guérison de cette brûlure apparaissait une seconde tache rouge oblongue résultant de ce que, trente-quatre jours plus tôt, le sel radioactif avait séjourné dans l'autre coin de la poche, pendant une heure tout au plus. Elle évolua comme la première, l'épiderme se détachant au bout de neuf jours également. La guérison fut plus rapide; les traces, toutefois, restèrent apparentes tout aussi longtemps.

Lors d'une expérience que fit M. Poussef, sur lui-même, le contact de la substance active et de l'épiderme dura six heures. Au bout de six jours apparut une tache blanche, cerclée de rose, mesurant 35 millimètres de diamètre. Elle se transforma, onze jours après, en un ulcère atonique rebelle à tout traitement et qui n'eut une tendance à se cicatriser qu'au bout de cinq mois et demi, sous l'action de la lumière blanche.

M. Bohn s'appliqua, en divers points du bras, le 15 avril 1903, pendant une durée de deux à quinze minutes, un tube renfermant un sel de radium très actif. Immédiatement après, une rougeur, due à un trouble vaso-moteur, apparut et subsista un certain temps. Vers fin mai, des troubles plus profonds se produisent : boursouffure de l'épiderme, exfoliation; fin juillet, mêmes phénomènes; fin octobre,

mêmes phénomènes encore, mais plus intenses : une plaie se forma, analogue à une brûlure. Ainsi, les troubles de croissance de la peau, distincts des troubles nerveux, reviennent périodiquement, entraînant des brûlures ou des boursoffures et même, parfois, de simples taches pigmentaires.

J'attribue, dit M. Bohn, une grande importance à l'influence des rayons de Becquerel sur la production du pigment et sur la modification de celui qui est déjà formé. Le pigment semble lui-même radioactif (Griffiths); le rayonnement d'un pigment doit agir sur un autre, et je suis arrivé à la conviction que c'est par l'étude de la radioactivité induite qu'on arrivera à donner une explication vraiment scientifique des cas les plus extraordinaires du mimétisme, par exemple, la ressemblance d'un papillon et d'une feuille. (*C. R. de la Société de biologie*, 27 nov. 1903.)

En résumé, les modifications produites par l'action du bromure de radium sur la peau présentent les particularités suivantes : leur production n'a lieu qu'après une sorte de période d'incubation d'autant plus longue que l'action du sel de radium a été plus faible, ou que la quantité de ce corps agissant sur la peau a été plus petite. Les lésions apparaissent sans douleur et la gangrène se montre insidieusement, sans réaction fébrile. L'ulcère qui succède à l'élimination de l'eschare gangréneuse est particulièrement torpide.

Il est intéressant, également, de signaler l'action exercée par le radium sur l'organe visuel. MM. Giesel et Javal remarquèrent, les premiers, que notre œil éprouvait une sensation de lumière sous l'action de ses rayons. MM. Himstedt et Nagel constatèrent que la cornée, le cristallin, le corps vitreux et la rétine, tous les milieux de notre œil, en somme, luisaient dans l'obscurité sous l'action des rayons du radium. MM. Javal et Curie trouvèrent que les yeux malades répondaient à l'action des rayons du

radium, lorsqu'ils avaient conservé leur sensibilité à l'égard de la lumière.

MM. Hardy et Anderson ont montré que les rayons γ agissaient sur la rétine, tandis que les rayons β provoquaient la fluorescence des milieux oculaires (*Proc. Roy. Soc.*, 21 novembre 1903, t. LXXII),

Les diverses expériences effectuées par le Docteur London, sur des personnes ainsi que sur des animaux, ont conduit aux conclusions suivantes :

1° Les rayons du radium provoquent, dans l'œil, une sensation de lumière à une distance assez considérable (15 centimètres et plus), quel que soit le côté d'où ils tombent et quels que soient les obstacles plus ou moins franchissables qu'ils traversent ;

2° Les rayons du radium et les rayons lumineux, qui ne se ressemblent pas au point de vue de leur nature physique, diffèrent également au point de vue de l'action physiologique qu'ils exercent sur l'appareil visuel. Les premiers, n'augmentent point la faculté visuelle de l'œil ;

3° N'étant ni réfléchis ni réfractés par les milieux oculaires, les rayons dont il s'agit sont absorbés par ceux-ci ;

4° En cas d'action suffisamment intense et prolongée sur l'œil, les rayons du radium peuvent provoquer, dans diverses parties de celui-ci, l'inflammation ou l'atrophie (*keratitis, cyclitis, retinitis, etc.*) ;

5° Il est peu probable que les rayons du radium puissent agir directement sur l'appareil visuel central ;

6° Les yeux obscurcis deviennent capables, après quelque exercice, de saisir les mouvements de la source des rayons du radium et de définir des figures peu compliquées, tracées par celle-ci dans l'espace ;

7° En agissant sur un écran de platinocyanure, les rayons du radium donnent lieu à la formation de rayons lumineux disséminés, auxquels ne sont point mêlés des rayons calori-

fiques quelque peu sensibles à l'œil. Cette lumière peut être perçue, dans une chambre absolument sombre, à l'aide des restes de la rétine épargnés par le processus atrophique du nerf visuel.

M. London affirme avoir pu, de cette manière, procurer des perceptions visuelles à des aveugles sensibles à la lumière. Le docteur Greef, directeur de la clinique de la Charité, a entrepris des expériences destinées à contrôler ces résultats. Les conclusions, malheureusement, en furent négatives (1).

Actions physiologiques. — On n'a pas étudié, jusqu'ici, l'action physiologique des rayons α , β et γ isolés. D'après M. London, les rayons α agiraient avec le plus d'intensité. D'autre part, les rayons β sont susceptibles de transporter, au sein de nos tissus, des charges d'électricité négative; il pourrait en résulter des effets imprévus. La question, en tout état de cause, mérite d'être expérimentée.

