

LES ACTUALITÉS CHIMIQUES & BIOLOGIQUES

Publiées sous la direction de M. le Professeur POZZI ESCOT

N° 9

LA RADIO-ACTIVITÉ
DE
LA MATIÈRE

PAR

M.-Emm. POZZI-ESCOT



PARIS

LIBRAIRIE MÉDICALE ET SCIENTIFIQUE

JULES ROUSSET

Rue Casimir-Delavigne et 12, Rue Monsieur-le-Prince

1908

DERNIÈRES PUBLICATIONS DE L'AUTEUR

En vente chez Jules ROUSSET

TRAITÉ

DE

Physico-Chimie

Un magnifique volume grand in-8 carré de 800 pages
112 figures. Relié toile. Prix. 20 fr.

Librairie Polytechnique Ch. BÉRANGER, Éditeur, 15,
rue des Saints-Pères. — Paris.

Ce volume, qui est un des premiers traités de chimie physique publiés en France, offre un intérêt considérable pour tous aussi bien physiciens que chimistes, et biologistes que médecins. Chacun y puisera abondamment. Dans un magnifique éloge, le Président du VI^e Congrès International de Chimie, écrivait : « on voit combien est importante l'œuvre entreprise par notre distingué collègue et combien elle peut être utile aux chimistes ».

PRÉCIS DE CHIMIE-PHYSIQUE

Un volume in-8° de 250 pages, 38 figures, solidement relié
toile souple (1606). Prix. 6 fr.

En vente chez J. ROUSSET, 1, rue Casimir-Delavigne, Paris

Ce petit Traité a eu un magnifique succès; il est devenu classique. Plusieurs traductions en langue étrangère ont suivi à quelques jours l'édition française ! Avec une admirable clarté, l'auteur offre une mise au point élémentaire des données les plus ardues de la chimie physique. Ce livre intéresse tous ceux qui de près ou de loin s'occupent de chimie. Il est principalement écrit pour les étudiants des Facultés des Sciences ou de Médecine; mais les Chimistes, les Professeurs et tous ceux qui s'occupent de Chimie par goût ou par nécessités, y puiseront avec fruit mille choses qu'il n'est plus permis d'ignorer.

LES ACTUALITÉS CHIMIQUES & BIOLOGIQUES



N° 9



LA RADIO-ACTIVITÉ
DE LA MATIÈRE

I

ONT DÉJÀ PARU DANS CETTE COLLECTION

CHAQUE VOLUME PRIX 1 FR. 50, FRANCO

- I. *Phénomènes de Réduction dans les organismes.*
- II. *Mécanique chimique (fig.).*
- III. *Les Toxines, les Venins et leurs Anticorps (fig.).*
- IV. *Les Sérums Immunisants (fig.).*
- V. *Le Vieillissement artificiel des Vins et des Spiritueux (fig.).*
- VI. *Méthode de séro-diagnostic par les agglutinines.*
- VII. *Les Précipitines et leurs applications à la recherche médico-légale du sang (180 p.).*
- VIII. *Théories modernes sur la matière.*
- IX. *La Radio-activité de la matière.*
- X. *Synthèses dans le groupe de l'Indigo.*

EN PRÉPARATION :

- XI. *La Théorie des Ions et ses applications.*
 - XII. *La Constitution des Alcaloïdes et leur synthèse.*
 - XIII. *La Loi des Phases et ses applications.*
 - XIV. *Les Dérivés organométalliques dans la synthèse chimique.*
 - XV. *Le Noyau terpénique.*
 - XVI. *Distillation fractionnée et rectification.*
 - XVII. *Les Colloïdes et les substances colloïdales.*
 - XVIII. *Les Matières colorantes au soufre.*
-

LES ACTUALITÉS CHIMIQUES & BIOLOGIQUES

Publiées sous la direction de M. le Professeur POZZI-ESCOT

N° 9

LA RADIO-ACTIVITÉ

DE

LA MATIÈRE

PAR

M.-Emm. POZZI-ESCOT



PARIS

LIBRAIRIE MÉDICALE ET SCIENTIFIQUE

JULES ROUSSET

1, Rue Casimir-Delavigne et 12, Rue Monsieur-le-Prince

1908

*Tous droits de traduction et de reproduction
réservés dans tous les pays.*

All rights reserved

Pour la cession des droits de traduction s'adresser à
M. Jules Rousset, éditeur à Paris ou à M. le Professeur
Pozzi-Escot, Ministério de Fomento. Lima (Pérou).



M. le Professeur Pozzi-Escot

PRÉFACE

Depuis quelques années nos connaissances sur les propriétés de la matière brute ont été complètement modifiées ; la découverte de la radio-activité a ouvert une ère nouvelle à la chimie moléculaire. Cette branche nouvelle de la science, appartient à la fois au domaine de la chimie pure la plus élevée, et à celui de la physique moléculaire la plus abstraite. Elle est essentiellement française.

Dans un précédent volume de cette collection, nous avons cherché à donner un aperçu des idées modernes sur la constitution de la matière ; nous nous proposons de compléter ici, à un certain point de vue, ces idées générales en développant les faits relatifs à la radio-activité.

Il existe sur ce sujet, à l'étranger, quelques excellents traités. Quoique nous ne puissions avoir la prétention de suppléer dans ce petit opuscule à ces importantes publications, nous avons voulu essayer d'offrir quelques vues générales sur les théories qui relient entre eux ces phénomènes de radio-activité ; théories

qui sont à peine connues et que l'on n'enseigne guère, hélas, en nos Universités conservatrices.

Quoique ce sujet soit encore de date toute récente, nos connaissances sur cette question ont avancé avec une très grande rapidité; et l'on possède sur elle aujourd'hui, épars dans un grand nombre de recueils, une masse considérable de matériaux. Nous avons voulu donner une brève et exacte synthèse de ces faits en les reliant par une théorie générale.

La découverte des éléments radio-actifs, effectuée par M. et M^{me} CURIE, a beaucoup contribué à l'extension de nos connaissances en faisant passer les phénomènes de radio-activité de la région des effets infinitésimaux qui en avaient marqué le début, dans une région où ils deviennent facilement accessibles à nos moyens actuels d'investigation. Plus tard, les recherches du professeur RUTHERFORD, effectuées avec le thorium, élément minéral, qui, à l'exemple de l'uranium jouit d'une radio-activité si faible qu'on a pu connaître ce métal pendant plus d'un siècle sans soupçonner ses propriétés, dégagèrent la voie, et permirent d'élaborer une théorie générale et complète de la cause et de la nature de ces nouvelles propriétés.

Nous avons déjà vu cette théorie ailleurs, sous le nom de théorie de la désintégration moléculaire; nous y insisterons particulièrement ici, car elle nous paraît essentielle pour permettre de se diriger sans erreurs dans la complexité si grande de ces phénomènes nouveaux, et de grouper d'une manière intelligible la masse de faits expérimentaux qui ont été accumulés.

La théorie de la désintégration moléculaire mérite à ce point de vue une mention toute spéciale, car non seulement elle permet de relier entre eux les faits connus, mais aussi elle suggère de nouvelles recherches.

L'étude de la radio-activité doit tenir également un très grand compte du phénomène d'ionisation des gaz que nous avons vu précédemment ; et nous aurons à rappeler souvent à cette occasion les faits qui ont été exposés ailleurs.

Puisse ce petit livre — dans lequel on trouvera bien des faits empruntés à RUTHERFORD et à SONNY, — rencontrer auprès du public désireux de connaître les merveilleuses harmonies de la nature et la puissance du génie scientifique de l'homme, le même accueil que ses devanciers de cette collection. Ce sera notre meilleure récompense !

LIMA, juillet 1907.

(PÉROU, Amérique du Sud.)

*Le texte de ce petit volume est Extrait de Conférences faites à la
Faculté des Sciences de l'Universidad Mayor de San-Marcos.*

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE.	7
Table des Matières.	11
CHAPITRE PREMIER	
INTRODUCTION. Vue générale sur la radio-activité.	13
CHAPITRE II	
Les éléments radio-actifs.	19
CHAPITRE III	
Méthodes de recherches et de mesure.	36
CHAPITRE IV	
Etude des radiations des matières radio-actives.	49
CHAPITRE V	
Les substances X.	68
CHAPITRE VI	
L'émanation radio-activo.	74

CHAPITRE VII

La radio-activité induite,	81
----------------------------------	----

CHAPITRE VIII

L'évolution des corps radio-actifs,	86
---	----

CHAPITRE IX

L'énergie en jeu dans les phénomènes radio-actifs,	92
--	----

CHAPITRE X

Nature du processus de radio-activité,	97
CONCLUSIONS,	107

CHAPITRE PREMIER

INTRODUCTION

Vue générale sur la radio-activité

Le terme radio-activité sert à désigner une propriété particulière propre à une classe déterminée de substances, telles que l'uranium, le thorium et leurs composés, et dont le caractère fondamental est d'émettre spontanément des radiations capables de traverser les substances opaques à la lumière ordinaire. Ces radiations émises par les substances radio-actives, jouissent, d'autre part, de la propriété d'agir sur la plaque photographique sensible, et de décharger les corps électrisés. Les corps fortement radio-actifs, comme le radium, sont susceptibles, en outre, de communiquer une phosphorescence et une fluorescence très considérables à certaines substances placées dans leur voisinage.

Cette émission spontanée et continue de radiations énergétiques à une vitesse constante et sans le secours d'aucune source extérieure, est une propriété très nettement caractéristique ; et si extraordinaire, que ce phé-

nomène semble à première vue être en contradiction formelle avec les lois de la thermo-dynamique.

Les premières recherches sur ces corps ont été effectuées par M. BECQUEREL en 1896. En étudiant les propriétés des rayons cathodiques et des rayons X, on avait mis en évidence que ces derniers se forment au contact de la paroi de verre phosphorescente ; et l'on en avait induit *a priori* que peut-être, dans tous les phénomènes de phosphorescence, il y avait production de rayons pénétrants de cet ordre. La vérification expérimentale de cette hypothèse, entreprise par BECQUEREL, conduisit à la rejeter ; et simultanément, amena la découverte de la propriété nouvelle de la radio-activité.

Cet ensemble de découvertes se trouve donc relié d'une façon très étroite aux travaux antérieurs de CROOKES, LÉNARD et ROENTGEN, que nous avons exposés ailleurs.

Nous savons déjà quelles sont les acceptions du terme de radiation, qui s'emploie pour indiquer une influence transmise d'une façon radiante, d'une source aux objets qui l'entourent ; ces radiations étant capables de traverser les espaces libres sans avoir besoin pour cela d'un temps perceptible dans les conditions ordinaires : telle la transmission de la lumière.

A ce point de vue, NEWTON fut le premier à reconnaître les difficultés de la théorie, et les objections qu'on peut lui faire. De là est née sa théorie corpusculaire. Nous savons qu'elle est sans valeur dans le cas de la lumière, mais qu'elle s'applique, au contraire, d'une

façon remarquable aux phénomènes de radio-activité. Pour la lumière, on a mis en évidence qu'il y a, à côté de la matière, quelque chose d'autre, susceptible de mouvement : l'éther, substance impondérable qui, emplissant le monde, sert de médium à la transmission du mouvement à travers les espaces inter-planétaires.

Nous avons vu que cette théorie ondulatoire a trouvé un appui de très grande valeur dans les expériences récentes, et qu'elle a reçu une extension considérable.

MAXWEL a montré que ce mouvement ondulatoire a une origine électrique ; et sa théorie électro-magnétique de la lumière, qui repose sur les phénomènes de l'induction électro-magnétique de FARADAY, a eu une influence énorme sur l'extension de nos connaissances dans ce domaine.

Ce sont là encore des découvertes récentes ; c'est en 1888, en effet, que HERTZ parvint à donner une vérification expérimentale de ces hypothèses en produisant des ondulations électro-magnétiques, voisines des ondes lumineuses, à l'aide de la décharge oscillatoire d'une batterie de bouteilles de Leyde.

Mais nous avons montré que les ondulations électro-magnétiques, c'est-à-dire le mode ondulatoire, est bien loin d'être le seul existant dans la nature. Les rayons auxquels nous allons avoir affaire maintenant sont de nature tout à fait différente, et réalisent la conception primitive de NEWTON ; de telle sorte que l'expression de radiation s'applique à deux phénomènes fondamentalement distincts.

Pour expliquer la nature de cette radiation CROOKES, qui découvrit qu'elle était la cause du rayonnement dans le tube qui porte son nom, admit qu'elle représente un quatrième état de la matière, état extrêmement dilué et auquel il a donné le nom d'état ultra-gazeux, ou d'état radiant de la matière. Dans cette hypothèse, l'effet des rayons cathodiques serait dû à des particules de la matière cathodique pourvues d'une charge électrique, et acquérant, sous l'influence du champ électrique une rapidité et une énergie cinétique extrêmes.

Nous avons vu ailleurs que ces particules de matière sont plus petites que des atomes ; et qu'il semble même, qu'elles soient au propre des charges d'électricité négative.

On sait que les rayons cathodiques ou de CROOKES, en frappant un objet solide, donnent naissance à des rayons nouveaux, découverts par ROENTGEN, en 1894, et connus sous le nom de rayons X. Les rayons X sont engendrés par des vibrations électro-magnétiques qui résultent du choc des particules constituant les rayons cathodiques sur un corps solide, la paroi de verre du tube, ou bien la cathode elle-même.

Les rayons X sont donc absolument analogues aux rayons lumineux. Ils sont beaucoup plus pénétrants que les rayons cathodiques, mais cette différence est une différence de degré et non d'espèce ou de nature.

Les rayons cathodiques jouissent, dans une certaine limite, des mêmes propriétés que les rayons X. Nous avons insisté ailleurs sur ces propriétés, en montrant

qu'au point de vue de la pénétrabilité des corps opaques à la lumière ordinaire par les rayons X, tous les corps sont également opaques ou également transparents, si on les considère sous des poids égaux ; pour une épaisseur identique, l'absorption est rigoureusement proportionnelle à la densité.

A l'époque de leur découverte, l'étude de ces rayons passionna le monde savant ; et de nombreuses hypothèses furent faites pour expliquer leur nature et leur origine. POINCARÉ notamment suggéra l'idée que la production de ces rayons X pourrait bien être un effet général de la fluorescence, dont l'étude avait été d'abord négligée.

Cette idée fut suivie par BECQUEREL, qui examina à ce point de vue les composés uraniques fluorescents. Sa méthode consistait à placer une barre du sel considéré au-dessus d'une plaque photographique soigneusement enveloppée dans des matériaux opaques, de façon à la protéger complètement de l'action directe de la lumière ; puis à exposer le sel à l'action directe de la lumière solaire, de façon à le rendre fluorescent.

L'expérience fut concluante ; et en poursuivant ses essais, il constata bientôt que l'exposition au soleil n'est pas absolument nécessaire ; et qu'on peut arriver au même résultat en opérant dans la plus profonde obscurité, même si le sel d'urane utilisé n'a jamais été exposé à la lumière ; et enfin, qu'il s'agit d'une propriété nouvelle de l'élément uranium, propriété essentiellement atomique et indépendante de la fluores-

cence (1). C'est à cette propriété qu'on a donné le nom de radio-activité.

Les rayons émis par ces substances, et en particulier par l'uranium, se rapprochent beaucoup, dans une première approximation, des radiations constituant les rayons X ; ils pénètrent la matière opaque, ionisent les gaz, et excitent la fluorescence. Mais nous verrons plus loin, qu'il ne s'agit pas d'une radiation unique, et que l'émission radiante des corps radio-actifs est complexe.

1. C. R., t. CXXII, 420, 501, 559, 609, 762. 1.086.

CHAPITRE II

LES ÉLÉMENTS RADIO-ACTIFS

Peu de temps après la découverte de la radio-activité de l'uranium par M. BECQUEREL, un grand nombre de savants au premier rang desquels se trouvent M. et M^{me} CURIE, effectuèrent des recherches dans cette voie : recherches qui furent couronnées d'espérés succès, et qui mirent au jour l'existence d'au moins cinq éléments radio-actifs ; ce sont : l'uranium déjà vu, le thorium, le radium, le pollonium et l'actinium. Il semble que l'activité des deux derniers n'ait qu'une durée limitée ; tandis que celle des trois premiers paraît être permanente, ou devoir tout au moins durer plusieurs siècles.

Ces corps présentent des particularités spécifiques quant à la radio-activité qu'ils émettent (1) ; de telle sorte qu'il est impossible que la radio-activité de deux quelconques d'entre eux soit causée par la présence, même en petite quantité, de la même substance qui serait le générateur radio-actif.

D'autre part, certains de ces corps émettent une

1. RUTHERFORD et M^{me} BROOKS. *Phil. Mag.*, VI, 4, p. 1.

substance gazeuse, l'émanation qui possède une radio-activité souvent énorme. Ces émanations diffèrent entre elles, par la durée de leur existence, et par l'activité de leurs radiations. Ainsi l'émanation du radium se conserve pendant plusieurs semaines ; celle du thorium ne dure que quelques minutes, et celle de l'actinium à peine quelques secondes.

On a cru pendant quelque temps que la radio-activité du thorium est due à une faible quantité d'actinium, élément qui est très voisin quant à ses propriétés atomiques ; mais une étude attentive a montré que cette affirmation est insoutenable ; néanmoins, des recherches récentes de HOFMANN et ZERBAN (1), et de BASKEWILLE (2), semblent avoir prouvé que le thorium n'est pas radio-actif par lui-même, et qu'il doit sa radio-activité à une trace d'un élément radio-actif inconnu jusqu'ici, et différent de ceux connus. Quoi qu'il en soit, nous continuerons ici, avec cette réserve, à étudier la radio-activité du thorium comme si elle lui appartenait en propre.