En égard au rôle important que jouent les albumines, on s'est préoccupé de l'action exercée sur elles par le radium; dans cet ordre d'idées, M. Hardy a étudié les modifications que subit la globuline (*Proc. Physiological Soc.*, 16 mai 1903), et M. Schwarz, les corps albuminoïdes : luthéine, lécithine du corps cellulaire (*Archiv. für die gesamm. Phys.*, 1903, t. C., p. 532).

MM. Henri et Mayer ont constaté que le radium n'exerçait aucune influence sur la rapidité de la coagulation du sang ou du lait. Sous son influence, l'hémoglobine se trouve transformée en méthémoglobine (*C. R. Société de biologie*, 1903, pp. 229 et 412; 1904, p. 230).

(1) *Une espérance pour les aveugles*, communication adressée à la Société de Médecine de Berlin, le 9 décembre 1903.

APPLICATIONS THÉRAPEUTIQUES.

Affections cutanées. — De même que les rayons X et la lumière ultra-violette, l'application du radium a été proposée pour la guérison de certaines maladies cutanées; le Dr Danlos a effectué des essais très intéressants, à l'Hôpital Saint-Louis, de Paris, sur des malades atteints du lupus. Les guérisons furent assez nombreuses, mais pas toujours à l'abri des récurrences.

MM. Goldberg et London ont traité avec succès deux cas de lupus, dont un à la face. La boîte renfermant la substance radioactive était appliquée sur les parties malades et recouverte d'un papier paraffiné. La première séance dura une heure et demie; les suivantes, une demi-heure. Au total, la durée de contact fut de sept heures, pour un traitement de deux mois et demi. (*Gazette des Hôpitaux*, 25 février 1903.)

Le professeur Gussenbauer et le Dr Holtzknecht ont obtenu des résultats favorables, sur des malades atteints d'affections cutanées diverses : épithéliomas, carcinome du plancher de la bouche ulcéré à la surface, dilation des vaisseaux, etc. (Vienne, Académie des Sciences, 18 juin 1903.)

Le Dr Mackenzie-Davidson, à Londres, a traité avec succès plusieurs cas de *rodent ulcers* (cancroïdes ou lupus non biopsiés). Il a employé, à cet effet, 5 milligrammes de bromure de baryum radifère, d'une activité suffisante pour produire la luminosité du platino-cyanure de baryum, à travers une plaque en cuivre mesurant 12^{mm}8 d'épaisseur. En général, le nombre d'application fut de six ou sept, d'une durée d'un quart d'heure à une demi-heure, espacées par un ou plusieurs jours d'intervalle. Les cas de cancer furent rebelles (*British. Med. Journ.*, 13 janvier 1904).

Signalons aussi un cas d'épithélioma (*loc. cit.*, 23 janvier.) Le Dr Plimmer n'a obtenu aucun résultat, dans dix-sept cas de cancer (*The Lancet*, 1904, p. 1046).

M. Esner a vu se produire certaines améliorations, dans six cas de cancer de l'œsophage. Les applications se pratiquaient en adaptant, à l'extrémité inférieure d'une sonde œsophagique, une capsule de caoutchouc cylindrique renfermant la substance radioactive. (*Semaine médicale*, 2 mars 1904). On peut aussi placer le radium dans le corps même de la sonde (fig. 34).

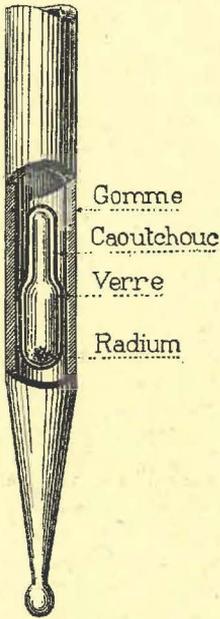


FIG. 34.

Le Dr Lassar, avec un milligramme de bromure de radium dont la durée d'application ne dépassa jamais une demi-heure, amena la résorption et la guérison de néoplasmes hétéroplastiques, sans aucune complication, telle que dermatite, etc. Il considère que, dans les cas abandonnés par les chirurgiens, on peut espérer d'heureux résultats. MM. Schlesinger et Borchardt, au contraire, obtinrent des résultats médiocres, avec quinze malades atteints

de carcinome et d'angiome; pour eux, l'action exercée est analogue à celle des caustiques. La dose employée s'élevait à 1 gramme; elle était considérable, à la vérité (*Soc. méd.*, Berlin, 4 mai 1904).

Signalons également les résultats obtenus par le Dr Bouveyron, de Lyon, qui a traité avec succès un lupus au bras, très étendu, et qui résistait, depuis un an et demi, aux interventions les plus énergiques: pointes de feu, photothérapie, ablation sanglante. Avec 5 grammes de nitrate d'urane, dont l'application fut continue, il obtint l'entière

guérison au bout d'un mois. Dix jours après, il ne restait qu'une cicatrice peu apparente.

En résumé, il est certain que l'emploi des substances radioactives permet d'obtenir, dans certains cas d'affections cutanées, des guérisons rapides et complètes; leur action est surtout efficace lorsqu'il s'agit de lésions superficielles. Pour les grosses tumeurs ou les ulcérations néoplastiques profondes, les résultats doivent être considérés comme problématiques. Il n'en est pas moins logique de tenter un essai, lorsque toute autre intervention se déclare impuissante.

Action analgésiante du radium. — Le D^r A. Darier a appelé l'attention sur l'action analgésiante du radium. La communication adressée par lui à l'Académie de Médecine, le 4 octobre 1903, a fait l'objet d'un rapport fort intéressant présenté par M. le Professeur Raymond, dans la séance du 21 juin 1904 :

« L'action analgésiante, dit l'éminent praticien, semble être l'apanage de tous les corps radiants, puisque nous trouvons, dans la plupart des observations de cancer traité par les rayons X, la diminution des phénomènes douloureux notée comme un résultat assez constant.

» Quand même les rayons X et les substances radioactives ne produiraient pas la guérison de certaines tumeurs malignes superficiellement placées, comme les progrès de la technique de la radiothérapie semblent le faire espérer, il y a, dans l'action analgésique obtenue par ces méthodes, un bénéfice thérapeutique suffisamment important pour mériter d'être pris en considération.

» En ce qui concerne les douleurs liées à des névralgies rebelles, l'effet analgésiant du radium a semblé à M. Darier tout aussi caractérisé. Sur ce point cependant, il y a lieu de se montrer très réservé dans ses conclusions, car les allures des névralgies dites rebelles sont si variées, si ca-

précieuses, le prestige d'une médication nouvelle et aussi impressionnante que celle qui nous occupe est si considérable que la bonne foi de l'observateur peut avoir été surprise. J'ai traité moi-même, avec mon ancien interne, le Docteur Zimmern, par le radium, un cas de névralgie faciale rebelle, tellement rebelle qu'il avait résisté jusqu'à ce jour à toutes les médications courantes : opium, traitement mercuriel, électricité, et je dois vous dire que, sauf à la suite des deux premières applications, l'état de notre malade ne s'est nullement amélioré.

» Une autre de nos malades, atteinte également de névralgies multiples : faciale, occipitale, intercostale, rebelles également, jusqu'à ce jour, à toute thérapeutique, n'a pas non plus bénéficié des applications réitérées du radium que nous lui avons faites.

» Il est possible, cependant, qu'avec des doses de radium moins considérables et d'une activité moindre que celles dont nous nous sommes servi, on eût, comme l'admet M. Darier, obtenu des résultats plus favorables.

» M. Darier a observé encore la disparition des attaques, dans deux cas de névroses convulsives, à la suite d'applications du radium sur la région temporale. Les attaques se renouvelaient tous les jours chez l'un, trois à quatre fois par semaine chez l'autre de ses malades.

.

» En nous rapportant un cas de pseudo-ataxie neurasthénique, guérie en trois jours, l'auteur ajoute qu'il s'agissait probablement d'une action suggestive. Nous ne pouvons qu'approuver cette hypothèse.

» Comment peut-on interpréter le cas de paralysie faciale, toute récente, guérie du jour au lendemain par une application de radium, que nous communique M. Darier ?

» Nous savons que les paralysies du nerf facial sont, ou bien bénignes, ou bien graves. A l'inspection, rien ne permet

de fixer le pronostic. L'examen électrique est indispensable. Mais, vraisemblablement, notre confrère a eu affaire à une paralysie bénigne dont la bénignité est précisément fondée sur la rapidité de la guérison, qui se fait toujours spontanément et dans l'espace de huit à quinze jours. Seul, l'examen électrique, en décelant l'existence de la réaction de dégénérescence, eût pu démontrer qu'il n'y avait pas, dans la guérison rapportée, une heureuse coïncidence.

» Quoi qu'il en soit, les observations de M. Darier sont instructives, en ce sens qu'elles apportent une intéressante contribution à l'étude de l'action thérapeutique du radium. Je n'en retiendrai que la principale, celle qui m'a le plus frappé : l'action analgésique des substances radioactives. Elle m'a d'autant plus séduit que nous ne connaissons que fort peu de moyens physiques capables de diminuer aussi rapidement et aussi énergiquement les manifestations douloureuses, en général. L'emploi de doses infinitésimales constitue une heureuse solution pratique de la question, non-seulement parce qu'elle permettra de mettre le produit radioactif à la portée des malades de toutes classes, mais surtout parce que, tout en jouissant d'une propriété thérapeutique relativement puissante, le produit ne risquera pas d'amener des délabrements persistants des téguments, comme en ont été victimes MM. Becquerel, Curie et d'autres, alors qu'ils ne connaissaient pas les effets destructeurs des substances fortement radioactives. »

Dans une étude récente sur l'action analgésiante des substances radioactives (*Le Radium*, 15 septembre 1904, p. 77), le D^r Darier donne des détails très intéressants sur plusieurs cas traités par lui et insiste sur un point important : chez l'homme, on n'a encore noté aucun accident paralytique ou tétaniforme consécutif à des applications du radium.

Le D^r Bergonié a obtenu également des résultats très

marqués, dans le traitement d'une affection très douloureuse (*Archives d'électricité médicale*, 10 mars 1904, p. 186).

Le Docteur Foveau de Cormelles a signalé plusieurs cas intéressants (*Le Radium*, 15 juillet 1904, p. 24). Outre les sels radifères (240 et 10,000 activités), il s'est servi de pommade à l'oxyde de thorium, à 10 %.

Bien d'autres expériences présenteraient un intérêt considérable. On peut citer, à ce titre, les injections sous-cutanées ou intraveineuses de solutions radioactives, l'absorption de poudres ou de liquides radioactivés, l'emploi de la ouate radioactivée.

Affections pulmonaires. — M. Soddy a proposé d'appliquer la radioactivité au traitement d'affections pulmonaires, sous la forme d'inhalation : ayant fait dissoudre le sel actif dans l'eau, on fait respirer au malade de l'air ayant traversé le liquide. Cette méthode a été expérimentée par le Dr Gordon Sharp, de Leeds. L'appareil employé était un flacon de 500 centimètres cubes, renfermant 100 grammes d'azotate de thorium dissous dans un excès d'eau et dont l'acide avait été neutralisé par de l'ammoniaque, versée goutte à goutte jusqu'à l'apparition du nuage blanc d'oxyde de thorium. Un tube, passant par le bouchon, portait extérieurement deux tubulures : la première, évasée, donnait accès à l'air et la seconde permettait de l'aspirer, après son passage dans la solution.