Il faut noter enfin, que le plomb isolé de la pitchblende est très actif ; on lui a donné le nom de plomb radio-actif. Il semble tout à fait établi que la radio-activité, dans ce cas, n'appartient pas au plomb lui-même (3) mais qu'elle est le fait d'un mélange de

1. HOFMANN et ZERBAN, *Ber. d. D. Chim., Ges.* n° 12, 309, 1903.

2. BASKEWILLE et ZERBAN, *Amer. Chim. Soc.*, 29, 1642, 1904.

3. HOFMANN et STRAUSS, *Ber. d. D. Chem. Ges.*, 3055, 1901.

substances radio-actives. On n'est pas encore arrivé à isoler ces constituants (1).

Uranium. — Nous avons vu comment la radio-activité de ce corps fut découverte en 1896, par M. H. BECQUEREL, qui lui attribua une nature atomique et spécifique à l'uranium lui-même. M. CURIE a fait des déterminations de l'activité radio-active de l'uranium à l'aide d'une méthode qui sera décrite plus loin ; et il lui a été impossible de mettre en évidence aucune variation de celle-ci dans un intervalle de cinq années.

Du moment que l'uranium émet continuellement de l'énergie, on peut se demander s'il n'existe pas quelque moyen d'agir sur la plus ou moins grande vitesse de cette émission ? Jusqu'ici toutes les tentatives faites dans cette voie sont demeurées infructueuses.

Le rayonnement de l'uranium, à l'exemple des rayons RÖNTGEN, jouit de la propriété de charger les corps électrisés (2) ; et RUTHERFORD (3) a montré que cette propriété est due à une ionisation des gaz. Cette propriété a acquis maintenant une importance exceptionnelle pour la recherche des substances radio-actives, comme nous le montrerons plus loin.

Evidemment, les rayons issus de l'uranium ont une très grande faiblesse, si on les compare aux rayons

1. HOFMANN, GOUDER et WOLF. *Annals phys.*, n° 1, 13, p. 615. 1904. GIESEL. *Ber. d. D. Chim. Ges.*, 3775, 1901.

2. SMOLAN ET BEATTEE. *Phil. Mag.*, 43, p. 418, 1897.

3. RUTHERFORD. *Phil. Mag. Jan.*, 1899.

d'un tube de CROOKES ou de ROENTGEN ; mais ils n'en restent pas moins tout à fait comparables.

Mais les radiations de l'uranium ne sont pas simples ; on montre facilement que dans un tel faisceau, il existe des radiations déviables par un aimant, et d'autres également déviables, mais qui sont absorbées par une couche de plusieurs feuilles métalliques très minces, ou même par quelques centimètres d'air. Enfin, il y a aussi émission d'un autre type de radiations jouissant d'une très grande pénétration, non déviables par le champ magnétique.

Thorium. — La radio-activité du thorium a été mise en évidence simultanément et d'une façon indépendante par SCHMIDT et par M^{me} CURIE. Le rayonnement émis par le thorium ressemble beaucoup à celui de l'uranium ; et les composés uraniques jouissent, à peu de chose près, de la même puissance que les composés du thorium.

Vis-à-vis de son action sur une plaque photographique sensible, le thorium se montre plusieurs fois moins actif que l'uranium. OWENS (1) a montré que l'oxyde de thorium en couche épaisse provoque la conductibilité des gaz quand on le recouvre d'une forte épaisseur de papier, et que cette conductivité peut être grandement modifiée en faisant passer un courant d'air dans le gaz (2). Et, en examinant ce phénomène, RUTHERFORD a signalé que les composés du thorium émettent une émanation matérielle for-

1. OWENS. *Phil. Mag.*, oct., 1899.

2. RUTHERFORD, *Phil. Mag.*, Jan., 1900.

mée de très petites particules, elles-mêmes radio-actives, et cette émanation se conduit comme un gaz radio-actif.

Nouveaux éléments radio-actifs. — En poursuivant ses recherches sur l'uranium et ses minerais, M^{me} CURIE observa que certains minerais d'uranium et de thorium, et en particulier de pechblende, se trouvent être plusieurs fois plus actifs que l'uranium, ou qu'aucun des sels de ce métal.

M^{me} CURIE fut amenée à se demander de la sorte, si un minerai artificiel préparé avec des matériaux purs, présenterait une plus grande activité que ses propres matériaux composants, et si l'excès d'activité des minerais pouvait être attribué à leur état de complication.

Ayant ainsi préparé de la chalcocite artificielle, l'expérience lui montra que cette préparation jouissait d'un pouvoir radio-actif correspondant à sa composition, et plus de cinq fois supérieur à celui du minerai naturel.

Il semblait, dès lors, probable que la grande activité de certains minerais se trouvait due à la présence d'une quantité plus ou moins grande d'une substance très active, différente de l'uranium et du thorium.

Cette hypothèse fut complètement vérifiée par l'expérience ; et M. et M^{me} CURIE parvinrent à séparer de la pechblende par des méthodes purement chimiques, deux corps très radio-actifs.

On donna d'abord à ces préparations radio-actives le nom de « bismuth radio-actif » et de « baryum radio-actif » pour rappeler leur similitude de proprié-

tés avec ces deux éléments ; mais plus tard, quand il devint évident que leur activité ne pouvait être due qu'à la présence de nouveaux éléments, on leur donna respectivement le nom de *pollonium* et de *radium*.

Cette importante découverte n'a pu être réalisée qu'en s'appuyant uniquement sur les propriétés radio-actives de ces deux substances nouvelles. Le seul guide, dans leur séparation, fut l'activité du produit obtenu. La méthode suivie consistait à examiner la radio-activité relative des produits, après chaque traitement chimique. On voyait, de cette façon, si l'activité était confinée dans l'un ou dans l'autre des produits, ou bien dans quel rapport s'effectuait la division entre les deux produits.

L'activité des échantillons servait ainsi de base à une méthode d'analyse qualitative et quantitative, analogue à quelques égards à la méthode spectroscopique. Pour obtenir des chiffres comparables, il fut nécessaire d'essayer tous les produits à l'état sec. La principale difficulté réside en ce fait que la pechblende est un minerai très complexe, qui renferme presque tous les éléments.

Radium. — Le radium est l'un des deux éléments radio-actifs définis, extraits de la pechblende. Il se précipite de ce minerai avec le baryum. Quand on précipite le baryum à l'état de chlorure, par l'acide chlorhydrique et l'alcool, et qu'on opère des cristallisations successives, le radium se concentre dans les dernières portions cristallisées ; et c'est ainsi que M. et

M^{me} CURIE et leur préparateur S. BÉMONT (1) sont parvenus à l'isoler.

Le chlorure de radium est moins soluble que le chlorure de baryum, et peut en être séparé par une cristallisation fractionnée. Après un grand nombre de précipitations, le radium peut être à peu près complètement séparé du baryum.

Le radium et le pollonium n'existent qu'en quantité infinitésimale dans la pechblende ; et pour obtenir quelques décigrammes de chlorure actif, il est nécessaire de mettre en œuvre des tonnes entières de minerai. Comme on le conçoit facilement, la méthode suivie est des plus pénibles.

La voici, telle que l'a décrite M^{me} CURIE dans sa thèse. Le minerai d'urane provenant de Joachimsthal, est calciné avec du carbonate de sodium pour en extraire l'uranium ; lavé à l'eau pure, d'abord, puis à l'acide sulfurique dilué. Il reste un résidu insoluble, de composition fort complexe, mais quatre fois plus actif que le produit initial. On le soumet à l'ébullition avec une solution concentrée de carbonate de soude, de façon à éliminer les sulfates sous forme de sulfate de soude soluble ; seul, le sulfate de radium reste inattaqué. On traite par l'acide chlorhydrique, qui élimine tout, sauf le sulfate de radium.

On soumet ce résidu à de nouveaux lavages, et à de nouveaux traitements au carbonate de soude bouillant, de façon à désagréger même le sulfate de radium ; on

1. C. R. de l'Ac. des Sc., t. CXXVII, p. 1215, 1898.

lave, et on reprend par l'acide chlorhydrique ; et on précipite la solution par l'acide sulfurique. On obtient ainsi, avec une tonne de minerai, de 10 à 20 kilogrammes de sulfates impurs, environ soixante fois plus actifs que l'uranium.

Ces sulfates renferment encore du calcium, du plomb, du fer, et une trace d'éléments radio-actifs autres que le radium. On les transforme de nouveau en chlorures en suivant la même série d'opérations que celle qui vient d'être exposée ; la solution est précipitée par un courant d'hydrogène sulfuré ; on oxyde par du chlore, et on précipite par l'ammoniaque. On précipite le filtrat par du carbonate de sodium, et le précipité est converti en chlorures ; évaporé à sec ; et les chlorures sont lavés avec une solution concentrée d'acide chlorhydrique, ce qui permet d'éliminer le chlorure de calcium. On obtient ainsi environ 8 kilogrammes de chlorure de baryum et de radium par tonne de minerai. Jusqu'à présent, on a opéré en quelque sorte industriellement ; on entre maintenant dans les limites du travail de laboratoire.

La méthode de séparation et de fractionnement employée repose sur le fait suivant : Si l'on fait une solution sursaturée bouillante du mélange de chlorures, et qu'on abandonne le tout à la cristallisation, la fraction qui cristallise en premier lieu est cinq fois plus active que celle qui reste en solution. En répétant cette opération un certain nombre de fois, on finit par obtenir deux parties distinctes du mélange ; l'une, à peine deux fois plus active que l'uranium, et

l'autre, dont la masse diminue à chaque opération, mais dont l'activité va en croissant sans cesse. A mesure qu'on progresse dans ce travail de fractionnement, il convient de prendre comme solvant, de l'eau, de plus en plus acidulée par de l'acide chlorhydrique. Les sels sont moins solubles dans ces conditions que dans l'eau. Quand la proportion de chlorure de radium mélangé au chlorure de baryum arrive à un certain état de concentration, les cristaux mixtes qui se déposent se colorent au bout de quelques heures ; la coloration disparaît quand on dissout le sel dans l'eau. Pour une certaine proportion de radium, on obtient une coloration maxima ; puis, à partir de ce moment, l'intensité de la coloration diminue, à mesure que la concentration du radium augmente. C'est là un critérium caractéristique de l'opération du fractionnement. GIESEL (1) a amélioré cette méthode d'extraction en utilisant les bromures au lieu des chlorures. Suivant lui, il suffirait de huit cristallisations fractionnées successives pour éliminer la majeure partie du bromure de baryum soluble, et pour obtenir du bromure de radium presque pur. Mais il semble à peu près certain que pour obtenir du radium aussi pur que celui de CURIE, il faudrait un plus grand nombre de cristallisations. Suivant GIESEL, encore, les sels de radium colorent la flamme en un pur carmin très utile pour suivre les progrès de la purification. On voit que le

1. *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, 1902, p. 3609.

radium se rapproche, par cette propriété, des terres alcalines, qui donnent généralement une coloration caractéristique à la flamme incolore d'un brûleur Bünzen (1).

Spectre du radium. — L'étude du spectre du radium a eu une grande influence sur la caractérisation de ce nouvel élément, et sur sa distinction d'avec le baryum, dont on aurait pu croire, au début, qu'il était une modification d'une nature particulière.

Cet examen spectroscopique a été effectué, à la demande de CURIE par M. DEMARÇAY (2), et il résulte des essais de ce savant, que le spectre du radium est bien le spectre d'un élément nouveau, et qu'on y découvre des raies nouvelles et caractéristiques, notamment dans l'ultra violet. Avec un sel très pur, les raies de baryum disparaissent entièrement ; les plus intenses de ces raies ont les longueurs d'ondes suivantes, en unités d'ANGSTROM : 4826.3 ; 4683,0 ; 4340.5 ; 3814.17 ; 3649.6. Ces observations ont été confirmées et étendues par RUNGE (3), EXNEO et HASCHER (4), CROOKES (5), RUNGE et PRECHT (6). Quoique DEMARÇAY ait placé le radium au nombre des éléments qui jouissent de la plus grande sensibilité spectroscopique, il résulte des

1. GIESEL. *Phys. Zeit.* 3, n° 24, p. 578, 1902.

2. C. R. t. 127, p. 1218, 1898 ; t. 129, p. 716, 1899 ; t. 131, p. 258, 1900.

3. *Astrophys. Journal*, p. 1, 1900. *Ann. Phys.*, 10, 407, 1903.

4. *Wien Ber.*, juillet 1901.

5. *Proc. Roy. Soc.*, 72, p. 295, 1904.

6. *Ann. d. Phys.*, XLV, 2, p. 418, 1904.

essais de STRUTT (1) que l'essai spectroscopique est 150.000 fois moins sensible que l'essai de radio-activité.

Poids atomique. — Le poids atomique du radium a été déterminé par M^{me} CURIE, et fixé d'après ses recherches à 225, le radium étant bivalent. Cette valeur a été contestée par RUNGE et PRECHT (2), qui ont déduit, d'observations spectroscopiques, la valeur 225. Par la même méthode, MARSHALL WATTS (3) aurait vérifié le chiffre de M^{me} CURIE. Si l'on s'en rapporte aussi à des déductions tirées de la loi périodique de MENDÉLÉEFF, on est également conduit à adopter comme bon le chiffre expérimentalement déterminé par M^{me} CURIE, à l'aide de la méthode classique. Cette valeur place, en effet, le radium au troisième rang des éléments groupés par ordre décroissant de leur poids atomique, les deux plus lourds étant deux autres éléments radio-actifs, le thorium 232, et l'uranium 238. Il n'y a pas là, évidemment, une coïncidence fortuite ; et il est évident que le fait que les trois seuls éléments radio-actifs connus soient aussi les trois ayant le poids atomique le plus élevé, à une grande importance.

Contrairement à tout ce qui tendrait à lui faire occuper une place nettement définie dans la table périodique, comme élément normalement défini, le radium jouit d'un ensemble de propriétés absolument sans

1. STRUTT. *Phil. Mag.*, VI, p. 683, 5, 1903.

2. *Phil. Mag.*, avril 1903.

3. *Phil. Mag.*, juillet 1903, août 1904.

analogues dans l'histoire des individualités chimiques, et qui en font l'une des substances les plus extraordinaires que l'on connaisse.

Ces propriétés sont, les unes l'attribut exclusif de la radio-activité, et les autres, communes à la matière en général. Les éléments radio-actifs ont donc une double nature suivant celles de leurs propriétés que l'on envisage, propriétés purement matérielles, et propriétés radio-actives.

Au moment de leur préparation, les sels de radium sont en tous points comparables aux sels de baryum, mais ils se colorent graduellement avec le temps. Ils ont, à peu de chose près, les mêmes propriétés chimiques, sauf que le chlorure et le bromure sont moins solubles. Ils sont, du reste, tous phosphorescents, et colorent en peu de temps le verre des vases qui les renferment.

Sources du radium. — Le radium n'a été trouvé jusqu'ici que dans les minerais uranifères ; et il est bien peu de ces minerais qui en contiennent une quantité suffisante pour rendre son extraction rémunératrice.

C'est ainsi que la pechblende de Corvisch renferme à peine le cinquième de radium de la pechblende de Joachimsthal. C'est cette dernière qui fournit actuellement la presque totalité du radium. Suivant GIESEL on pourrait extraire 0 gr. 250 de bromure de radium pur par tonne de minerai résiduaire, après l'extraction de l'uranium.

Vue générale sur le rayonnement du

radium. — Il est intéressant d'anticiper un peu ici sur ce qui sera dit au chapitre IV sur le rayonnement des substances radio-actives, et d'examiner le rayonnement du radium.

Par suite de son extrême activité, les radiations émises même par quelques milligrammes de radium, ont une très grande puissance, et suffisent à illuminer brillamment un écran de sulfure de zinc placé à peu de distance ; ou bien encore, à provoquer une magnifique fluorescence sur un écran de platino-cyanure de baryum. Un électroscope est déchargé instantanément ; et une plaque photographique placée à un mètre est immédiatement influencée.

Les radiations du radium sont analogues à celles de l'uranium ; on y distingue trois sortes de rayons distincts ; les uns facilement absorbés, les autres assez pénétrants, et enfin, des rayons très pénétrants.

Le radium donne aussi une émanation analogue à celle du thorium, mais dont l'activité a une durée beaucoup plus grande et persiste plusieurs semaines. Les rayons les plus pénétrants du radium peuvent illuminer un écran de platino-cyanure de baryum, même après avoir traversé plusieurs centimètres de plomb.

CURIE et LABORDE ont montré que, grâce à leur énergie, les rayons du radium ont pour effet de maintenir la température du composé qui les émet à plusieurs degrés au-dessus de la température ambiante ; et ils ont calculé qu'un gramme de radium donne plus de 100 gramme-calories par heure ; de telle

façon que le radium dégage en une heure suffisamment de chaleur pour élever son poids d'eau de la température de la glace fondante à celle de l'eau en ébullition.

Parmi les autres actions dues au rayonnement du radium, nous signalerons la décomposition de l'eau en ses éléments ; il y a également une foule de décompositions chimiques que nous étudierons ailleurs.

Actinium. — L'actinium a été découvert par DEBIERNE (1) dans les matériaux du groupe du fer précipités par l'ammoniaque au cours du traitement de la pechblende pour en extraire le radium. L'actinium semble très voisin du thorium, quoique son activité soit plusieurs milliers de fois supérieure. DEMARÇAY a montré, en effet, que les préparations d'actinium sont formées en majeure partie de thorium.