Le traitement fut appliqué avec succès à deux malades, à raison d'une heure par jour chacun. L'appareil leur servait alternativement toutes les douze heures, de manière à laisser à l'émanation du thorium le temps de devenir assez abondante (*British Med. Journ.*, 23 juillet 1903 et 19 mars 1904).

Ce traitement, en principe, présente une certaine efficacité, l'émanation du thorium étant antiseptique. Elle agit donc directement sur les tissus contaminés, tue le bacille

de la tuberculose. Remarquons aussi que l'exercice physique qu'il comporte est très salubre.

D'après le D^r Stéphane Leduc, l'appareil que nous venons de décrire présenterait certains inconvénients, et il conviendrait de lui préférer un inhalateur ayant simplement la forme d'un entonnoir renversé, dont le tube serait prolongé obliquement, de manière à permettre l'aspiration.

Il peut être avantageux, également, de chauffer la solution radioactive; de cette manière, on augmente le dégagement de l'émanation. L'appareil employé à cet effet, dû à M. Hugo Lieber, est représenté dans la figure 35. Lorsque le thermomètre qui plonge dans le liquide marque

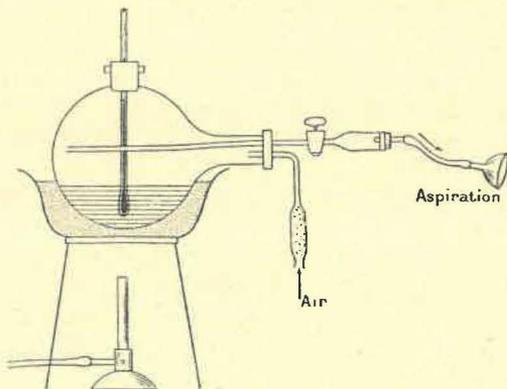


FIG. 35.

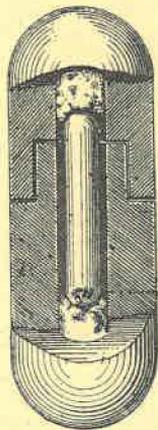
150 à 170°, l'air à aspirer n'est pas trop chaud et se trouve, en outre, dans d'excellentes conditions antiseptiques. La durée des inhalations varie de 30 à 50 minutes.

Le D^r Tracy, de New-York, a appliqué cette méthode avec succès, non seulement pour guérir la tuberculose, mais encore par pure hygiène. L'émanation semble se fixer sur chacune des cellules qu'elle rencontre; fréquemment, on a retrouvé des tissus actifs deux ou trois jours après l'inhalation, ce dont on s'assurait en faisant respirer

le patient dans une chambre noire et en disposant devant lui une plaque photographique, de telle façon que les gaz produits par la respiration vinssent la rencontrer.

Mesure de l'activité. — Il est très utile de pouvoir mesurer l'activité des sels du radium servant aux applications thérapeutiques. Le Dr Bécclère, à cet égard, conseille l'emploi du chromoradiomètre d'Holtzknecht; c'est une série de godets contenant une substance particulière qui se colore sous l'action des rayons X. Expose-t-on longtemps l'un de ces godets à un tube de Crookes puissant, en pleine activité, la coloration produite sur la substance est très foncée. Au contraire, elle l'est fort peu si on l'expose à un tube de Crookes peu puissant et pendant un temps très court. De là à établir une échelle de colorations correspondante à des valeurs croissantes des flux de rayons X, il n'y avait qu'un pas. M. Holtzknecht l'a franchi en créant une unité de mesure, d'ailleurs arbitraire, qu'il a appelée H. Un malade atteint de lupus ou d'une autre maladie peut donc être soumis à une séance de rayons X mesurée par 3, 4, 5 H.

C'est avec ce chromoradiomètre que M. Bécclère a mesuré l'activité du radium. Un sel de baryum radifère a provoqué, en 30 minutes, l'apparition d'une teinte correspondante à 3 H. Le bromure de radium pur a donné, en 5 minutes, la teinte correspondante à 5 H (Bergonié, *loc. cit.*, p. 187).



R.

FIG. 36.

Boîtes et tubes destinés à transporter le radium. — Le radium ne peut être manié qu'à la condition d'être placé dans des boîtes ou des tubes disposés (fig. 36) de façon à faire perdre au malade le moins possible des rayons émis, tout en rendant ceux-ci inoffensifs pour le médecin qui le transporte.

Un des modèles de boîtes les plus employés, en France, se compose simplement d'une plaque de cuivre circulaire mesurant 30 millimètres de diamètre et 3 millimètres d'épaisseur. Dans le corps du métal, on fore un logement central destiné au radium; il est bon que la hauteur de ce logement soit la plus petite possible, afin que le radium soit bien réparti. Une lame mince d'aluminium constitue le couvercle de la boîte. Pour en faciliter le maniement, on y adapte un manche formé d'un simple fil de laiton.

En Angleterre, on se sert d'un modèle quelque peu différent (fig. 37). La boîte, en cuivre également, est plus épaisse; le couvercle est en mica.

Comme appareil très pratique, signalons celui qui a été imaginé par M. Armet de Lisle (*Le Radium*, Juin 1904, p. 11). Il permet d'utiliser le radium, pour son rayonnement, pour son émanation, pour ses propriétés photogéniques, électriques ou calorifiques, sans en nécessiter la manipulation, opération toujours délicate. Cet appareil, dont la figure 38 représente la coupe et la

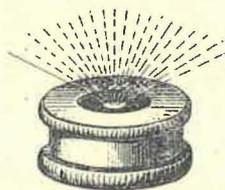


FIG. 37.

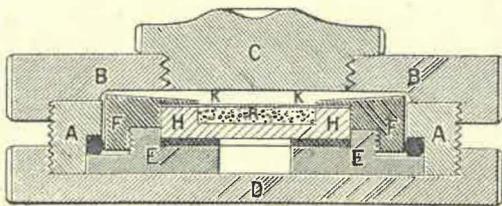


FIG. 38.

figure 39 la vue perspective, se compose d'un godet en verre H reposant, par l'intermédiaire d'une rondelle en caoutchouc, sur un anneau évidé en ébonite E. Le godet,

rodé à la partie supérieure, est fermé par un couvercle mince en ébonite K, fixé sur lui par un anneau fileté F, en laiton. La pression exercée par le caoutchouc applique fortement le couvercle K contre le godet. Deux pièces protectrices en cuivre, B et D, sont vissées sur une rondelle fileté A.



FIG. 39.

Si on désire utiliser le rayonnement, il suffit de dévisser le couvercle C; pour obtenir une action plus intense, on enlèvera les pièces A, B et D. Le couvercle K peut être détaché ou modifié à volonté. Si le radium est additionné d'humidité, accidentellement ou pour en recueillir l'émanation, un passage de quelques instants à l'étuve le ramènera à son état initial.

Lorsque, pour certaines applications thérapeutiques, il est nécessaire d'introduire le radium dans une cavité profonde du corps, on se servira avantageusement du dispositif de M. Morton (fig. 40). Pour le traitement de surfaces étendues, le tube extérieur sera remplacé par une cloche.

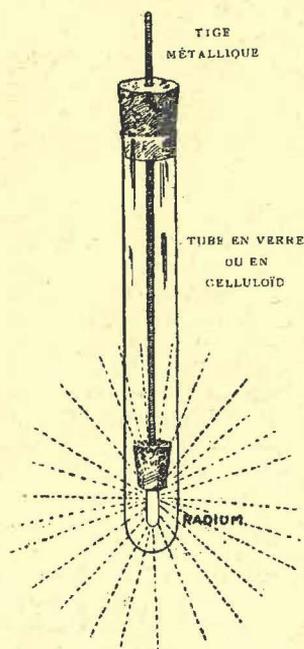


FIG. 40.

CHAPITRE IX.

Origine de l'énergie dégagée par les substances radioactives.

Dès le début des recherches relatives aux propriétés spéciales de l'uranium, M. Becquerel fut frappé de l'émission constante d'énergie qui les caractérisait, sans qu'il fût possible d'en déterminer la source. Après huit années de recherches, la question reste toujours ouverte, de sorte qu'on est réduit à formuler plusieurs hypothèses :

Certains physiciens considèrent l'atmosphère comme étant parcourue, constamment et dans des directions diverses, par des radiations d'origine solaire ou terrestre, radiations dont la nature, les propriétés ainsi que les manifestations directes nous échappent complètement. Les substances radioactives possèderaient la propriété d'absorber ces radiations et de les transformer, comme le verre transforme les rayons cathodiques en rayons X. Cette hypothèse ne s'appuie sur aucun fait réel. En outre, elle explique bien difficilement certains phénomènes, parmi lesquels nous rappellerons, pour n'en citer qu'un seul, la diminution considérable

tion est d'autant plus considérable que son intensité est plus grande.

En 1879, dans une conférence faite à la *British Association*, à Sheffield, Sir William Crookes émit l'hypothèse que, dans les phénomènes dont les tubes à vide très poussé étaient le siège, les particules constituant le courant cathodique n'étaient ni solides, ni liquides, ni gazeuses, mais consistaient en quelque chose de beaucoup plus petit que l'atome : fragments de matière, corpuscules ultra-atomiques infiniment ténus et paraissant en être la base même.

Crookes faisait revivre ainsi la notion de la matière rayonnante, engendrée par le cerveau génial de Sir Humphrey Davy, il y a près d'un siècle : « Si des particules de gaz étaient mises en mouvement dans l'espace avec une vitesse infiniment grande, en d'autres termes, si l'on faisait devenir de la matière rayonnante, ces particules pourraient produire les différentes espèces de rayons, distingués par leurs effets particuliers. »

Quelques années plus tard, un autre physicien illustre, Faraday, reprenait la même hypothèse (conférence faite à la *Royal Institution*, 1816) : « Si nous concevons un changement qui aille au delà de la vaporisation autant que celle-ci surpasse la fluidité, et si nous tenons compte aussi de l'accroissement proportionnel des modifications qui ont lieu à mesure que de tels changements s'opèrent, nous arriverons sans doute très près de la matière rayonnante, si tant est que nous puissions former la moindre conception à ce sujet. »

La matière rayonnante, que l'on peut également désigner sous le nom d'état ultra-gazeux ou quatrième état des corps, se traduit par la présence d'électrons libres ou *atomes d'électricité* possédant l'inertie, séparés de la matière pour être projetés dans l'espace avec une vitesse énorme.

« Nous sommes véritablement parvenus, disait encore Crookes (*loc. cit.*), à une frontière où la matière et la force semblent se fondre l'une dans l'autre, domaine obscur s'étendant entre le connu et l'inconnu. La matière n'est qu'un mode de mouvement. » Antérieurement déjà, ces idées avaient été formulées par M. Clifford (*Fortnightly Review*, juin 1875) : « Il y a tout lieu de croire, disait-il, que tout atome matériel porte sur lui un petit courant électrique, si même il ne consiste pas entièrement en ce courant. »

C'est au professeur J.-J. Thomson que revient l'honneur d'avoir établi, en 1881, la base de la théorie électrodynamique : dans un article très remarquable, publié par le *Philosophical Magazine*, il montra que la phosphorescence du verre, sous l'influence du courant cathodique, était due aux changements presque soudains qui se produisaient dans le champ magnétique, par suite de l'arrêt brusque des particules cathodiques.