GIESEL (2), de son côté a signalé une substance extraite de la pechblende, et qui paraît être identique à l'actinium (3). Suivant GIESEL, ce corps appartiendrait au groupe des terres cériques, et se trouverait allié au lauthane de la même façon que le radium est allié au baryum. Les préparations de GIESEL étaient mille fois plus actives que les plus actives préparations de radium.

La propriété la plus caractéristique de l'actinium est d'émettre une émanation à vie très courte. Dans l'air tranquille, l'effet radio-actif de l'émanation se

1. C. R., t. CXXIX, p. 593, et t. CXXX, p. 906.

2. *Berichte*, 1902, p. 3608 et *Chem. News*, 1903, p. 95.

3. DEBIERNE. 1904. C. R., t. CXXXIX, p. 538.

trouve limité à quelques centimètres de la matière active elle-même, l'émanation ne pouvant diffuser qu'à une faible distance avant de perdre sa radio-activité. Les préparations très radio-actives semblent entourées d'une gaine très lumineuse due à l'émanation. Ces préparations sont souvent assez lumineuses pour être examinées au spectroscope ; on y trouve alors un certain nombre de raies brillantes (1).

L'individualité de l'actinium, mise en doute pendant un certain temps, semble aujourd'hui absolument certaine et ce corps paraît jouir d'une excessive activité.

Pollonium. — Nous avons vu précédemment que le pollonium a été la première des substances actives trouvées dans la pechblende par M^{me} CURIE (2). On l'obtient en dissolvant la pechblende en solution acide et en précipitant la solution par l'hydrogène sulfuré. On sépare les impuretés et l'on obtient le pollonium uni au bismuth d'une façon si étroite qu'on n'a pu encore en effectuer la séparation complète, malgré de nombreuses tentatives ayant comme point de départ une sublimation dans le vide, ou des précipitations fractionnées.

Le pollonium se distingue des autres substances radio-actives de différentes façons. D'abord, il ne donne que des rayons très facilement absorbables, et dans lesquels manquent les radiations pénétrantes du radium, du thorium et de l'uranium. D'autre part, son activité

1. HARTMANN. *Phys. Zeit.*, 5, n° 18, p. 570, 1904.

2. M^{me} CURIE. C. R. CXXVII, p. 175, 1898.

n'est pas constante, mais diminue d'une façon continue avec le temps. Dans quelques cas, l'activité tombe à la moitié de sa valeur en six mois. CROOKES (1) et BERNDT (2) qui l'ont examiné au spectroscope ont signalé des raies particulières.

MARKWALD (3) a réussi à obtenir le pollonium sous une forme nouvelle et beaucoup plus stable que celle de M. CURIE. Il a remarqué qu'en introduisant des cylindres de bismuth ou d'antimoine dans les solutions de chlorure de bismuth actives, on obtient sur ceux-ci un dépôt brun pulvérulent qui détient toute l'activité de la solution.

La substance active ainsi séparée est formée principalement de tellure, et MARKWALD lui a donné pour cette raison, le nom de radio-tellure ; il a trouvé ultérieurement qu'on peut isoler la substance radio-active du tellure (4) ; et dans cette voie 2.000 kilogrammes de pechblende ont donné 4 milligrammes de substance pulvérulente extrêmement active. A titre d'exemple et pour fixer les idées sur cette extraordinaire activité, suivant MARKWALD, 1/100 de milligramme de pollonium suffit à illuminer un écran de sulfure de zinc, de telle façon qu'il puisse être vu par un auditoire de plusieurs centaines de personnes.

On a beaucoup discuté sur l'identité ou la non-identité du pollonium et de la substance radio-active de

1. CROOKES. *Proc. Roy. Society*, mai 1900.

2. BERNDT. *Phys. Zeit.*, p. 180, 2. 1900.

3. *Phys. Zeit.*, 4, n° 16, p. 51. *B. der. D. Ch. Gesels.*, 1902 n° 2285.

4. *Ber. d. D. Chem. Gesels.*, p. 2662, n° 12, 1903.

M^{me} CURIE. Il semble que ces deux préparations soient néanmoins entièrement identiques (1).

En supposant que le pollonium soit un élément nouveau, la méthode analytique de MARKWALD établit un record dans l'achèvement des méthodes de la chimie analytique, jusqu'alors détenu par la méthode de séparation du Xénon imaginée par RAMSAY et TRAVERS.

REMARQUE

On voit que les corps radio-actifs sont des substances ayant toutes un poids atomique élevé. Il est probable que s'il existait un élément plus lourd que l'uranium, il serait radio-actif lui-même aussi. Jusqu'ici nos recherches sont très limitées par la nouveauté du sujet et l'insuffisance temporaire de nos moyens de recherches. Il est probable que dans un avenir prochain, on augmentera beaucoup le nombre des substances radio-actives connues.

1. *Nature*, Londres, 1904, p. 461.

CHAPITRE III

MÉTHODES DE RECHERCHES ET DE MESURE

On a proposé trois méthodes de recherches générales des radiations des corps radio-actifs ; ce sont :

1° L'action exercée sur une plaque photographique simple ;

2° L'action ionisante sur les gaz, et la détermination de l'ionisation : ce sont les méthodes de mesure électrique ;

3° Phénomènes de fluorescence produits sur un écran de platino-cyanure de baryum, ou de sulfure de zinc.

Ces méthodes sont d'importance très inégale. La méthode électrique convient seule pour les recherches quantitatives ; elle est très générale, très rapide, et c'est certainement celle que l'on doit préférer.

La méthode photographique a été utilisée sur une très large échelle, au début ; mais elle a graduellement cédé le pas à la méthode électrique ; on l'utilise encore pour des mesures de comparaison, et là où une grande exactitude n'est pas de rigueur ; les principales des

expériences de BECQUEREL ont été faites de cette façon. On doit noter que dans les recherches à l'aide de ces procédés photographiques, il faut souvent une exposition de longue durée qui peut demander même plus d'un jour. Dans ces conditions, d'autres causes peuvent agir, ainsi que l'a d'abord signalé J. RUSSEL.

Reste une objection beaucoup plus grave, qui, il est vrai, se retrouve chez les autres méthodes, mais dans un autre sens. Nous avons vu que les radiations émises par un corps actif sont constituées par un ensemble complexe de radiations, dans lequel existent différentes espèces de rayons, jouissant de propriétés particulières. Ces rayons ont, sur la plaque photographique, une action très variable ; et l'expérience montre que les radiations qui provoquent le plus facilement l'ionisation la plus forte, sont d'autre part ceux dont l'action est la plus faible au point de vue photographique. SODDY (1) a montré que l'action exercée par les sels d'urane sur une plaque photographique est certainement due aux rayons les plus pénétrants, tandis que l'action ionisante des mêmes sels est due aux rayons les plus facilement absorbables.

Bien des substances fluorescentes, d'autre part, se conduisent de différentes façons sous l'action des rayons issus des corps radio-actifs. C'est ainsi que le sulfure de zinc (la blende hexagonale de SIDOR) est extrêmement sensible : le platino-cyanure de baryum et le diamant donnent des résultats du même ordre.

1. SODDY. *Trans. Chem. Soc.*, vol. 81, p. 860, 1902.

Beaucoup d'autres substances peuvent être rendues fluorescentes, telle la scheelite (tungstate de calcium naturel) qui prend une belle fluorescence bleue. De tous ces corps, c'est le platino-cyanure de bayrum qui donne la plus belle intensité, par suite de sa transparence; mais il faut noter, comme très curieux, que le platino-cyanure de magnésium, qui s'illumine brillamment quand on le soumet à l'action des rayons X, reste obscur en présence du radium. Les autres platino-cyanures ont une fluorescence verte.

Nous décrirons plus particulièrement, maintenant la méthode électrique.

Méthode électrique. — Cette méthode est basée sur l'ionisation des gaz. Nous connaissons déjà cette propriété des gaz de s'ioniser sous l'action des rayons X et des corps radio-actifs, comme aussi sous l'action des radiations ultra-violettes; nous y avons consacré plusieurs chapitres dans un précédent volume de cette collection.

Cette ionisation peut être utilisée de bien des façons. Dans certains cas, on mesure la vitesse avec laquelle se décharge un électroscope, portant une charge connue; et dans d'autres, on mesure le courant maximum qui traverse un certain volume d'air compris entre deux électrodes métalliques, portées à un certain potentiel connu. Dans ce dernier cas, le courant de saturation est fonction du nombre d'ions produits par seconde; et ce dernier est proportionnel à l'intensité des radiations absorbées par l'air.

RUTHERFORD (1) a mis en évidence que l'ionisation par l'uranium est de même genre que celle due aux rayons X ; et il a montré, d'autre part, que cette ionisation est proportionnelle à la pression des gaz ; et que l'absorption également est proportionnelle à la pression. Pour différents gaz et pour de faibles couches, la pression croît avec la densité du gaz ; avec des couches épaisses, l'ionisation totale, quand toutes les couches sont absorbées, atteint un maximum, et est alors sensiblement la même pour tous les gaz. Enfin, STRUTT (2) a montré qu'à part l'hydrogène, il y a pour tous les gaz un coefficient d'ionisation qui est sensiblement proportionnel à la densité ; ce qui revient à dire que l'énergie d'ionisation est la même pour tous les gaz.

L'électroscope ordinaire à feuille d'or, ou l'un des électromètres connus, peuvent servir à effectuer ces

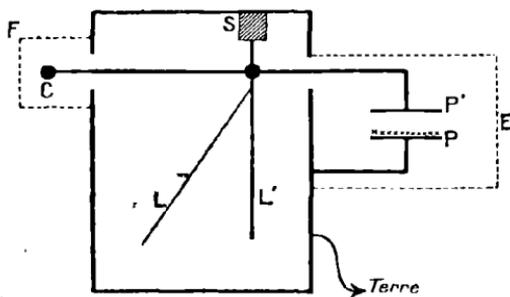


Fig. 1. — Electroscope Curie

1. *Phil. Mag.*, 1899. V. 47, p. 109.
2. *Phil. Trans.*, 1901, p. 507.

mesures; mais on a, en présence de la nécessité nouvelle d'avoir des appareils très sensibles et commodes, pour un usage déterminé, beaucoup amélioré les anciens appareils. Nous en décrivons quelques-uns.

ELECTROSCOPE CURIE (fig. 1). — Les connexions se voient nettement sur la figure. Les matériaux actifs sont placés en P, en relation avec la cage de l'électroscope, et avec la terre. Le plateau supérieur isolé P' est relié avec la feuille d'or isolée; S' est un bloc isolant et L, la feuille d'or. On porte d'abord le système à un potentiel connu à l'aide de la tige C. On observe la déviation de la feuille à l'aide d'un microscope. On prend comme terme de comparaison de l'activité de deux échantillons, le temps que met la feuille d'or pour parcourir un certain nombre de divisions du micromètre oculaire. La capacité du système étant constante, la vitesse moyenne de divergence de la feuille d'or est directement proportionnelle au courant d'ionisation entre P et P', c'est-à-dire à l'intensité radiante de la substance active. Il est généralement facile d'obtenir, d'autre part, entre P et P' une différence de potentiel suffisante pour obtenir le courant de saturation.

ELECTROSCOPE WILSON (1). — On doit à Wilson plusieurs appareils; voici l'un des plus connus (fig. 2).

On prend un vase cylindrique en laiton de un litre de capacité environ. Le système de la feuille d'or est constitué par une mince lanière de feuille d'or L attachée à une tige plate R. Le tout est introduit dans

1. WILSON. *Proc. Roy. Soc.*, vol. 68, p. 252, 1901.

l'appareil et supporté par un morceau de soufre, ou d'ambre S, supporté par une tige P. Dans l'air sec, le soufre ou l'ambre, constituent des isolateurs parfaits. On charge le système à l'aide d'une tige C C', traversant un bouchon d'ébonite.

La tige C est en relation avec un des pôles d'une batterie de petits accumulateurs de 200 à 300 volts, ou bien, à défaut de celle-ci, on peut charger l'appareil

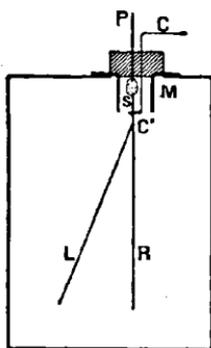


Fig. 2.

Electroscope Wilson.

avec un bâton de cire à cacheter ordinaire. On rompt alors le contact entre C, et la feuille d'or, et l'on met P et C en terre. On observe la feuille d'or, à l'aide d'un microscope à micromètre, à travers deux fenêtres en mica.

La capacité C d'un électromètre dont la feuille d'or a 4 centimètres de longueur est généralement d'environ une unité électrostatique. Si donc V est la diminution de potentiel de celle-ci

en t secondes, le courant i traversant le gaz est :

$$i = \frac{CV}{t}$$

On peut de la sorte calculer le nombre d'ions produits connaissant la charge d'un de ces ions et J.-J. THOMSON a montré que cette charge est de

$1,3 \times 10^{-19}$ coulombs Si on représente par q , le nombre d'ions produits par seconde, par centimètre cubique de volume de l'électroscope, et par S , le volume de l'électroscope, si le courant de saturation est i , et l'ionisation constante, on a

$$i = q S e$$

pour un électroscope d'un volume connu, i se détermine facilement, et on en déduit q .

ELECTROSCOPE WILSON MODIFIÉ (1) — Cet électroscope très commode et d'une très grande sensibilité comprend (fig. 3) une bouteille d'étain portant un fond mobile E permettant l'introduction de la substance radio-active ; un bouchon paraffiné H traversé en son centre par une tige de métal G qui se termine par un bout de quartz. A ; une tige de bronze B à laquelle est fixée une mince feuille d'or, est attachée au bout du quartz. La charge est communiquée à la tige B, qu'on peut faire tourner par son extrémité F en ébonite, de façon à l'amener au contact avec B.

Quand l'électroscope est chargé, on rompt la communication ; et on met à terre C G et l'extérieur de la bouteille elle-même. L'électroscope est alors un système chargé à l'abri de toute perturbation externe. On observe la divergence de la feuille d'or à l'aide d'un microscope placé devant une échelle. Pour des mesures de radio-activité, la substance à étudier peut être

1. WILSON. *Proc. Roy. Soc.* Vol. 68. p. 252, 1901 et SODDY. *Radio-activity*. p. 61, 1^{re} édition.

placée soit dans l'appareil lui-même, et alors on en étend un poids connu sur des disques métalliques soit,

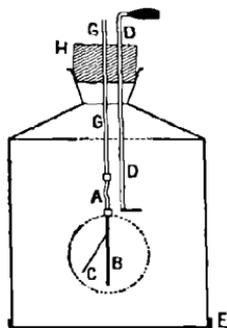


Fig. 3.

Electroscope Wilson

(modifié)

dans le cas de substances relativement assez actives, au dehors, de telle sorte que les rayons doivent traverser les parois métalliques. Si on note la divergence entre certaines limites, on constate qu'elle est très rigoureusement proportionnelle au potentiel. Cet appareil avait d'abord été utilisé par ELSTER et GEITEL pour l'étude de l'ionisation de l'atmosphère.

On a proposé un très grand nombre d'autres électroscopes, mais aucune de ces modifications ne représente un sérieux progrès. En réalité le simple électroscope à feuille d'or, est l'appareil électrique le plus pratique et le plus sensible pour les recherches de cet ordre ; mais les résultats obtenus avec son aide demandent à être analysés avec soin, afin d'éviter les causes extérieures d'erreurs. Il faut, en outre, tenir compte, quand on travaille avec un tel appareil, des considérations suivantes : le potentiel nécessaire pour obtenir une divergence notable des feuilles est d'environ 200 à 400 volts. Pour des travaux importants il est nécessaire de vérifier à l'aide d'une petite quantité d'oxyde d'urane, pris comme type, la vitesse que mettent les feuilles à tomber au repos. Il faut aussi vérifier avec grand soin l'isolement de l'appareil.

On préfère, dans de nombreux cas, substituer aux électroscopes les électromètres à cadrans qui, avec l'aide d'une capacité auxiliaire, peuvent permettre de mesurer les courants avec une grande précision et dans les cas les plus variables.

Nous ne ferons pas ici la théorie des électromètres, qui est bien connue (1), et nous indiquerons immédiatement comment on opère pour ces mesures (fig. 4). Soit à déterminer l'ionisation d'origine radio-active entre deux disques métalliques A et B, la substance radio-active étant déposée en A. Le disque isolé A est relié au pôle d'une batterie de f. e. m. suffisante pour obtenir le courant de saturation, l'autre pôle étant à terre. Le disque isolé B. est relié à l'une des faces de quadrant de l'électromètre, l'autre face étant à terre. A l'aide d'un commutateur convenable K, le disque B, et la paire de quadrants qui lui est reliée peuvent être, soit isolés, soit mis en terre. Si le pôle positif de la batterie

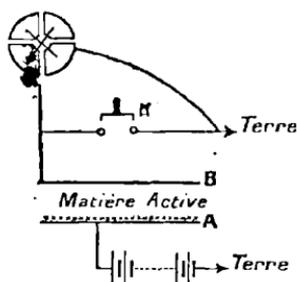


Fig. 4.

Electromètre.

1. WALKER, *Phil. Mag.*, 1903.

est relié à A, le disque B, et les connexions électrométriques commencent immédiatement à se charger positivement ; et si on le permet, le potentiel de l'électromètre s'élèvera jusqu'à s'approcher de celui de A. L'aiguille de l'électromètre se déplace, et la mesure micrométrique de son déplacement angulaire,

peut être effectuée. Cette mesure faite, on amènera l'électromètre à zéro en reliant le disque B à la terre.