MM. Larmor et Lorentz considèrent la matière comme formée par un système planétaire composé d'électrons parcourant un orbite donné. Si les propriétés de ces électrons sont dues à leurs charges électriques seulement, on peut adopter l'hypothèse qui admet la nature exclusivement électrique de la matière. Pour MM. Abraham et Kauffmann, la radioactivité dissocie les atomes chimiques, engendrant les atomes d'électricité ou électrons sans pesanteur, n'ayant de commun avec la matière que l'inertie.

Il est certain que la transformation d'une matière pondérable en éléments impondérables semble difficile à admettre. N'oublions pas qu'à l'époque où Lavoisier énonçait les principes relatifs à la conservation de la matière et de l'énergie, on considérait la chaleur, la lumière, l'électricité comme des substances matérielles, quoique sans pesanteur, que l'on appelait des *fluides* impondérables.

Il est admis, depuis lors, que les effets de ces fluides résultent des vibrations diverses transmises par une substance remplissant les espaces interplanétaires et les interstices atomiques de tous les corps, substance appelée *éther*. Cette substance est-elle impondérable ou bien impondérée? En d'autres termes, est-elle soustraite aux lois de la pesanteur, ou bien nos instruments ne sont-ils pas trop peu sensibles pour permettre d'en déterminer le poids?

D'après le Dr Le Bon, les effluves dégagées sous l'influence de la radioactivité constitueraient la transition entre le pondérable et l'impondérable. Il ne considère pas comme justifiée la solution de continuité que l'on a établie, jusqu'ici, entre ces deux domaines. La matière, que l'on regarde comme indestructible et susceptible de restituer simplement l'énergie emmagasinée au préalable, serait à même, au contraire, d'engendrer, par sa transformation, une quantité énorme de force; ce que nous ignorons, c'est le moyen de la libérer. D'après ces conceptions, les principes de Lavoisier seraient étendus, fondus en un seul, au lieu d'être détruits. Ils s'appliqueraient à l'ensemble de la matière, tant pondérable qu'impondérable. L'atome ne serait pas éternel, sous sa forme actuelle; la particule éthérée dont il est formé serait, elle, indestructible. Quant à lui, il reviendrait à son origine primitive, partageant avec le reste de la création, ainsi que l'a exprimé Crookes d'une façon imagée, les attributs de la décrépitude et de la mort.

M. Rutherford, se basant sur les modifications diverses que la matière subit, par suite de la radioactivité : émanation, produit X, émanation X, considère l'atome comme subissant une désintégration, série de transformations successives qu'il désigne sous la dénomination grecque de *métabolons*.

M. Curie, au cours d'un entretien récent, a bien voulu

nous faire connaître sa manière de voir : il considère, également, que l'atome se désagrège peu à peu et se transforme en hélium.

Les diverses hypothèses que nous venons de passer en revue, relatives aux modifications que l'atome est susceptible de subir, nous ramènent à celle qui envisagent toutes les substances comme formées d'un élément unique dénommé protyle, corpuscule, électron, dont le groupement, seul, varierait. On en reviendrait aux conceptions des alchimistes, à la transmutation.

Davy, et après lui Faraday, n'hésitèrent pas à reprendre ces conceptions audacieuses. Esprits d'élite, ils prévoyaient les questions qui feraient l'objet, un siècle plus tard, des recherches de leurs successeurs. Dans une conférence faite à la *Royal Institution* de Londres, en 1809, Davy, rappelant l'hypothèse suivant laquelle les métaux étaient regardés comme des corps composés, considéra comme admissible l'existence de quelque substance commune à tous les éléments ; des vues analogues furent développées par le D^r Prout, vers la même époque.

La décomposition des métaux, disait Faraday, en 1819, leur composition, la réalisation de l'idée, jadis absurde, de la transmutation, tels sont les problèmes que la chimie est maintenant appelée à résoudre.

La complexité des substances désignées sous le nom de corps simples est admise par des savants éminents, en Angleterre surtout. La classification de ces corps suivant une loi périodique basée sur les poids atomiques, la table de Mendeléf, par exemple, suggère l'hypothèse d'une communauté d'origine et la possibilité de transformations réciproques.

Jusqu'ici, la transmutation n'a pu être réalisée. A cet égard, l'étude des métaux rares donne lieu à des résultats bien surprenants, à des transformations incessantes. Citons,

par exemple, la série qui comprend successivement l'yttrium, le cérium, le lanthanum, puis le samarium et le didymium; celui-ci se dédouble en néodymium et en praséodymium, lequel donne naissance, à son tour, aux dérivés α et β .

Sir Norman Lockyer, à qui nous devons la découverte de l'hélium dans le soleil, a montré que les spectres très compliqués de certains métaux usuels, le fer, par exemple, pouvaient se modifier entièrement et devenir beaucoup plus simples, en employant une source électrique de très grande énergie; il a constaté que les spectres simplifiés ainsi obtenus coïncidaient avec les spectres de la lumière de certains astres, et il les considère comme appartenant à des éléments nouveaux qui résultent de la désagrégation des anciens.

L'hélium, d'après son opinion, serait un des éléments constitutifs des atomes. Le spectre de ce gaz, ainsi que celui de l'hydrogène, prédomine dans les étoiles dont la température est la plus élevée. S'il s'agit d'étoiles à température moindre, on voit apparaître des types de matières plus complexes. L'influence de la température serait donc prépondérante (1).