Pour des mesures comparatives demandant de longues périodes de temps, on doit étalonner l'appareil à l'aide d'un poids connu d'oxyde d'urane placé d'une manière connue.

Les anciens électromètres sont généralement des instruments trop peu sensibles pour ces essais ; il faut les alléger ; ce à quoi on arrive facilement en remplaçant l'aiguille métallique par une aiguille en papier argenté, et en diminuant la dimension de toutes les autres parties. RUTHERFORD a donné sur la construction de ces appareils des données intéressantes (1). On trouve dans le commerce un instrument répondant aux conditions requises, c'est celui de DOLEZALEK (2) construit par BARTELS de *Gettingen*. Il est très petit, l'aiguille en est faite en papier argenté et suspendue par un fil de quartz. Si ce fil est très fin, la sensibilité de l'appareil est très grande, et peut correspondre à 20.000 divisions de l'échelle, pour un seul volt de différence de potentiel entre les deux paires de quadrants.

APPAREIL POUR LES ESSAIS. — Il est nécessaire d'adopter un dispositif uniforme dans les essais de cet ordre.

Voilà celui auquel s'est arrêté RUTHERFORD et qui paraît très satisfaisant.

L'appareil (fig. 5) comprend deux plateaux métalli-

1. *Radio-activity*, p. 93, 2^e édition. STRUTT. *Phil. Mag.*, 1901, p. 507.

2. DOLEZALEK. *Instrumentenkunde*, p. 345, déc. 1901.

ques A et B, isolés, ayant chacun environ 36 centimètres cubes de surface ; on répand une couche mince et uniforme de la substance radio-active sur le plateau A inférieur, qui est isolé et mis en communication avec le pôle d'une batterie donnant 300 volts; l'autre pôle étant en terre. Les disques sont disposés dans une boîte métallique V munie d'une porte latérale, et ils sont maintenus en place à l'aide d'isolateurs en ébo-

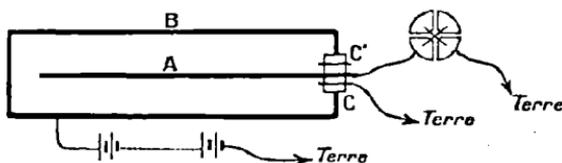


FIG. 5

Dispositif de Rutherford pour les essais de Radio-activité au moyen de l'Electromètre

nite. La figure montre nettement la disposition de construction. Les disques sont placés à 5 centimètres l'un de l'autre et le supérieur est relié à l'une des paires de quadrants d'un électromètre sensible, l'autre paire de quadrants étant en terre.

La radio-activité est déterminée par l'intensité du courant qui traverse l'air entre les deux disques.

Pour se servir de l'appareil, on coupe la communication de l'électromètre à la terre pour la paire de quadrants reliée au plateau B, et on mesure la vitesse de déviation de l'aiguille, à l'aide d'un chronomètre à arrêt, en notant le temps que met l'aiguille à passer au-dessus d'un nombre de divisions donné. La déviation

de l'aiguille indique la différence de potentiel entre les deux paires de quadrants : la capacité d'un tel système étant une constante de la charge communiquée à l'un des systèmes de quadrants, l'autre étant en

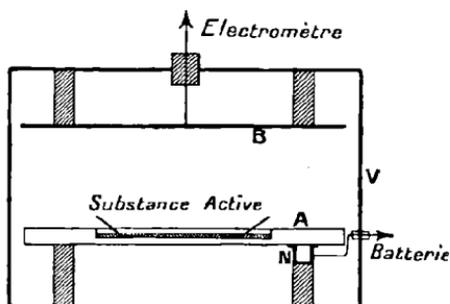


FIG. 6

Dispositif de Rutherford pour la détermination de l'ionisation

terre. Il est à recommander d'étalonner l'appareil avec un poids connu d'oxyde d'urane.

M. et M^{me} CURIE ont utilisé un dispositif du même genre, mais dans lequel la charge communiquée à l'une des paires du quadrant par le courant d'ionisation est contre-balancée par une charge de signe contraire telle que l'aiguille de l'appareil reste au zéro. A cet effet, ils ont utilisé l'électro-piezoquartz connu (1) formé d'une lame de quartz qu'on peut soumettre à une tension croissante et variable. Cette manière de faire donne de très bons résultats.

1. J.-P. CURIE. *C. R.*, 91, p. 38 et 294, 1881. FREDÉL et CURIE. *C. R.*, 96, p. 1262 et 1389, 1883.

Enfin, lorsqu'il s'agit de mesurer l'ionisation due à l'émanation d'une substance radio-active, on peut utiliser le dispositif (fig. 6) qui est une simplification de l'appareil déjà décrit de RUTHERFORD. A est un disque métallique isolé, relié à l'électromètre, et B une boîte métallique cylindrique en relation avec un des pôles d'une batterie.

CHAPITRE IV

ÉTUDE DES RADIATIONS DES MATIÈRES RADIO-ACTIVES

RUTHERFORD (1) le premier, a montré que le rayonnement des substances radio-actives est de nature complexe. Si l'on se borne à étudier l'action sur une plaque photographique, ou l'action ionisante de ces radiations, on ne distingue, à première vue, rien entre les différentes sources rayonnantes, si ce n'est une grande différence d'intensité. Pour décider de la nature de ces radiations, RUTHERFORD les a soumises à l'action d'un champ magnétique et a, d'autre part, comparé leur absorption relative par des solides et par les gaz.

L'emploi de ces deux méthodes a permis de distinguer trois sortes de rayons nettement différents, que

1. *Phil. Mag.*, 1899. V. p. 109, t. XLVII.

l'on désigne dans le langage courant par le nom des trois premières lettres de l'alphabet grec α , β et γ . Nous verrons que tous les corps radio-actifs n'émettent pas, à la fois, ces trois sortes de radiations.

Les rayons α sont peu pénétrants ; et ils sont absorbés par quelques centimètres d'air, ou par une très mince feuille métallique. On a montré qu'ils sont constitués de particules matérielles chargées positivement, et projetées du corps avec une vitesse égale environ au dixième de celle de la lumière. Soumis à l'action d'un champ magnétique ou électrique puissant, ils subissent l'influence de celui-ci et sont légèrement déviés.

Les rayons β ont un caractère beaucoup plus pénétrant que les précédents, et sont constitués comme eux de particules matérielles pourvues d'une charge électrique ; mais cette charge est de signe inverse ; ce sont donc des particules négatives comme les électrons. Leur déviation sous l'action d'un champ magnétique ou électrique est beaucoup plus grande que celle des rayons α ; ils sont identiques aux rayons cathodiques.

Les rayons γ enfin, jouissent d'un pouvoir pénétrant cent fois plus considérable que les rayons β , et ne subissent pas l'action d'un champ magnétique ou électrique. Quoique leur nature vraie n'ait pas encore été établie avec une absolue certitude, il semble qu'il s'agit très vraisemblablement de rayons de ROENTGEN très pénétrants.

L'action du champ magnétique ou du champ de force électrique permet de distinguer entre elles ces

diverses radiations. Lorsqu'on soumet à l'action d'un tel champ le faisceau rayonnant issu d'un peu de matière radio-active, les rayons α et β qui sont constitués par des particules matérielles pourvues d'une charge électrique, obéissent à l'action du champ suivant le signe de leur charge, et sont attirées ou repoussées. Le rayon de courbure est proportionnel à l'intensité du champ, et à la force vive des particules. Les rayons γ n'étant pas électrisés et n'étant pas matériels, n'obéissent pas à l'action du champ.

Ces faits ont été représentés (1) dans la figure (fig. 7).

Les rayons sont supposés provenir d'une parcelle de radium placée au fond d'une cavité profonde creusée dans un bloc de plomb et soumise à l'action d'un champ magnétique intense à angle droit avec la direction primitive des rayons.

Les propriétés de ces différents rayons sont évidemment fort différentes. C'est ainsi que les rayons α produisent la presque totalité de l'ionisation des gaz ; les rayons γ n'interviennent qu'infinitement peu. Pour les trois sortes de rayons α , β et γ , les rapports de pouvoir ionisant sont de 10.000 — 100 et 1. D'autre part, le pouvoir pénétrant en ce qui touche les corps opaques est inverse du précédent ; et les rayons γ sont 10.000 fois plus pénétrants que les rayons α .

Mais il ne faut pas oublier que les rayons α , β , γ ,

1. S. CURIE, *Thèse*, Paris, 1903. Cf. aussi, H. BECQUEREL. C. R., t. CXXXIX, p. 199, 1903,

issus d'un même corps radio-actif, ne forment pas

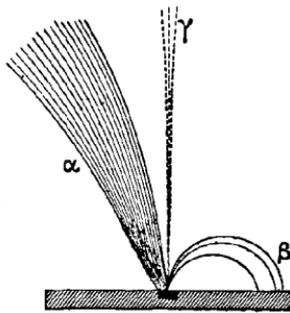


Fig. 7.

Représentation graphique du rayonnement du Radium.

un faisceau homogène, et qu'ils présentent des propriétés individuelles très variables. Enfin, ce sont surtout et presque uniquement les rayons β , qui influencent la plaque photographique sensible.

Rayons α . — Ce n'est guère que vers 1902, qu'on a eu quelques preuves certaines de

l'existence de ces radiations ; et cela tient surtout aux grandes difficultés qu'on a rencontrées dans la mesure de leurs déviations magnétiques. STRUETT d'abord (1), puis WILLIAM CROOKES (2) et enfin M^{me} CURIE (3) admirent qu'ils sont constitués de particules matérielles lancées avec une grande vitesse et pourvues d'une charge électrique positive ; et ce fut là également l'opinion de RUTHERFORD (4) qui parvint à mettre en évidence leur déviation sous l'action d'un champ magnétique, à l'aide d'un ingénieux petit appareil ; et peu après BECQUEREL (5) parvint au même résultat photographiquement.

1. *Phil. Trans.* A. p. 507, 1901.

2. *Proc. Roy. Soc.*, 1902. *Chem. News*, 85, p. 109, 1902.

3. M^{me} CURIE, *C. R.*, 130, p. 76, 1900.

4. *Phil. Mag.*, feb. 1903. *Phys. Zeit.* 4, p. 235, 912.

5. *C. R.*, 136, p. 199, 1903.

On aura une idée de la faiblesse de cette déviation en considérant que dans un champ de 10.000 unités C. G. S, ces rayons s'infléchissent suivant un arc de cercle de 39 centimètres de rayon, alors que dans les mêmes conditions les rayons cathodiques demandent un cercle de 0 cm. 01 de rayon !

L'action d'un champ électrostatique est la même que celle d'un champ magnétique, comme l'a montré RUTHERFORD.

De la déviation dans un champ magnétique ou dans un champ électrostatique on peut déduire et déterminer le rapport e/m de la charge de la particule à sa masse, comme l'a montré THOMSON. Ce calcul a été fait et vérifié ultérieurement par un procédé photographique par DES COUDRES (1).

Ces mesures ont montré que les rayons α issus d'un corps radio-actif, et en particulier du radium sont complexes, et sont très probablement formés d'un jet de corps positivement chargés, lancés à des vitesses variables, comprises entre certaines limites.

RUTHERFORD (2) a cherché quelle est l'influence du champ magnétique exerçant son action sur les rayons ayant déjà effectué un certain trajet, et il a trouvé que la courbe croît avec la distance. On admet aujourd'hui que cela tient à l'absorption de la partie la moins vive de ces rayons, par l'air, ou par les substances traversées (3).

1. DES COUDRES. *Phys. Zeit.*, 4. 2017, p. 483. 1903.

2. C. R., 136. p. 1517., 1903.

3. BRAGG. *Phil. Mag.*, déc. 1904. BRAGG KLEEMAN. *Phil. Mag.*, déc. 1904.

On s'est beaucoup occupé de déterminer la charge électrique portée par les particules α (1). De nombreux essais ont été faits par RUTHERFORD, STRUTT (2) et J. THOMSON (3) : mais jusqu'ici aucun chiffre bien précis n'est venu couronner de succès ces essais. La masse de ces particules α paraît être deux fois celle d'un atome d'hydrogène et leur vitesse est environ le dixième de celle de la lumière, c'est-à-dire que leur énergie cinétique $\frac{1}{2} mv^2$ est égale à $5,9 \times 10^{-6}$ ergs.

Cette vue sur la nature propre des radiations α semble avoir été confirmée par une expérience de Sir WILLIAM CROOKES (4) et par ELSTER et GEITEL (5), qui ont montré que si on examine avec un microscope un écran de sulfure de zinc rendu phosphorescent par l'action des rayons α , on constate que la phosphorescence n'est pas uniforme, mais qu'elle paraît être le fait d'un certain nombre de points lumineux étincelants, et de scintillations qui paraissent résulter d'un bombardement incessant de l'écran par une pluie de projectiles provenant de la substance radio-active. CROOKES a imaginé un appareil très simple qui permet de mettre ce fait en évidence (6).

1. *Bakerian Lectures. Phil. Trans. A.* p. 169 1900.

2. *Phil. Mag.* Aug., 1904.

3. *Proc. Camb. Phil. Soc.*, 13, t. I, p. 39.

4. CROOKES. *Proc. Roy. Soc.*, 81 p. 405, 1903. *Chem. News.* 1903, 87, p. 241.

5. ELSTER et GEITEL. *Phys. Zeit.*, n° 15, p. 437, 1903. *Chem. News.*, 1903, p. 37-88.

6. GLOWS. *Arch. Röntgen Ray.* June 1904.

Suivant CROOKES et les autres observateurs, le scintillement serait le résultat du choc formidable, du bombardement incessant des particules α , sur le sulfure de l'écran, choc qui amènerait le clivage des cristaux de sulfure de zinc avec production d'un phénomène lumineux (1).

Les rayons α sont absorbés par tous les corps, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux ; mais il semble résulter des expériences de RUTHERFORD qu'il doit être possible de distinguer entre eux les rayons α émis par différentes substances, par la plus ou moins grande facilité avec laquelle ils sont absorbés par le gaz, ou par de minces feuilles métalliques (2).

RUTHERFORD (3) et OWENS (4) ont montré que les rayons α émis par les différents composés d'une même substance ont très sensiblement le même pouvoir pénétrant.

Il résulte de recherches nombreuses que l'absorption est très sensiblement proportionnelle à la densité de la substance traversée. Ainsi, on montre que la radiation diminue suivant une loi exponentielle avec la distance traversée ; et l'intensité I après avoir traversé une épaisseur x , est donnée par l'expression $I = I_0 e^{-\lambda x}$ où λ est la constante d'absorption et I_0 l'intensité initiale.

1. BECQUEREL . C. R., 37, Oct. 24, 1903.

2. RUTHERFORD et Miss BROOKS. *Phil. Mag.*, juillet 1900 et juillet 1902.

3. RUTHERFORD. *Phil. Mag.*, Jan. 1899.

4. OWENS. *Phil. Mag.*, oct. 1899.

On trouve pour λ les valeurs suivantes dans le cas de l'activité induite: aluminium $\lambda = 830$; air $\lambda = 042$; dans le cas du radium ces chiffres deviennent 16.00 et 0.90. Ces faits ont été vérifiés dans un très grand nombre d'autres circonstances.

On peut se demander quelle est la cause de l'absorption des rayons α par l'air: à tout prendre, il s'agit du choc des particules avec les molécules gazeuses qu'elles ionisent. Il résulte des recherches effectuées sur ce sujet, qu'une telle particule peut produire 100.000 ions avant d'être arrêtée, ou de voir son mouvement devenir trop lent. Il résulte, en effet, des recherches de TOWNSEND (1) qu'il faut que la particule ait une certaine vitesse pour être agent d'ionisation. DURACK (2) est arrivé au même résultat. En ce qui touche plus particulièrement aux rayons α , BRAGG et KLEEMANN (3) ont cherché à formuler une théorie simple et satisfaisante de l'absorption.

Rayons β . — Les rayons β ont été mis en évidence et différenciés des autres radiations en 1899 par GIESEL (4) et par MEYER et SCHWEIDLER (5) indépendamment les uns des autres; peu après, et à l'aide de différentes méthodes, BECQUEREL (6), CURIE (7), et

1. *Phil. Mag.*, feb. 1901.

2. DURACK. *Phil. Mag.*, 1902, juillet.

3. *Phil. Mag.*, Decb. 1904. Cf. aussi RUTHERFORD. *Radio-activity*, p. 175-179.

4. GIESEL. *An. d. Phys.*, 69, p. 834, 1899.

5. MEYER et SWEIDLER. *Phys. Zeit.*, I, p. 90, 113, 1899.

6. BECQUEREL, C. R., 129, p. 977, 1205, 1899.

7. CURIE, C. R., 130, p. 73, 1900.

RUTHERFORD et GRIER (1) ont confirmé ces premiers résultats et établi indubitablement l'existence de ces radiations. C'est surtout grâce à leur facile déviation par un champ électrique ou magnétique, que ces rayons ont pu être différenciés dès le début ; suivant BECQUEREL, qui a fait une étude très complète de cette propriété, les rayons β se comporteraient à cet égard absolument comme les rayons cathodiques qui sont, on le sait, des particules portant une charge négative, et animées d'une très grande vitesse.

Ces rayons β sont beaucoup plus facilement déviables par un champ de force électrique ou magnétique que les rayons X. Leur identité avec les rayons cathodiques résulte, d'abord, de la nature de leur charge électrique qui a été déterminée directement ou indirectement par CURIE (2). Pour cela, il a d'abord montré que les rayons sont chargés négativement, et ensuite, que la substance radio-active acquiert une charge positive, fait confirmé ultérieurement par DORN (3).

Enfin, tout récemment, STRUTT (4) a imaginé un petit appareil auquel on a donné quelquefois le nom d'« horloge au radium, » qui permet de mettre ce fait en évidence d'une manière encore plus claire. WIEN (5), d'autre part, a cherché à déterminer la

1. *Phil. Mag.*, Jan. 1899 et sept. 1902.

2. M. et M^{me} CURIE, C. R., 130, p. 647, 1900.

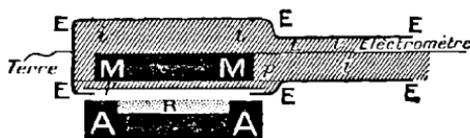
3. *Phys. Zeit.*, 4, 18, p. 507, 1903.

4. *Phil. Mag.*, nov. 1903.

5. *Phys. Zeit.*, 4, n° 23, p. 624. 1903.

valeur de la charge transportée par les rayons β . Il a trouvé que 4 milligrammes de bromure de radium donnent environ $2,91 \times 10^{-12}$ ampères par seconde. Suivant RUTHERFORD on aurait, en vérité, une quantité six fois plus grande.

Cette détermination a été également faite par CURIE (1), qui a utilisé dans ce but l'appareil suivant (fig. 8). Il comprend un plateau métallique MM



noyé dans de la paraffine, sur lequel viennent frapper les rayons β issus de la substance radio-active R, ce plateau est relié à un électromètre.

Grâce à ce dispositif, ce plateau conserve sa charge. La charge qu'on obtient ainsi est très faible et représente à peine la cent millième partie de la charge transportée par un ion dans l'air.

BECQUEREL a montré que la vitesse des rayons β est de $1,6 \times 10^{10}$ par seconde ; cette valeur est plusieurs fois plus considérable que celle trouvée par le professeur THOMSON pour la vitesse des rayons cathodiques dans le vide, qui est de 2×10^9 centimètres. Ce fait explique le pouvoir pénétrant autrement considérable des rayons

1. C. R., t. CXXX, p. 647, 1900.

β . Quant à la masse de ces radiations déduite de l'équation $\frac{e}{m}$, elle a été évaluée à la millième partie de celle de l'atome d'hydrogène ; ce serait donc bien des électrons négatifs.

KAUFMANN (1) a mesuré à la fois v et $\frac{e}{m}$ pour les rayons β les plus pénétrants émis par le radium, et il a obtenu des valeurs situées entre 2,36 et $2,83 \times 10^{10}$, c'est-à-dire entre 80 et 95 o/o de la vitesse de la lumière.

On sait que si la masse d'un corpuscule a une origine électrique, et est due à l'inertie de la charge qui se meut, elle devrait théoriquement tendre à s'accroître à mesure que l'on s'approche de la vitesse de la lumière, et devenir infinie, dès cette vitesse atteinte. A ce sujet KAUFMANN a trouvé que le rapport e/m décroît de $1,31 \times 107$ quand $V = 2,36 \cdot 10^{10}$, à $0,63 \times 107$ quand $V = 2,83 \cdot 10^{10}$, et ses résultats s'accordent bien avec la théorie qui admet que la masse d'un corpuscule ou d'un électron, c'est-à-dire la charge atomique négative qui constitue les rayons cathodiques et les rayons β des substances radio-actives, est d'origine électrique.

Les rayons β sont absorbés par les substances qu'ils traversent ; et comme dans le cas des rayons α , l'absorption est proportionnelle à la densité. Comme les rayons α encore, les rayons β provoquent la formation d'ions dans les gaz à travers lesquels ils se meu-

1. *Phys. Zeit.*, p. 90, 113, 209, 1900.

vent. On a proposé différentes méthodes pour déterminer le coefficient d'absorption des radiations β par la matière ; l'une est basée sur la détermination du coefficient d'ionisation ; elle a été étudiée par MEYER et SCHWEIDLER (1) dans le cas du radium.

Dans le même ordre d'idée SEITZ (2) a imaginé un ingénieux dispositif pour déterminer le nombre relatif d'électrons qui sont arrêtés par leur passage à travers différentes épaisseurs de matière ; et il a aussi montré que l'épaisseur nécessaire pour arrêter un nombre donné de radiations β décroît avec la densité, mais non pas exactement proportionnellement.

Rayons γ . — Ces rayons qui, jusqu'ici, ne paraissent être émis que par l'uranium, le thorium et le radium, sont caractérisés par un pouvoir pénétrant très considérable leur permettant de traverser jusqu'à une épaisseur de 7 centimètres de plomb, 19 centimètres de fer, et 150 centimètres d'eau, avant d'être réduits à 1 o/o de leur intensité primitive (3). Ils ont d'abord été signalés par VILLARD (4), puis par BECQUEREL (5). On les met facilement en évidence en utilisant leur grand pouvoir pénétrant. Un peu de sel de radium enfermé dans un bloc de plomb de 1 centimètre d'épaisseur n'émet plus à l'extérieur que des radiations γ , les radiations α et β étant absolument

1. *Phys. Zeit.*, p. 90, 113, 209, 1900.

2. SEITZ. *Phys. Zeit.*, 5, n° 14, p. 395. 1904.

3. RUTHERFORD. *Nature*, p. 318, 66, 1902.

4. C. R., t. XXX, p. 1154, 1900.

5. C. R., t. XXX, p. 1154, 1900.

absorbées. RUTHERFORD a, enfin, montré que l'uranium et le thorium émettent ces rayons, proportionnellement à leur activité (1).

Suivant RUTHERFORD également, l'absorption de ces radiations par la matière est approximativement proportionnelle à la densité de la substance traversée. Mc. CLELLAND (2) a fait dernièrement une étude plus complète de ce phénomène et il conclut dans le même sens.

Ces rayons se distinguent donc très nettement des radiations α et β par leur très grand pouvoir pénétrant ; et aussi par ce fait qu'ils ne sont pas déviés par le champ magnétique le plus puissant, ni par un champ électrique. A ce point de vue, ils semblent se rapprocher beaucoup des rayons X. On a déduit de ce fait qu'ils ne sont pas électrisés, ou tout au moins que s'ils sont électrisés, leur masse doit être au moins 45 fois plus grande que celle d'un atome d'hydrogène (3) et ce fait est à peine soutenable.

Il est même aujourd'hui absolument certain que les rayons γ n'ont pas une nature matérielle, et qu'ils sont à ce point de vue, tout à fait analogues aux rayons de ROENTGEN. Nous avons montré ailleurs que ces rayons X représentent une vibration électro-magnétique engendrée par l'arrêt brusque d'un rayon cathodique. Or, les rayons β sont chassés du radium avec une vitesse certainement infiniment plus grande que celle des

1. *Phys. Zeit.*, 3, p. 507, 1902.

2. *Phil. Mag.*, juillet 1904.

3. PASCHEN. *Phys. Zeit.*, 5, n° 18, p. 563, 1904.

rayons cathodiques ; donc ils devront engendrer des rayons X, jouissant d'un pouvoir pénétrant beaucoup plus grand que les rayons X ordinaires ; ces rayons sont des rayons γ .

On en trouve de nombreuses preuves directes. C'est ainsi que l'activité des rayons γ est toujours proportionnelle à celle des rayons β qui les engendrent, et ce fait indique qu'il existe une étroite relation entre eux ; l'expulsion de chaque électron d'un corps radio-actif donnera une onde sphérique, étroite, se mouvant à partir du point d'origine avec la vitesse de la lumière. Cette hypothèse sur la nature des rayons γ semble avoir conquis aujourd'hui tous les suffrages (1).

RAYONS SECONDAIRES. — C'est un fait bien connu que les radiographies obtenues soit à l'aide des rayons de Röntgen, soit à l'aide des radiations de substances radio-actives, n'ont pas des contours nets.

On sait depuis les recherches de PERRIN, SAGNAC et LANGEVIN que ce fait est dû à une production de rayons secondaires. Ces rayons dans le cas des substances radio-actives ont été particulièrement étudiées par BECQUEREL (2). Ils obéissent à l'action du champ magnétique, et résultent du choc des rayons primaires sur des objets matériels dont la nature semble n'avoir presque aucune influence.

Propriétés générales des radiations radio-actives. — En outre de leur action sur la plaque photographique, de leur déviation par un champ de force magnétique

1. BARCLA. *Nature*, Londres, 17 mars 1904.

2. BECQUEREL C. R. XXXII, p. 734, 1904.

ou électrique, de leur action ionisante sur les gaz, les radiations issues des substances radio-actives sont susceptibles de produire des actions physiques et chimiques variées et intenses. Ce sont surtout les rayons α et β qui interviennent ici ; et comme les rayons β se rapprochent beaucoup des rayons cathodiques, on peut s'attendre à trouver des effets similaires à ceux donnés par ces derniers.

En premier lieu il convient de signaler l'action phosphorescente (1). C'est surtout le radium qui donne les effets les plus remarquables. Les substances qui deviennent phosphorescentes sous l'action de ses radiations sont très nombreuses ; il faut citer les sulfures de calcium et de strontium, les platino-cyanures doubles, certains sulfates doubles. Suivant BARY (2), presque toutes les substances qui deviennent lumineuses sont apparentées avec les terres alcalines. Le sulfure de zinc cristallisé de SIDOR donne lieu à une phosphorescence particulièrement remarquable, et nous avons vu qu'il y a là un moyen très sensible de diagnose des radiations α . Les cristaux de platino-cyanures alcalins et alcalino-terreux donnent des phénomènes de phosphorescence particulièrement beaux : ceux renfermant du lithium se colorent en rouge foncé ; ceux renfermant du calcium ou du baryum se colorent en vert, ceux renfermant du sodium en jaune citron. WILLIAM CROOKES (3) a remarqué qu'un dia-

1. BECQUEREL, C. R., 129, 912, 1899.

2. C. R., 130, 779, 1900.

3. *Proc. Roy. Soc.*, 74, 47, 1904.

mant exposé pendant trois mois à l'action des radiations du radium perd de sa transparence et devient bleu foncé par suite de sa transformation partielle en graphite. Le diamant s'illumine vivement, du reste, mais il est à remarquer que ce phénomène présente de nombreuses exceptions inexplicées.

Le sulfure de zinc et le platino-cyanure de baryum diminuent de luminosité après avoir été exposés pendant quelque temps à l'action des rayons ; on régénère les écrans de platino-cyanure de baryum en les exposant à la lumière solaire. Un phénomène analogue a été observé par VILLARD dans l'action des rayons X. Enfin, beaucoup de substances qui sont lumineuses sous l'action des radiations radio-actives perdent cette propriété aux basses températures.

Les substances radio-actives elles-mêmes sont généralement lumineuses, surtout celles ayant une activité considérable ; c'est ainsi que tous les composés du radium sont lumineux et particulièrement les sels halogénés. Les solutions sont très peu lumineuses, mais les cristaux qui se forment dans leur sein sont lumineux. Les composés du baryum et du radium ont généralement une forte phosphorescence.

Sir WILLIAM CROOKES et LADY HUGGINS (1) ont examiné spectroscopiquement la lumière du radium ; ils obtinrent ainsi un spectre ayant un certain nombre de raies brillantes présentant de grandes analogies avec les bandes dans le spectre de l'azote ; cependant

1. HUGGINS. *Proc. Roy. Soc.*, 72, p. 192 et 409, 1903.

CROOKES et DEWAR ont montré que cette analogie est absente quand on opère dans le vide. Suivant GIESEL (1), dans la lumière phosphorescente de l'actinium, il y aurait trois lignes brillantes particulières, dont la position a été déterminée par HARTMANN (2).

Au point de vue physique encore, les rayons des substances radio-actives facilitent, comme les rayons extra-violet, le passage de l'étincelle électrique dans l'air ; ainsi ELSTER et GEITEL (3) ont montré que si l'on dispose deux électrodes à une distance telle qu'une étincelle refuse d'y passer, on peut provoquer ce passage en approchant une parcelle de radium. Suivant CURIE (4), les diélectriques liquides deviennent probablement conducteurs sous l'influence du rayonnement du radium.

En ce qui touche l'action de la température sur les substances radio-actives, on trouve qu'il ne se produit aucun changement, si on chauffe la substance en vase clos ; à la température de l'air liquide, P. CURIE (5) a trouvé que les propriétés du radium sont atténuées.

Les propriétés proprement chimiques des radiations émises par les substances radio-actives sont non moins remarquables que celles qui viennent d'être examinées. L'oxygène est transformé en ozone (6) ; le verre

1. *Ber. d. D. Chem. Ges.*, 37, p. 1696, 1904 ; *ibid.*, *loc. cit.* n° 2, p. 775, 1905.

2. *Phys. Zeit.*, n° 18, p. 570, 1904.

3. *Ann. de phys.*, 69, p. 673, 1899.

4. *C. R.*, 134, p. 420, 1902.

5. *Soc. F. Phys.*, mars 2, 1900.

6. *C. R.*, 129, 823, 1899.

est décomposé et noirci ; le spath fluor se colore également (1) ; il en est de même du quartz (2). Suivant ELSTER et GEITEL (3) le sulfate de potassium est coloré en vert ; et ces auteurs admettent que ces colorations sont le fait d'une solution de métal dans la substance saline. BECQUEREL a montré que le phosphore blanc se transforme en phosphore rouge (4) ; HARDY et Miss VILCOXK, que l'iodoforme et le chloroforme se colorent rapidement en pourpre (5).

Une des plus curieuses propriétés des substances radio-actives, et en particulier du radium, est d'émettre une substance gazeuse d'une façon continue. Cette observation a d'abord été faite par CURIE et DEBIERNE (6) ; elle a été confirmée par GIESEL (7). Un gramme d'une préparation renfermant 5 o/o de radium dégage, en quinze jours 3 cmc. 5 de gaz ; et RAMSAY et SODDY ont trouvé que 50 milligrammes de bromure de radium pur, dégagent environ 0 cmc. 5 de gaz par jour ; et il semble que ce gaz soit un mélange d'oxygène et d'hydrogène, avec un peu d'hélium.

Au point de vue physiologique, on a fait un nombre considérable de recherches sur l'action des radiations des substances radio-actives, et particulièrement du radium. Sur la peau, le radium provoque une brû-

1. *Verhandlg d. D. Phys. Ges.*, 5 janv. 1900.

2. *C. R.*, 139, n° 553, 1904.

3. *C. R.*, 133, p. 709, 1901.

4. *Phys. Zeit.*, n° 103, 1902.

5. *Proc. Roy. Soc.*, 72, p. 200, 1903.

6. *Ber. d. D. Chem. Ges.*, 25, p. 3605, 1902.

7. *Proc. Roy. Soc.*, 72, p. 204, 1903.

lure douloureuse et profonde qui peut, si l'action est prolongée, entraîner de graves complications. Suivant ASCHKINASS et CASPARI (1) le radium jouirait de propriétés microbicides intenses, On a cru reconnaître des actions thérapeutiques à ces produits, mais jusqu'ici aucun fait réellement concluant n'est venu confirmer les espérances des expérimentateurs.

1. *Arch. d. Ges. Physiol.*, 86, p. 603, 1901.

CHAPITRE V

LES SUBSTANCES-X

L'existence de ce que l'on a appelé les substances-X est l'un des faits curieux et intéressants de l'histoire des substances radio-actives.

Nous avons vu précédemment que la radio-activité présente toutes les particularités d'un phénomène de nature atomique. Les recherches que nous allons voir maintenant et dans la suite, montrent que l'hypothèse déduite des considérations précédentes ne saurait être acceptée sous sa forme primitive.

Il y a là une confirmation de la théorie de RUTHERFORD et SODDY sur la désintégration atomique, qui a été exposée ailleurs, et d'après laquelle la radio-activité ne serait, à chaque instant, que la propriété d'un petit nombre d'atomes en voie de transformation ou d'évolution.

La première indication dans ce sens découle d'une découverte fondamentale de CROOKES (1). Ce savant observa qu'en précipitant un sel d'urane par du car-

1. *Proc. Roy. Soc.*, 1900, 66, 409.

bonate d'ammoniaque, le précipité d'abord formé se redissout dans un excès du réactif en laissant un résidu insoluble ne renfermant pratiquement pas d'urane et ayant néanmoins toute l'activité du sel d'urane primitif. On a donné à la matière active ainsi extraite de l'uranium le nom d'uranium-X.

On arrive au même résultat en dissolvant du nitrate d'urane cristallisé dans l'éther : la couche aqueuse inférieure retient toute l'activité primitive, quoi qu'il n'y ait pratiquement pas d'uranium.

Ces faits ont été confirmés par BECQUEREL (1). Les faibles quantités actuellement connues d'uranium-X ne permettent pas de le caractériser autrement que par sa radio-activité. La majeure partie de la substance solide qu'on recueille ainsi, est formée des impuretés primitives de l'uranium, fer et aluminium, qui servent de support et de noyau pour la séparation de l'uranium-X.

SODDY a montré ultérieurement, que dans ce processus on élimine simplement de l'uranium les rayons β , et que toute l'activité due aux rayons α demeure fixée à l'uranium. De telle sorte que, si au lieu de se servir de la plaque photographique pour rechercher ce phénomène, on avait utilisé la méthode électrique, il aurait passé inaperçu. Ces faits ont été confirmés par RUTHERFORD et GRIER.