La production de l'hélium, en partant du radium (voir p. 827), est un fait d'une importance considérable. Si l'on admet la destruction progressive de l'atome, il en résulte que l'hélium doit s'être accumulé dans les minéraux où le radium est disséminé, depuis l'époque à laquelle celui-ci prit naissance. Or, sa présence a été constatée dans ces minéraux, à l'exclusion de tous les autres. C'est ainsi que M. Ramsay a obtenu 3.5 centimètres cubes d'hélium par gramme en chauffant la thorianite, minéral radioactif nouvellement découvert aux Indes; le dégagement s'est

(1) LOCKYER, *Inorganic Evolution*.

élevé à 9.5 centimètres cubes, lorsque la substance avait été additionnée de bisulfate de potasse avant d'être chauffée. Dans les minéraux radioactifs, l'hélium ne se trouve pas à l'état de combinaison ; il est occlus, en quelque sorte, d'une façon qui concorde parfaitement avec sa formation progressive.

M. Soddy, se basant sur la présence constante de l'uranium dans tous les minéraux radioactifs, s'est demandé (*Nature*, 5 et 12 mai 1904) si, par suite de certaines transformations, il n'était pas admissible que le radium eût été engendré par l'uranium. Des dosages portant sur 1 kilog. d'azotate d'urane, effectués à une année d'intervalle, ont semblé démontrer la vraisemblance de cette opinion. Toutefois, eu égard aux difficultés que présentent ces déterminations, les quantités à doser étant particulièrement minimes, il serait intéressant de procéder à des expériences embrassant une période de plusieurs années. Dans le même ordre d'idées, M. Boltwood (Yale University, New-Haven) a examiné divers échantillons de minéraux radioactifs et a constaté que les quantités de radium qu'ils renfermaient étaient proportionnelles à leurs teneurs en uranium.

L'exposé qui précède montre combien est intéressante l'étude des phénomènes relatifs à la radioactivité et combien on peut espérer en déduire des résultats importants. Certains d'entre eux semblent ne pouvoir se concilier que bien difficilement avec l'état actuel de nos connaissances ; mais, ainsi que nous l'avons montré, la contradiction est peut-être plus apparente que réelle. Et qu'en terminant, il nous soit permis de rappeler cet aphorisme, dû à l'illustre Liebig : « Le secret de ceux qui font des découvertes, c'est qu'ils ne regardent rien comme impossible. »

ERRATA - ADDENDA

Page 6, ligne 8, *au lieu de M^{me} Curie, lire M. Becquerel.*

Page 17, ligne 8, *ajouter* : Il fut observé également par M. Becquerel, qui ignorait alors les recherches faites par M. Giesel, à cet égard.

Page 66, ligne 5 (bas). — La remarque relative à l'obtention d'uranium inerte, par M. Becquerel, est extraite de l'ouvrage intitulé *Radio-activity*, de M. Rutherford (p. 294).

M. Becquerel a bien voulu nous faire remarquer l'inexactitude de cette assertion. Il suffit de se reporter à la note publiée par l'éminent physicien, à ce sujet, pour constater aisément qu'il en est ainsi. Cette note conclut comme suit :

« . . . Ces expériences, qui demandent à être reprises »
» et complétées, ne permettent pas encore de décider si »
» l'uranium possède une activité propre ou si cette activité »
» est due à une substance étrangère qu'on pourrait enlever »
» en totalité, de manière à obtenir de l'uranium inactif. »
(*C. R.*, 1900, t. CXXXI, p: 138.)