Le caractère le plus singulier que présente l'uranium-X c'est qu'il perd graduellement toute son acti-

1, C. R., 131, 137, 1900 ; 133, 977, 1901.

tivité en quelques mois ; et que d'autre part l'uranium inactivé regagne dans le même temps toute l'activité primitive.

RUTHERFORD et SODDY (1) sont arrivés à des résultats analogues en ce qui touche le thorium. Ils ont montré que, si on précipite du nitrate de thorium en solution aqueuse par de l'ammoniaque, on constate qu'une grande partie de son activité primitive demeure dans la solution aqueuse qui est pratiquement exempte de thorium. En évaporant, on obtient un résidu infinitésimal un millier de fois plus actif que le thorium primitif ; on lui a donné le nom de thorium-X.

Il faut bien remarquer, qu'ici comme dans le cas de l'uranium, la séparation de l'élément-X n'est pas le résultat d'une simple précipitation ; car si on précipite le nitrate de thorium par un carbonate alcalin, ou par de l'oxalate d'ammonium, le filtrat se montre toujours totalement inactif. L'ammoniaque est actuellement le seul réactif connu qui permette de réaliser cette séparation.

Comme l'uranium-X, le thorium-X n'a aucun caractère analytique, spécifique, susceptible de permettre de l'isoler. Dans l'un et l'autre cas l'activité de ces deux substances jouit de la curieuse propriété de se fixer sur certains corps qu'on précipite dans leur solution ; de ce nombre est le sulfate de baryum.

Si l'on conserve le thorium d'où l'on a précipité le thorium-X, on constate qu'il reprend graduellement

1. *Trans. Chim. Soc.*, 1902, 81, 321, 837.

son activité primitive ; le thorium-X, au contraire, perd peu à peu son activité, et finit par devenir complètement inactif. Ces phénomènes sont plus rapides qu'avec l'uranium.

Si on précipite de nouveau le thorium (ou l'uranium) qui a recouvré son activité primitive, on peut obtenir une nouvelle quantité d'éléments-X ; et cette nouvelle substance X a la même activité que le produit primitif. Ce cycle d'opérations peut être répété indéfiniment.

Si l'on admet la nature matérielle de l'élément X, il faut admettre que la substance radio-active d'où on l'extrait, lui donne constamment naissance. Ceci revient à dire que, par exemple, le thorium se change constamment en thorium X. Cette hypothèse nous conduit à admettre qu'un élément est susceptible de servir de support à des modifications spontanées.

En étudiant quantitativement ce phénomène et en mesurant la rapidité avec laquelle le thorium retrouve son activité du thorium X, RUTHERFORD et SODDY arrivèrent à cette conclusion que le rayonnement des corps radio-actifs est continuellement en voie de décroissance, et qu'il se renouvelle constamment. La constance de la radio-activité est plus apparente que réelle ; et elle est due à un état d'équilibre entre deux processus contraires : c'est-à-dire, que pour les corps radio-actifs il y a une vitesse constante de production de la substance radio-active, et que l'activité de la matière ainsi formée décroît suivant une loi exponentielle avec le temps depuis l'instant de sa formation.

Nous voici conduit à la théorie de la désintégration moléculaire ou atomique qui a été exposée ailleurs. La radio-activité est bien une propriété atomique ; mais dans un corps, elle n'est le fait que d'un petit nombre d'atomes. Les éléments X seraient les atomes des éléments radio-actifs en voie d'évolution.

Avant de quitter ce sujet, il nous faut indiquer rapidement la nature d'une quantité qui nous rendra de grands services : c'est la *constante radio-active*.

Nous avons vu que la quantité de radio-activité regagnée par le thorium pendant un intervalle quelconque de la période entière est égale à la portion de la radio-activité perdue par thorium X pendant le même intervalle. Si l'on représente par I_0 l'activité primitive du thorium X ; par I_t l'activité au bout d'un temps t , par $I't$ l'activité retrouvée par le thorium au bout du même temps t , et par I'_{∞} l'activité maximum retrouvée par le thorium quand son activité a repris sa valeur constante : on a :

$$\frac{I't}{I'_{\infty}} = \frac{I_0 - I_t}{I_0} = 1 - \frac{I_t}{I_0} \quad (1)$$

L'activité du thorium-X décroît très approximativement suivant une progression géométrique au temps, tombant à la moitié de sa valeur en quatre jours ; au quart en huit jours, au huitième en douze jours ; etc. Ce fait est exprimé par la formule :

$$\frac{I'}{I_0} = e^{-\lambda t} \quad (2)$$

où λ est une constante, et e la base des logarithmes naturels. Du moment que $\frac{I'}{I_0} = 1/2$ quand $t = 4$ jours = 345.600 secondes, $\lambda = 2 \times 10^{-6}$ quand t est exprimé en secondes.

Des équations 1 et 2 on déduit :

$$\frac{I't}{I'_{\infty}} = 1 - e^{-\lambda t}$$

qui est l'équation de retour à l'activité du thorium ; λ est ici une constante nettement définie qui caractérise chaque corps radio-actif, et on lui a donné pour cela le nom de constante de radio-activité.

CHAPITRE VI

L'ÉMANATION RADIO-ACTIVE

Une des plus curieuses propriétés que présentent certaines des substances radio-actives, et notamment le thorium, le radium et l'actinium, est d'émettre, en plus des radiations que nous connaissons déjà, quelque chose de matériel auquel on a donné le nom d'émanation.

Cette émanation paraît être un gaz ; mais un gaz facile à condenser ; qui se dépose sur les objets qui environnent la substance radio-active, et qui peut être condensé par le froid. Cette émanation jouit de propriétés radio-actives qu'elle communique aux corps sur lesquels elle se dépose, donnant ainsi une sorte de radio-activité induite.

L'émanation du thorium, de l'actinium et du radium semble avoir les mêmes propriétés ; l'uranium et le polonium ne donnent pas lieu à ce phénomène.

Émanation du thorium. — Les premières recherches qui aient été faites sur ce sujet sont dues à

OWENS (1) ; peu après, RUTHERFORD (2) trouvait l'émanation, et constatait sa facile diffusion à travers les corps poreux, ou par un courant d'air ; il remarquait, en outre, qu'on peut faire passer le gaz qui la contient sur du coton ou dans un liquide, sans lui faire perdre ses propriétés. Il résulte, enfin des recherches d'AITKEN et de WILSON que cette émanation n'est pas une poussière infiniment ténue : elle est une vapeur ou un gaz.

Cette émanation n'est émise qu'en très faible quantité ; elle perd, d'autre part, très rapidement son activité avec le temps, suivant une loi exponentielle, avec les métaux X (3).

Émanation du radium. — Peu après qu'on eut mis en évidence les propriétés de l'émanation du thorium, DORN (4) montra que les composés radifères émettent également une émanation radio-active.

Dans le cas du radium, la quantité d'émanation produite peut être considérable, si l'on chauffe ou si l'on dissout le composé dans l'eau. Cette émanation perd son activité plus lentement que celle du thorium, ainsi que l'ont montré CURIE (5), puis RUTHERFORD et SODDY (6). Il résulte des essais de ces derniers, que l'émanation perd toute son activité en 786 heures

1. *Phil. Mag.*, p. 360, oct. 1899.

2. *Phil. Mag.*, p. 1, janv. 1900.

3. ROSSIGNOL et GIMINGHAM. *Phil. Mag.*, juill. 1901.

4. *Ab. der Naturfors. ges für Halle, a. S.*, 1900.

5. *C. R.*, 135, 857, 1902.

6. *Phil. Mag.*, août 1903.

environ; qu'elle tombe à la moitié de sa valeur en 3 jours 71.

CURIE a mis en évidence que cette perte d'activité est indépendante des conditions physiques de milieu, et qu'elle n'est pas influencée par les agents chimiques connus. A ce point de vue, l'émanation du thorium et du radium est tout à fait analogue; et la seule différence qu'il y ait entre les deux, c'est que pour l'émanation du radium la constante de radio-activité est environ 5.000 fois plus grande que pour l'émanation du thorium.

Émanation de l'actinium. — L'actinium comme le thorium et le radium, donne une émanation qui a été signalée par DEBIERNE (1). Cette émanation a une vie très courte, et elle voit son activité diminuer de la moitié de sa valeur en l'espace de quatre secondes environ.

Par suite de cette vie relativement très courte, cette émanation ne peut être diffusée bien loin dans un gaz sans voir ses propriétés disparaître.

Les propriétés générales de l'émanation. — Il semble que nous soyons en mesure maintenant de parler des propriétés générales de l'émanation sans indiquer d'une façon particulière si l'émanation envisagée provient de l'une ou de l'autre substance active.

GIESEL (2) a montré qu'on peut diriger l'émanation sur un écran de sulfure de zinc, et que celui-ci s'illu-

1. C. R., 136, 146, 1903.

2. *Ber. d. Deut. Chim. Gesell.*, p. 3608, 1902.

mine sur le passage de l'émanation. CURIE et DEBIERNE (1) ont montré d'autre part, que beaucoup de substances deviennent phosphorescentes sous l'action de l'émanation.

Le pouvoir émanant varie beaucoup d'un composé à l'autre, et peut être grandement modifié par les différents états physiques ou chimiques ; ainsi RUTHERFORD et SODDY ont trouvé que le pouvoir émanant de l'oxyde de thorium est trois ou quatre fois plus considérable dans un gaz humide que dans un gaz sec. Le même fait se présente pour les sels de radium.

Du reste, d'une manière générale, la dissolution accroît beaucoup le dégagement de l'émanation et de plusieurs centaines de fois de ce qu'il est à l'état solide. L'action de la chaleur est analogue, quoique moins énergique (2) ; et l'oxyde de thorium calciné dégage une grande quantité d'émanation, mais l'oxyde calciné a perdu de ses propriétés ; l'expérience montre qu'en dissolvant de l'oxyde dans un acide, et en le précipitant, on lui régénère son pouvoir émanant avec une intensité double ou triple.

La vitesse de production de l'émanation est, comme on le voit, une grandeur essentiellement variable, qui dépend d'une foule de circonstances. Néanmoins l'expérience et la théorie s'accordent à montrer que la production de cette émanation par un corps radio-actif, est la même dans tous les cas ; il n'y a de différence

1. C. R., 137, p. 931, 1901.

2. RUTHERFORD et SODDY. *Phil. Mag.*, nov. 1902.

que dans la vitesse de diffusion. A l'état solide, l'émanation reste cachée dans le composé radio-actif, elle se dégage facilement, au contraire, quand celui-ci est dissous. De telle sorte qu'il semble que la vitesse de production de l'émanation est une constante.

Quelle est l'origine de l'émanation ? Pour le thorium, les recherches de RUTHERFORD et SODDY (1) semblent avoir prouvé qu'elle trouve son origine dans le thorium X, et que la radiation du thorium-X accompagne aussi la transformation du thorium X en émanation. Pour ce qui est du radium et de l'actinium, on n'a pu arriver à établir une origine similaire, qui, à tout prendre, paraît certaine ; et cela tient vraisemblablement à ce que ces formes X intermédiaires ont une vie limitée à un intervalle de temps très court.

L'émanation émet-elle des radiations ? RUTHERFORD a cherché à solutionner cette question ; et il a montré que l'émanation ne donne que des rayons α .

RUTHERFORD et SODDY ont également fait un très grand nombre d'expériences destinées à mettre en évidence la nature de l'émanation ; mais quels qu'aient été les réactifs et les températures considérés, ils n'ont pu arriver à la modifier en quoi que ce soit. W. RAMSAY et SODDY (2) ont soumis l'émanation à l'étincelle électrique en présence d'alcali sans plus de succès.

Ces essais ont prouvé d'autre part, que l'émanation est bien une substance gazeuse formée par la subs-

1. RUTHERFORD et SODDY. *Phil. Mag.*, nov. 1902.

2. *Proc. Roy. Soc.*, 72, p. 204, 1903.

tance radio-active elle-même, et non un des corps gazeux connus jusqu'ici, rendu radio-actif. Ce corps gazeux jouit de la diffusibilité dans les gaz à haut degré (1). WALLSTABLE (2) a montré d'autre part que cette diffusibilité s'étend aux liquides divers.

Etant gazeuse ou de la nature d'un gaz, l'émanation doit pouvoir se condenser; c'est ce qui a été prouvé par RUTHERFORD et SODDY (3). Cette condensation a lieu facilement à la température de l'air liquide; mais il résulte de ces recherches que l'émanation du thorium se condense avant celle du radium. Cette émanation condensée se détruit avec la même vitesse qu'à l'état gazeux.

RAMSAY et SODDY (4) ont déterminé le volume d'émanation dégagé par une quantité donnée de radium; et ils ont obtenu ainsi, avec 60 milligrammes de radium, un volume de 0 cmc. 124 en huit jours. Ce volume s'était spontanément réduit à 0 cmc. 004 en 28 jours.

Dans une autre expérience, ils obtinrent 0 cmc. 0254 de gaz, mais au lieu de diminuer de volume il augmenta avec le temps. Cette augmentation de volume nous conduit à dire un mot des produits de transformation de l'émanation.

RAMSAY et SODDY (5) ont montré que l'émanation du radium se transforme en hélium. Les faits que l'on

1. RUTHERFORD et MISS BROOKS. *Trans. Roy. Soc. Canada*, 1901.

2. WALLSTABLE. *Phys. Zeit.*, 4, 721, 1901.

3. *Phil. Mag.*, nov. 1902. CURIE, *Soc. franç. phys.*, 1903.

4. *Proc. Roy. Soc.*, 78, n° 494, p. 346, 1904.

5. *Proc. Roy. Soc.*, 77, p. 204, 1903.

possède jusqu'à présent en faveur de cette manière de voir sont, à vrai dire, peu nombreux ; mais il n'en reste pas moins très probable que l'hélium, ce nouveau gaz de l'atmosphère, si rare et qui a été trouvé dans certains minerais et dans certaines sources, est l'un des produits de la transformation ou dématérialisation des corps radio-actifs.

CHAPITRE VII

LA RADIO-ACTIVITÉ INDUITE

Parmi toutes les remarquables propriétés des substances radio-actives, celle de communiquer une radio-activité aux objets environnants, découverte par M. et M^{me} CURIE (1) puis par RUTHERFORD (2) se signale particulièrement par sa nature plus extraordinaire encore.

Une substance qui a été exposée pendant quelque temps en présence du radium ou du thorium, devient radio-active et se comporte comme si elle était recouverte d'un dépôt invisible d'un corps jouissant de propriétés radio-actives énergiques. Mais cette radio-activité n'est que temporaire et disparaît au bout de quelques heures ou de quelques jours. On lui a donné le nom de radio-activité induite.

C'est ainsi, par exemple, que les parois d'un vase renfermant un composé du thorium ou du radium deviennent radio-actives. Mais RUTHERFORD a montré

1. C. R., 129, 714, 1899.

2. *Phil. Mag.*, janv.-fév. 1900.

que, si dans ces conditions il existe une électrode négative dans le vase, toute la radio-activité induite se concentre sur celle-ci, le vase étant positivement chargé.

En examinant les conditions dans lesquelles se produit la radio-activité induite, on découvre rapidement qu'il y a entre elle et l'émanation d'étroits rapports ; et l'expérience montre que non seulement la présence de l'émanation est nécessaire pour produire la radio-activité induite mais encore que cette radio-activité induite est proportionnelle à l'intensité de l'émanation présente. La radio-activité induite est donc bien une propriété de l'émanation.

L'expérience montre, en outre, que la radio-activité induite est le fait d'un dépôt à la surface des corps : et l'on en trouve une preuve immédiate en ce fait, qu'une spirale en fil de fer rendue active par induction, immergée dans un liquide acide (1) de telle sorte que le métal à la surface seul soit dissous, perd toute son activité qui passe intégralement dans le liquide dissolvant. De même on peut enlever cette matière radio-active en frottant la surface des objets avec une peau de chamois et du sable fin. Il est vrai que la nature de ce dépôt est inconnue, et que tout ce que l'on peut dire de lui c'est qu'il a un poids tellement faible qu'il ne peut être mis en évidence par l'emploi de la balance la plus sensible.

De telle sorte que, quoiqu'il n'y ait pas en réalité induction radio-active, on a conservé ce terme qui

1. RUTHERFORD. *Phil. Mag.* feb., 1900.

veut dire en réalité radio-activité par dépôt d'une matière active. Les trois corps radio-actifs, qui donnent lieu à un dégagement d'émanation, le thorium, le radium et l'actinium, sont tous les trois susceptibles de donner naissance à ce phénomène d'induction radio-active : mais l'expérience montre qu'il existe des différences de nature chimique dans les dépôts ainsi formés.

On a montré d'autre part qu'il ne s'agit pas dans chaque cas isolé d'une substance une, mais d'un ensemble de plusieurs constituants qui ont des propriétés physiques et chimiques distinctes. On admet que l'émanation est un corps instable ; qui se désintègre en donnant des particules α qui s'échappent, et en un résidu qui se fixe sur les corps ; résidu qui subirait une modification ultérieure plus profonde. Entre l'émanation et le dépôt, cause de l'activité induite, il y aurait les mêmes relations qu'entre les éléments X et l'émanation.

La durée de cette activité induite est essentiellement variable, et dépend du corps radio-actif qui l'a provoquée, et aussi de la durée d'exposition du corps à l'action de l'émanation radio-active. De nombreux chiffres ont été donnés à ce sujet. Il faut noter que la durée de cette radio-activité est indépendante des conditions physiques et chimiques envisagées.

F. VON LARCH (1) a fait une étude assez détaillée des propriétés chimiques de cette activité induite ou dépo-

1. *An. de Phys.*, 12, p. 745, 1903.

sée. Il a notamment remarqué que si l'on dissout dans l'acide nitrique une spirale de fil de cuivre rendue radio-active, et qu'on précipite ensuite le cuivre de sa solution par un alcali, le précipité d'hydrate de cuivre retient la plus grande partie de l'activité primitive du cuivre. Le même fait a été constaté pour un fil de magnésium, transformé en chlorure puis en phosphate insoluble.

L'activité de ces précipités décroît, comme l'aurait fait l'activité induite sur les matériaux primitifs. Le même auteur a cherché à déterminer la solubilité du dépôt dans divers réactifs, en opérant avec un fil de platine rendu radio-actif. Il a constaté que la dissolution s'effectue bien dans les acides, mais non dans l'éther ou l'alcool. On peut précipiter la substance active dissoute dans un liquide en formant un précipité au sein de celui-ci, par exemple un précipité de sulfate de baryum.

Si l'on soumet, d'autre part, à l'électrolyse une dissolution chlorhydrique de la matière active déposée, toute la matière radio-active se concentre sur la cathode, et il n'en apparaît nulle trace sur l'anode ; et la cathode perd son activité rapidement avec une cathode platinée, mais décroît au contraire normalement avec une cathode amalgamée. LERCHE croit en pouvoir déduire que le dépôt radio-actif comprend au moins une substance apte à être ainsi séparée par l'électrolyse.

La chaleur semble volatiliser ce dépôt radio-actif ; ainsi un fil de platine rendu radio-actif par induction,

chauffé au rouge blanc, perd sa radio-activité ; mais il résulte, des recherches de M^{lles} GATÈS (1), que cette activité volatilisée se dépose sur les objets environnants froids. Suivant LERCHE cette volatilité serait maximum à 1460 degrés C. et déjà sensible à 1260 degrés ; elle serait nulle à 800 degrés.

1. *Phys. Review.*, p. 300, 1903.

CHAPITRE VIII

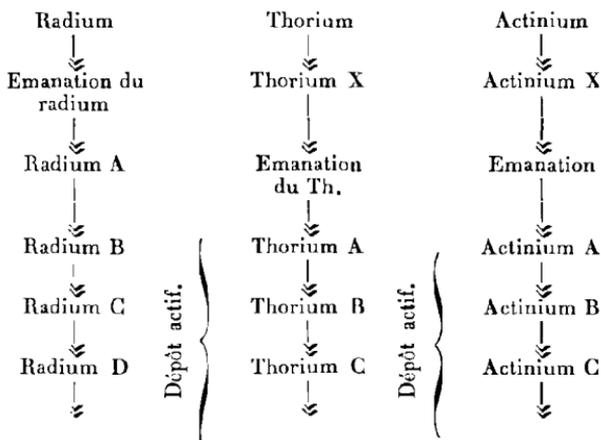
L'ÉVOLUTION DES CORPS RADIO-ACTIFS

La radio-activité n'est pas un phénomène simple ; ce n'est pas une propriété de la matière analogue aux autres propriétés ; mais c'est un phénomène global qui doit être considéré comme la résultante d'une série de phénomènes dont nous allons maintenant essayer de faire comprendre la nature. C'est ainsi que le thorium, pour prendre un exemple, donne du thorium X ; celui-ci se transforme en émanation, et l'émanation elle-même en substance non volatile qui provoque l'activité induite.

Chacun de ces produits possède des propriétés physiques ou chimiques distinctes, qui le différencient des produits précédents et suivants. C'est ainsi que le thorium X, est un solide soluble dans l'ammoniaque, quoique le thorium y soit insoluble ; l'émanation du thorium est un gaz chimiquement inerte qui se condense à — 120 degrés C ; le dépôt actif de l'émana-

tion se comporte comme un corps solide soluble dans les acides.

Le grand nombre de ces produits de désintégration successifs amène une certaine complication de nomenclature, à laquelle on a proposé plusieurs solutions. La plus pratique paraît être celle de RUTHERFORD : il donne à chacun des produits successifs de désintégration, le nom des lettres successives de l'alphabet. On aura, par exemple, pour les trois substances radio-actives les plus complexes : le radium, le thorium et l'actinium, la série suivante de transformations :



Dans cette manière de voir, on admet que A se transforme en B ; B en C ; C en D, etc. On admet encore que chacune de ces transformations s'effectue suivant une réaction monomoléculaire. Nous ne saurions entrer

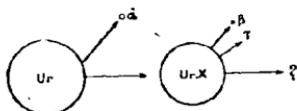
ici dans la discussion mathématique fort intéressante de cette théorie ; nous nous contenterons d'en signaler les traits les plus saillants.

Il est nécessaire de rappeler d'abord, en quelques mots, la théorie de la désintégration atomique développée par RUTHERFORD et SODDY ; d'après celle-ci, la radio-activité est une propriété atomique, qui diffère des autres propriétés atomiques de la matière, en ce sens qu'elle n'appartient à chaque instant qu'à un petit nombre d'atomes dans la masse totale. Ces atomes, pour une cause inconnue encore, éclatent, lançant dans l'espace avec une formidable vitesse leurs produits de destruction. Suivant cette théorie encore, l'anéantissement de l'atome ne s'effectue pas en un seul cycle, en une seule opération ; mais au contraire elle a lieu suivant un nombre assez grand, et variable d'un corps à un autre, de stades successifs. Ce sont les produits de cette désintégration atomique que nous nous proposons d'examiner maintenant.

Dès l'abord, on notera sans peine que d'un élément radio-actif au suivant, ces produits devront varier, puisque les propriétés des radiations qu'ils émettent varient. Il faut donc considérer dans cette étude, chacun des éléments radio-actifs séparément.

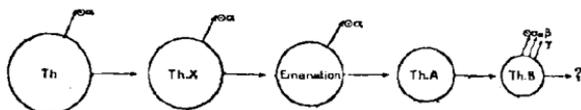
L'uranium donne des rayons α , β et γ . Nous avons vu qu'il est possible de séparer totalement de l'uranium pendant un instant donné, toutes ses radiations β et γ sous forme d'uranium-X. Dès lors, il paraît comme très vraisemblable que dans une première phase, la désintégration de l'uranium donne des

rayons α et de l'uranium X ; puis l'uranium X se désintègre à son tour, en donnant un produit inconnu encore, et des rayons β et γ ; RUTHERFORD représente ces faits par le graphique suivant :



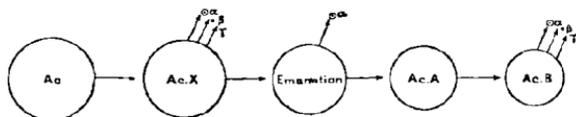
Avec le thorium le phénomène prend immédiatement une allure plus complexe. Le thorium se transforme en thorium X, comme l'uranium en uranium X ; puis le thorium X se transforme en émanation, et l'émanation elle-même en un produit qui produit l'activité induite et qui, très vraisemblablement, est formé de deux substances distinctes, le thorium A qui donne du thorium B radio-actif, se transformant lui-même en un corps nouveau, inconnu.

Ces diverses transformations s'effectuent avec production de rayons α , jusqu'au thorium B qui se désintègre en donnant des rayons α , β et γ . Ces faits peuvent être représentés graphiquement comme suit :



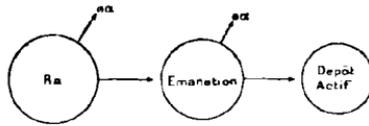
La désintégration de l'actinium se rapproche beau-

couple de celle du thorium, avec cette différence cependant, que l'actinium-X, en se désintégrant donne vraisemblablement des rayons α , β et γ ; il y a également production d'émanation qui se désintègre en donnant des rayons α et de l'actinium A, qui par explosion ultérieure donne de l'actinium B, conduisant lui-même avec émission de radiations, α , β et γ à un produit inconnu. L'actinium se distingue donc du thorium du fait de sa première désintégration qui s'effectue sans émission de radiations. On peut représenter graphiquement ce qui précède comme suit.

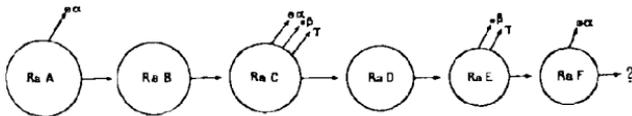


Le mode de désintégration du radium se rapproche beaucoup de celui du thorium et de l'actinium dans son allure générale. Comme pour les corps précédents, il y a formation d'émanation, qui à son tour se désintègre en donnant de l'activité induite ; il faut noter qu'il n'existe pas de radium X.

L'atome de radium se désintègre à une vitesse constante avec émission de particules α . Le résidu de l'atome de radium devient atome d'émanation ; ce corpuscule se désagrège à son tour avec expulsion d'une particule α en donnant un atome de dépôt actif. Cet ensemble de faits peut être représenté par la figure :



Ici ce phénomène se complique beaucoup : la matière initiale au dépôt actif a reçu le nom de radium A, et elle se transforme successivement en toute une série de formes plus simples qui sont le radium B, C, D, E, F, etc. Le radium A perd une particule α et donne le radium B ; celui-ci se transforme sans perte en radium C ; le radium C à son tour se désintègre en donnant des particules α et des rayons β et γ et du radium D ; celui-ci se transforme en radium E directement. Le radium E émet des particules β et des rayons γ , et donne du radium F, dont la désintégration s'effectue à son tour avec émission de particules α et d'un produit inconnu. Ces faits sont figurés dans le schéma suivant, dû à RUTHERFORD :



CHAPITRE IX

L'ÉNERGIE EN JEU DANS LES PHÉNOMÈNES RADIO-ACTIFS

Le phénomène de la radio-activité est un phénomène énergétique. Nous avons vu que les radiations issues des corps radio-actifs jouissent de puissantes propriétés physiques et chimiques. Ces phénomènes ne sauraient se produire sans une mise en jeu d'énergie, et sans une dépense corrélative de travail chimique. Il nous faut maintenant examiner d'un peu plus près la grandeur de cette émission d'énergie, de façon à en tirer ultérieurement des conclusions serrées quant à la valeur elle-même du processus radio-actif.

RUTHERFORD et Mc. CLUNG ont d'abord cherché à déterminer quelle est la quantité d'énergie mise en jeu dans les rayons α , agents d'ionisation, et ils ont à cet effet déterminé l'énergie nécessaire pour produire un ion; en multipliant ce nombre par le nombre d'ions, ils ont déterminé l'énergie due aux rayons α . Pour produire un ion, il faut $1,90 \times 10^{-10}$ ergs. D'après cela on calcule qu'un gramme d'oxyde d'uranium étendu en couche mince donne 0,032 calories-grammes par an, chiffre très faible mais qui devient plusieurs mil-

lions de fois plus considérable dans le cas d'un corps radio-actif puissant comme le radium. C'est surtout en considérant ce dernier corps qu'on arrive à se faire une juste idée de la somme extraordinaire d'énergie que représente le phénomène de la radio-activité, et dont la grandeur est aussi surprenante que l'origine elle-même.

CURIE et LABORDE (1) ont montré d'abord, que les composés radifères ont toujours une température supérieure de plusieurs degrés (3°) à celle du milieu ambiant. Ce seul fait constitue une preuve évidente et manifeste que le radium est une source énergétique. Suivant ces auteurs, 0 gr. 150 de chlorure de radium pur dégage environ 14 calories-grammes par heure ; d'après RUNGE et PRÉCHT (2), un gramme de radium donnerait 2,40 calories grammes par jour.

On sait que l'activité du radium croît pendant un mois après sa préparation, et que ce fait est dû à l'occlusion d'émanation jusqu'à un certain point de saturation : RUTHERFORD et BARNES (3) ont cherché la quantité de chaleur dégagée par cette émanation ; et ils ont trouvé que l'émanation extraite d'un gramme de radium donnerait 42 cal.- gr. par heure. Comme pour le radium lui-même, cette quantité de chaleur dégagée est proportionnelle à la quantité de radiations α émises. La matière solide que l'émanation dépose et qui provoque l'activité induite, dégage elle aussi une certaine quantité de chaleur.

1. C. R. t. CXXXVI, p. 673, 1903.

2. Sitz. AK. Wiss., Berlin, n° 38, 1903.

3. Phil. Mag., feb. 1904.

Dans ces différents cas, c'est surtout aux radiations α que semble appartenir le maximum d'effet ; on sait, du reste, que l'énergie cinétique des particules β émises par le radium, représente environ la centième partie de celle due aux particules α ; et l'expérience montre que l'effet thermique dû aux rayons β est très faible vis-à-vis de celui dû aux rayons α . Il en est de même en ce qui touche aux rayons γ . Cela résulte à coup sûr des expériences de PASCHEN (1) et de celles de RUTHERFORD et BARNES (2).

D'après la théorie de la désintégration atomique proposée par RUTHERFORD et SODDY, et que nous admettons comme vraie ici, l'énergie qui se révèle ainsi sous forme de chaleur est l'énergie inter-atomique propre à l'atome de radium lui-même. Cet atome nous apparaît comme un système complexe, formé de particules chargées électriquement, animées de rapides mouvements, et qui contient par conséquent une grande quantité d'énergie latente qui se manifeste quand les forces de cohésion qui retiennent ces diverses fractions en un tout atomique viennent à se rompre. Quand, pour une raison quelconque, le système atomique vient à se rompre, les particules α de masse environ double de celle d'un atome d'hydrogène s'échappent, emportant avec elles leur énergie de mouvement. Mais ces particules sont en majeure partie arrêtées par la masse matérielle elle-même du

1. *Phys. Zet.*, 15 sept. 1904.

2. *Phil. Mag.*, mai 1905.

radium qui, soumis à un self-bombardement s'échauffe.

Très vraisemblablement ce phénomène n'est pas le seul qui intervienne : quand une particule α s'échappe d'un atome, il en résulte un trouble profond, de nature électrique sans doute, dans l'état d'équilibre structural intime de celui-ci ; et les diverses fractions de ce reste d'atome désintégré doivent s'arranger de nouveau pour donner un nouveau système en équilibre permanent ou temporaire. Le processus s'effectue probablement avec émission d'énergie.

Le calcul semble confirmer cette théorie. Un gramme de radium émet environ $2,5 \times 10^{11}$ particules α par seconde ; l'énergie cinétique de ces particules est de $5,9 \times 10^6$ ergs ; l'énergie totale des particules émises par un gramme de radium par seconde est donc de $1,5 \times 10^6$ ergs, ceci correspond à 130 gr.-cal. par heure ; l'expérience en donne 100. L'approximation paraît très satisfaisante et semble bien confirmer que la majorité de l'effet thermique du radium est due aux particules α .

Nous n'insisterons pas sur le cas de l'uranium, du thorium et de l'actinium, qui ne présentent aucun intérêt particulier.

Il faut noter que l'effet thermique dont il vient d'être question donne une mesure de l'énergie des particules α elles-mêmes et permet, de la sorte, le calcul de l'émission énergétique due à un produit radio-actif quelconque connaissant la quantité de particules α produites par un poids donné de ce produit radio-actif.

Dans ce calcul, on admet que chaque particule α est chassée avec une énergie qui est sensiblement la même dans chaque cas.

Dans le même ordre d'idées, on a déterminé par le calcul le nombre d'ions produits par une particule α ; on a trouvé que ce nombre est de 86.000. Comme il résulte des expériences de BRAGG qu'une particule α est absorbée à 3 centimètres de distance du corps radio-actif, on voit qu'une particule α produit 29.000 ions par centimètre de distance parcouru dans un gaz à la pression ordinaire ; la variation étant proportionnelle à la pression, sous un millimètre de mercure, il y aurait 38 ions de produits.

On a également calculé le nombre de radiations β produites par un poids donné de radium ; ces particules sont presque uniquement produites par le radium C ; leur nombre a été trouvé voisin de $7,3 \times 10^{10}$ par seconde et par gramme de radium.

CHAPITRE X

NATURE DU PROCESSUS DE RADIO- ACTIVITÉ

Nous avons appris à connaître jusqu'ici les substances radio-actives et leurs propriétés générales ; il est temps de dire un mot maintenant de la nature intime elle-même du processus de radio-activité.

C'est un phénomène de nature essentiellement atomique ; et cela a été établi par les premières recherches.

JEAN PERRIN (1) fut le premier à admettre que l'atome des corps radio-actifs pourrait bien être un système de constitution similaire au système planétaire. A partir de ce moment, on a vu surgir un grand nombre de théories explicatives de ces phénomènes. La plus complète et la plus précise, semble-t-il, est la théorie de la désintégration atomique.

Suivant cette théorie, l'atome de substance radioactive, agrégat d'énergie matérialisée, se scinderait par

1. *Revue scientifique*, 13 avril 1901.

explosion successive des produits divers, chaque dislocation partielle étant ou n'étant pas accompagnée de la production de radiations : rayons α , β ou γ .

Nous avons vu, en effet, qu'il est possible de suivre, pour un atome donné de substance radio-active, ces diverses transmutations, au fur et à mesure que l'atome se désintègre et se simplifie par self-explosion avec émission d'énergie sous forme de radiations.

Mais il faut noter que suivant cette théorie dite de la désintégration atomique, la radio-activité, dans un corps donné, n'appartient à chaque instant qu'à un petit nombre d'atomes. Dans un corps radio-actif, les atomes ne feraient pas explosion soudainement et brusquement ; mais au contraire d'une façon en quelque sorte systématique et méthodique, sans que ce phénomène présente à aucun moment aucune analogie avec le phénomène proprement dit de l'explosion des corps explosifs.

A tout moment, il existe dans un corps radio-actif un petit nombre d'atomes en voie de désintégration, et une masse centrale qui demeure momentanément neutre et inactive.