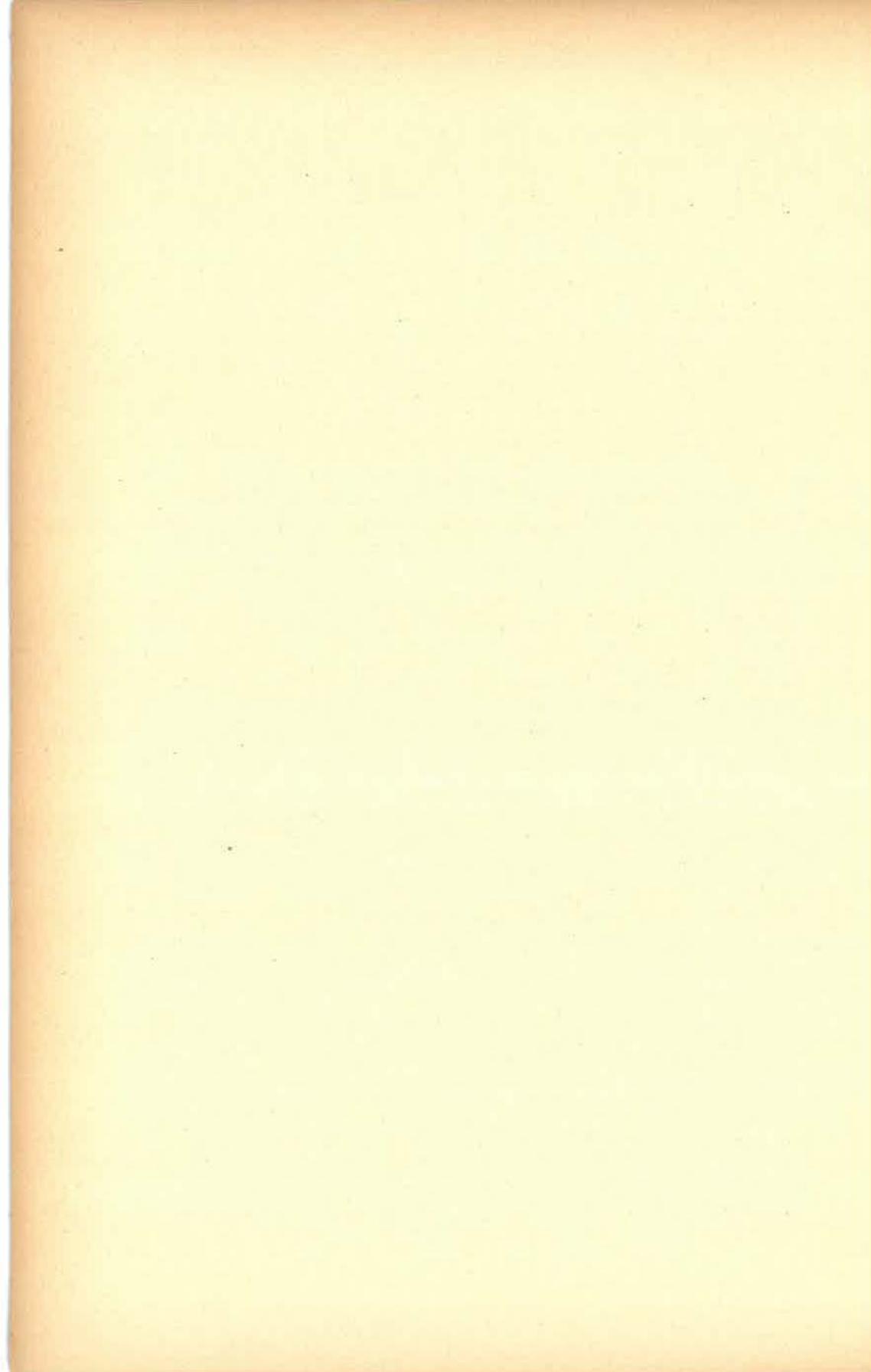


TABLE DES MATIÈRES

Introduction	795
CHAPITRE I ^{er} . — HISTORIQUE	
Recherches de M. Becquerel	799
Recherches de M. et M ^{me} Curie.	802
Polonium	803
Radium	
<i>Préparation</i>	804
<i>Prix</i>	806
Actinium	807
Autres substances radioactives	808
CHAPITRE II. — PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU RADIUM	
CHAPITRE III. — RAYONS DÉGAGÉS PAR LES SUBSTANCES RADIOACTIVES	
Rayons α	812
Rayons β	815
Rayons γ	817
Comparaison avec les rayons X	818
CHAPITRE IV. — ENERGIE DÉGAGÉE PAR LES SUBSTANCES RADIOACTIVES.	
Modifications de l'activité du radium	819
Energie chimique	
<i>Radiographie</i>	820
<i>Méthodes photographiques.</i>	822
<i>Action du radium sur des substances diverses</i>	825
<i>Gaz dégagés par le radium</i>	
<i>Hélium</i>	827
Energie électrique	827
<i>Ions.</i>	828
<i>Mesure de la radioactivité.</i>	828
<i>Mesure du potentiel de l'atmosphère</i>	832
<i>Conductibilité acquise par les gaz, les liquides et les solides</i>	836
<i>Étincelle électrique</i>	838

Energie lumineuse	
<i>Luminescence</i>	838
<i>Phosphorescence, fluorescence</i>	839
<i>Thermoluminescence</i>	842
<i>Colorations engendrées</i>	842
Energie calorifique	843
CHAPITRE V. — EMANATION DÉGAGÉE PAR LES SUBSTANCES RADIOACTIVES.	
Thorium	845
Radium	
<i>Loi de décroissement.</i>	847
<i>Propriétés radioactives</i>	848
<i>Stabilité</i>	849
<i>Diffusion</i>	850
<i>Action de la température</i>	850
<i>Nature de l'émanation</i>	851
Actinium.	852
CHAPITRE VI. — RADIOACTIVITÉ INDUITE 853	
Thorium.	854
Radium	855
Actinium et autres substances : rayons E	858
Induction au contact.	859
<i>Uranium X</i>	860
<i>Thorium X</i>	861
<i>Emanation X</i>	861
CHAPITRE VII. — RADIOACTIVITÉ DE L'ATMOSPHÈRE, DU SOL, AINSI QUE DES SUBSTANCES SOLIDES QUELCONQUES.	
Atmosphère	863
<i>Influences météorologiques</i>	864
<i>Pluie nouvellement tombée et neige</i>	865
Sol.	866
<i>Eaux des puits et des distributions</i>	867
<i>Eaux minérales</i>	868
La radioactivité est-elle une propriété générale de la matière ?	875
CHAPITRE VIII. — ACTION DES SUBSTANCES RADIOACTIVES SUR LES ORGANISMES VIVANTS OU SUR LEURS PRODUITS.	
Champignons inférieurs et plantes	880

Ferments, toxines et bactéries	880
Embryons et animaux inférieurs	882
Animaux supérieurs	882
Organisme humain	
<i>Epiderme</i>	885
<i>Organe de la vision</i>	887
<i>Actions physiologiques</i>	889
Applications thérapeuthiques	
<i>Affections cutanées</i>	890
<i>Action analgésiante du radium</i>	892
<i>Affections pulmonaires</i>	895
<i>Mesure de l'activité des substances actives</i>	897
<i>Boîtes et tubes destinés au transport du radium</i>	897
CHAPITRE IX. — ORIGINE DE L'ÉNERGIE ENGENDRÉE PAR LES SUBSTANCES RADIOACTIVES	900

ABRÉVIATIONS

<i>Ber. Chem.</i>	Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, Berlin.
<i>C. R.</i>	Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, Paris.
<i>Phil. Mag.</i>	Philosophical Magazine and Journal of Science, London.
<i>Phil. Trans.</i>	Philosophical Transactions of the Royal Society of London.
<i>Phys. Zeit.</i>	Physikalische Zeitschrift.
<i>Proc. Roy. Soc.</i>	Proceedings of the Royal Society of London.