Quelle est la cause qui amène un atome stable à exploser soudainement ? Nous l'ignorons encore.

On désigne quelquefois ces atomes en voie de désintégration sous le nom de métabolons, et cette expression sert encore à désigner les fractions matérielles successives produites au cours de la désintégration de l'atome. L'existence de ces métabolons paraît indiscutablement établie.

Voici d'après RUTHERFORD la liste des différents métabolons susceptibles d'être obtenus par la désintégration du radium, de l'actinium, du thorium et de l'uranium ; dans ce même tableau, on a indiqué en même temps la durée de vie moyenne de chacun d'eux, la grandeur de la constante de radio-activité correspondante, et la nature des radiations accompagnant des explosions successives.

PRODUITS	λ (SECONDES) ⁻¹	T	NATURE DES RADIATIONS	PROPRIÉTÉS
Uranium ↓ ⇓	—	—	α	Soluble dans un excès de carbonate d'ammonium et dans l'éther.
Uranium X ↓ ⇓	$3,6 \times 10^{-7}$	22 jours	β et γ	Insoluble dans le carbonate d'ammoniaque en excès, soluble dans l'éther aqueux.
Thorium ↓ ⇓	—	—	α	Insoluble dans l'ammoniaque en excès.
Thorium X ↓ ⇓	$2,0 \times 10^{-6}$	4 jours	α	Soluble dans une solution ammoniacale aqueuse.
Émanation ↓ ⇓	$1,3 \times 10^{-3}$	53 second.	α	Gaz chimiquement inerte de poids moléculaire élevé ; se condense à — 120° C.

PRODUITS	λ (SECONDES) ⁻¹	T	NATURE DES RADIATIONS	PROPRIÉTÉS
Thorium A ⇓	$1,74 \times 10^{-6}$	11 heures	α	Se déposent sur les corps; se concentrent sur une cathode dans un champ électrique. Sont solubles dans quelques acides. Possèdent quelques propriétés électro-chimiques.
Thorium B ⇓	$2,2 \times 10^{-4}$	55 minutes	α, β, γ	
Actinium ⇓	—	—	α	Insoluble dans l'ammoniaque.
Actinium X ⇓	$7,8 \times 10^{-7}$	10,2 jours	α (et β ?)	Soluble dans l'ammoniaque en excès.
Émanation ⇓	0,17	3,9 secondes	α	Se conduit comme un gaz.
Actinium A ⇓	$3,2 \times 10^{-4}$	36 minutes	α	Se déposent sur les corps, se concentrent sur une cathode dans un champ électrique; solubles dans l'ammoniaque et les acides forts; volatils à 1000°. Séparables par électrolyse.
Actinium B ⇓	$5,4 \times 10^{-3}$	2,15 minut.	α, β et γ	
— ?	—	—	—	
Radium ⇓	—	1,300 ans	α	Allié chimiquement au baryum.

PRODUITS	λ (SECONDES) ⁻¹	T	NATURE DES RADIATIONS	PROPRIÉTÉS
Émanation ↓ ⇓	$2,1 \times 10^{-6}$	3,8 jours	α	Gaz inerte, de poids moléculaire élevé, se condense à — 150°.
Radium A ↓ ⇓	$3,85 \times 10^{-3}$	3 minutes	α	Se déposent sur les corps, se concentrent sur une cathode. Solubles dans les acides forts B volatil à 700°. A et C volatils à 1000°.
Radium B ↓ ⇓	$5,38 \times 10^{-4}$	28 minutes	0	
Radium C ↓ ⇓	$4,13 \times 10^{-4}$	28 minutes	α, β et γ	
Radium D ↓ ⇓	—	4 ans	0	Solubles dans les acides, volatil au-dessous de 1000°.
Radium E ↓ ⇓	$1,3 \times 10^{-6}$	6 jours	β et γ	Non volatil à 1000° C.
Radium F ↓ ⇓	$5,6 \times 10^{-8}$	143 jours	α	Se dépose sur le bismuth, immergé dans ses solutions ; volatil à 1000° C. Ressemble au radio-tellure et au polonium.
	—	—	—	

La théorie permet d'évaluer la quantité de chacun de ces produits. C'est ainsi que RUTHERFORD indique qu'on a, dans le cas du radium :

Produits	Valeur en λ^{-1}	Nombre d'atomes N par gramme	Poids du produit en mg. par gram. de radium
Émanation du Radium ↓ ⇓	$2,0 \times 10^{-6}$	$3,2 \times 10^{16}$	8×10^{-3}
Radium A ↓ ⇓	$3,8 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{13}$	4×10^{-6}
Radium B ↓ ⇓	$5,4 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{14}$	3×10^{-6}
Radium C	$4,1 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{14}$	4×10^{-5}

Si l'on considère la suite des produits de désintégration du radium, on constate que certains processus de désintégration ne sont pas accompagnés par l'expulsion de radiations α , β ou γ . Ces transformations ne peuvent donc être déterminées directement, et leur existence est déduite indirectement des mesures de durée d'activité des autres produits intermédiaires.

D'autre part, l'expérience montre que dans la suite successive des désintégrations atomiques on ne trouve généralement que des radiations α ou β ; les rayons γ n'apparaissent que dans les explosions violentes qui

entraînent soit la destruction finale et totale de l'atome, soit une destruction partielle très profonde.

Mais ces explosions ou désintégrations successives des atomes d'un corps, doivent forcément conduire finalement à une disparition complète, à un évanouissement dans le néant, de la substance radio-active elle-même ; c'est effectivement ce qui a lieu au bout d'une période de temps plus ou moins longue, et nous en avons exposé ailleurs toutes les conséquences.

On peut évaluer, du reste, le temps probable au bout duquel un poids donné de matière radio-active se sera fondu dans le néant. Nous avons vu que le radium, par exemple, émet au minimum $6,2 \times 10^{10}$ particules α par seconde, et que chaque particule α est libérée par la désintégration d'un atome ; il y a donc environ $6,2 \times 10^{10}$ atomes de radium en voie de désintégration par seconde et par gramme de matière.

Or, l'expérience et le calcul montrent qu'à la température et à la pression normales un centimètre cube d'hydrogène renferme $3,6 \times 10^{19}$ molécules. Le poids atomique du radium étant 225, chaque gramme de radium renferme très approximativement $3,6 \times 10^{21}$ atomes. La fraction de radium λ qui se désintègre par seconde est de $1,95 \times 10^{-11}$ ou $5,4 \times 10^{-4}$ par an. Il s'ensuit que pour un gramme de radium, il y a environ un demi-milligramme qui se désintègre par année. La vie moyenne du radium est donc de mille huit cents ans ; et l'on en peut déduire encore qu'au bout de mille trois cents ans, la moitié du radium aurait disparu.

Ces faits, et d'autres encore que nous ne saurions accumuler ici, sans donner à cette notice une importance qu'elle ne saurait avoir, ont conduit à admettre que les substances radio-actives n'ont pas existé de tout temps ; mais qu'elles sont le résultat de la désintégration d'autres éléments. Le radium, par exemple, serait l'un des produits de la désintégration atomique de l'uranium, par un processus analogue à celui que suit le radium lui-même pour se transformer en émanation. On trouve une certaine vérification de cette hypothèse en constatant que les minerais uranifères renferment une quantité de radium proportionnelle à leur teneur en uranium (1). Pour les autres éléments radio-actifs, il y aurait également un autre élément qui en serait le générateur.

Ayant ainsi mis en évidence l'origine des matières radio-actives, il nous reste à dire un mot des produits finaux de leur désintégration ; produits qui ne sont pas radio-actifs et qui doivent représenter une fraction minime de la masse primitive. Seuls jusqu'ici on connaît les produits de destruction ultime du radium. L'expérience montre que les minerais radifères renferment de l'hélium, et RAMSAY et SODDY (2), en étudiant de près les produits de désintégration de l'atome du radium, ont indubitablement mis en évidence que le terme ultime de sa désintégration donne naissance à de l'hélium.

1. BOLTWOOD. *Nature*, Mai 1904. *Mc. Cox. Ber. d., D. Ch. Ges.* 1904, p. 2641.

2. *Proc. Roy. Soc.*, 72. p. 204. 1903.

L'hélium apparaît toujours après que l'émanation a disparu ; et cela indique, soit que l'hélium est un des produits finaux de la désintégration du radium, soit que l'hélium forme en réalité les particules des rayons α eux-mêmes. Il semble, quant à présent, que cette dernière supposition est la bonne, et l'on en possède un certain nombre de preuves convaincantes ; et si cette hypothèse est réelle, tous les corps radio-actifs donnant des particules α se trouvent être à la fois des générateurs d'hélium. Il en résulte encore que les atomes des corps radio-actifs sont des composés d'hélium avec autre chose.

Une très curieuse conséquence de cette manière de voir se trouve être la suivante : le poids atomique de l'hélium étant de 4, si les radiations α sont des particules d'hélium, le poids atomique des différents produits de désintégration doivent différer l'un de l'autre d'un nombre entier de fois ce chiffre. Ainsi le radium, poids atomique 225,5 proviendrait de l'uranium, poids atomique 238 par perte de trois particules α . Le radium, dans ses différents produits de désintégration, perd cinq particules α , le produit final de cette désintégration doit donc avoir un poids atomique inférieur de 20 ($4 \times 5 = 20$), soit 205,5 environ ; chiffre très voisin du poids atomique du plomb et il semble à RUTHERFORD et BOLTWOOD (1) que le dernier produit de la désintégration du radium soit effectivement du plomb, dont on trouve toujours de petites

1. *Phil. Mag.*, août 1905.

quantités dans les minerais uranifères. Ces faits sont encore, sans doute, de simples spéculations de l'esprit, peut-être seront-ils la vérité de demain.

Nous en retiendrons simplement que l'hélium se rencontre seulement dans les minerais radio-actifs, et qu'il se trouve emprisonné dans la masse même de la matière solide ; et quant à ce qui touche son origine, telle que nous l'avons exposée, elle semble indubitablement certaine.

CONCLUSIONS

La chimie des substances radio-actives en est à son aurore ; nous faisons à peine nos premiers pas dans un monde où tout est nouveau pour nous. La matière, considérée jusqu'ici comme une et immuable, nous apparaît, à la lumière des découvertes de la science moderne, comme complexe dans ses attributs et comme source féconde de faits insoupçonnés. L'énergie, qui partageait avec le monde matériel les attributs de l'immuabilité, nous paraît sortir de la destruction ou désintégration de la matière qui en détient une inépuisable quantité !

L'expérience montre que le domaine de la radio-activité ne doit pas être borné à l'étude des quelques substances particulièrement actives que nous venons de voir au cours des pages précédentes. Nous avons vu dans un précédent volume que cette propriété nouvelle semble être une propriété universelle. Nous avons ici appris à la mieux connaître, sur des exemples qui brillent par leur splendeur et leur intensité.

Propriété appartenant depuis de longues périodes d'années, sinon depuis le commencement des âges

géologiques à la matière, il a fallu pour la mettre en évidence le concours dévoué de deux sciences longtemps éloignées l'une de l'autre, et que l'on tend aujourd'hui, sous le nom de physico-chimie, à unir en une science presque nouvelle peut-on dire, qui a pour objet l'étude des phénomènes du monde.

Sortie du génie de la science française, l'étude de la radio-activité a conquis ses plus beaux fleurons grâce à cette merveilleuse et féconde collaboration qui, devançant la réalisation des plus hypothétiques chimères sociales, a réuni dans une même et ardente communion d'efforts, les savants de tous les pays, impatients de découvrir la vérité finale, et d'atteindre cette infatigable fugitive.

Les horizons nouveaux ouverts par ces merveilleuses découvertes apparaissent peu à peu ; et déjà on peut prévoir que le siècle qui commence et dont l'aurore a brillé des rayons du radium, nous fournira peut-être le moyen d'égaliser l'Homme au Dieu des Mythologies antiques !

Principales publications de M. le Prof. Pozzi-Escot

EN VENTE:

à Paris: chez MM. Jules Rousset, Dunod, Gauthier-Villars,
Ch. Béranger et Masson, éditeurs.

à Madrid: chez MM. Bailly-Baillière e Hijos.

à New-York: chez John Wiley and Sons.

-
- Analyse chimique qualitative. (ENCYCLOPÉDIE DES AIDE-MÉMOIRE SCIENTIFIQUES H. LÉAUTÉ). Gauthier-Villars et Masson, éditeurs, Paris. Prix, broché 2 fr. 50, cartonné 3 fr.
- Analyse microchimique et spectroscopique (ENCYCLOPÉDIE DES AIDE-MÉMOIRE H. LÉAUTÉ). Gauthier-Villars et Masson, éditeurs, Paris. Prix broché, 2 fr. 50, cartonné 3 fr.
- Méthode résumée d'Analyse microchimique qualitative. Grand in-8°, nombreuses figures. Sociétés d'Éditions scientifiques, Editeur. Prix, broché 2 fr.
- Traité théorique et pratique d'Analyse minérale par les méthodes volumétriques et colorimétriques. In-12, Veuve Ch. Dunod, éditeur, Paris. Prix, broché 4 fr. 50
- Analyse des gaz (ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE H. LÉAUTÉ). Gauthier-Villars et Masson, éditeurs, Paris, 1900. Prix, broché 2 fr. 50, cartonné 3 fr.
- Les Diastases et leurs applications (ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE H. LÉAUTÉ). Gauthier-Villars et Masson, éd. Prix, broché 2 fr. 50, cartonné 3 fr.
- Etat actuel de nos connaissances sur les Oxydases et les Réductases. Un volume in-16. Préface du Dr J. de Rey Pailhade, ingénieur des mines. Dunod, éditeur. Paris, 1902. Prix 4 fr.
- Introduction à l'Étude de la Chimie agricole et végétale en collaboration avec M. le Dr K. Aso, de Tokio (Japon). In-16. F. de Rudeval, éditeur, Paris. Prix, broché 4 fr.
- Nature des Diastases. Petit in-12. J. Rousset, édit., Prix, broché. 3 fr.
- Travaux récents sur le rôle et la formation synthétique de l'Arginine chez les végétaux. Brochure grand in-8° de 30 pages broché. Paris, 1903. Prix 1 fr.
- The Reducing Enzymes. Grand in-8°. Ira Remsem Editor Baltimore. Edition en anglais, broché, 1903. Prix. 3 fr.
- L'Énergie chimique primaire de la matière vivante, en collaboration avec M. le Professeur Oscar Lœw, de Tokio (Japon). In-16, Jules Rousset, éditeur, 1904. Prix, broché 4 fr.
- Recherches sur la possibilité de détruire l'acide sulfureux dans les mélasses. Grand in-8° (médaillon d'or de l'Association des chimistes, broché 0 fr. 50
- Progrès récents dans les Industries de fermentation. Grand in-8°. nombreuses figures (BIBLIOTHÈQUE DE MOIS SCIENTIFIQUE ET INDUSTRIEL) Veuve Ch. Dunod, éd. teur. Paris, 1905. Prix 2 fr. 50
- Précis de Chimie Physique. Un grand vol. in-8° relié toile. Etudes résumées des théories les plus nouvelles de la chimie. 37 fig. Rousset, éditeur, 1906. Prix. 6 fr.
- Phénomènes de Réduction dans les organismes. Broché 1 fr. 50
- Mécanique chimique: Broché. In-18. Prix 1 fr. 50
- Les Toxines, les Venins et leurs anti-corps, broché. Prix 1 fr. 50
- Les Sérums Immunisants, in-8° broché. Prix 1 fr. 50
- Recherches sur le Mécanisme d'Acclimatation des levures à l'acide sulfureux, in-8° broché. Prix. 2 fr.
- Compendio de Quinico-Fisica, un volume grand in-8°. Bailly-Baillière, éditeurs à Madrid.
- Toxines, Poisons, and antibodies, un volume petit in-18, relié toile (Dr A. I. Cohn) John Wiley and Sons, éditeurs, New-York.

Les Actualités Chimiques et Biologiques

Collection nouvelle à 1 fr. 50 le volume

Cette nouvelle collection se distingue par son caractère nettement utilitaire; nous avons voulu mettre à la disposition des hommes d'étude des résumés clairs et précis, tout à fait au courant des dernières acquisitions de la Science, leur permettant de suivre sans peine, et à peu de frais, les idées générales directrices, les variations de l'évolution scientifique et industrielle de ces deux branches les plus importantes du savoir humain, la chimie et la biologie, si étroitement unies l'une à l'autre.

Les **Actualités Chimiques et Biologiques** ne font double emploi avec aucun autre livre; mais à elles seules constitueront une bibliothèque complète des questions d'actualité à ordre du jour. Elles permettront à l'homme d'étude, à l'étudiant, aux chercheurs de toute sorte, aux médecins, aux ingénieurs, d'avoir à portée de la main sous une forme concise et précise, les données les plus récentes de la science sur les questions qui les intéressent.

La direction technique de cette collection a été confiée à M. le Professeur Pozzi-Escot, dont le nom est suffisamment connu pour nous dispenser d'insister sur ce choix.

L'EDITEUR

N. B. — Telle a été la notice qui a figuré il y a un an à peine sur le premier volume de cette collection. Depuis lors, le succès de celle-ci a dépassé toutes nos prévisions. Les premiers volumes déjà épuisés ont été réimprimés. Beaucoup d'entre eux ont été traduits en plusieurs langues. C'est un succès dont nous sommes légitimement fiers et qui atteste de l'utilité de notre œuvre!

Imp. BONVALLOT-JOUVE, 15, rue Racine, Paris