

93
D3

242H

D3

ITÉS SCIENTIFIQUES



LE RADIUM

ET

LA RADIOACTIVITÉ

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES. — EMPLOIS MÉDICAUX.

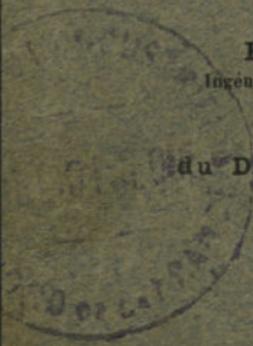
PAR

Paul BESSON,

Ingenieur des Arts et Manufactures.

AVEC UNE PRÉFACE

du **D^r A. d'ARSONVAL,**
Membre de l'Institut.



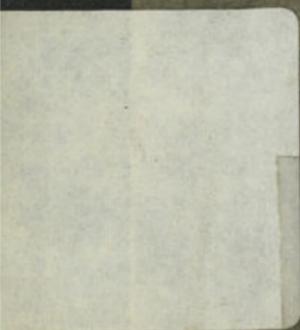
PARIS,

CHER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE,

TEUR DES ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1904



IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

242



LE RADIUM
ET
LA RADIOACTIVITÉ.

34360 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, quai des Grands-Augustins, 55.

N° 93

ÉS SCIENTIFIQUES.

LE RADIUM ET LA RADIOACTIVITÉ

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES. — EMPLOIS MÉDICAUX.

PAR

Paul BESSON

Ingénieur des Arts et Manufactures.

AVEC UNE PRÉFACE

du **D^r A. d'ARSONVAL**,

Membre de l'Institut.



PARIS,
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
ÉDITEUR DES ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1904

Tous droits réservés.

PRÉFACE.

Le petit Livre que son auteur me prie de présenter au public n'a d'autre prétention que de vouloir le mettre au courant des principaux phénomènes nouveaux dont on doit la découverte à M. Becquerel et à M. et M^{me} Curie.

La radioactivité de la matière ouvre des horizons nouveaux non seulement aux physiciens mais aux chimistes, aux mécaniciens, aux philosophes, aux physiologistes et aux médecins.

Dans notre désir de pénétrer les secrets de la nature se cache toujours ce sentiment, conscient ou inconscient, que la connaissance d'un phénomène nouveau nous permettra tôt ou tard de lutter contre la maladie.

A ce point de vue les médecins commencent à comprendre l'importance de la Physique et des agents qu'elle étudie soit comme procédé de diagnostic, soit comme moyen curatif.

L'importance de la Physique biologique s'accroît

chaque jour. Depuis 25 ans que je proclame la nécessité de ce genre d'études, je n'osais espérer un développement aussi rapide.

Toute ma crainte c'est que l'éducation physique des médecins ne soit pas encore tout à fait à la hauteur voulue pour appliquer judicieusement des agents aussi actifs que les forces physiques, et en particulier l'électricité ou les nouvelles radiations.

Avec eux il n'est pas permis d'opérer empiriquement, car les conséquences de l'ignorance ou même d'une simple inadvertance peuvent être terribles pour le malade.

L'extrême énergie des substances radioactives pour détruire la matière vivante doit rendre extrêmement prudent l'opérateur qui les emploie sur l'homme.

C'est par une série d'expériences méthodiquement conduites sur les animaux d'abord que nous arriverons à éviter ce double écueil de faire du radium soit une panacée, soit un médicament dangereux.

De tous côtés les chercheurs sont à l'œuvre. Des faits épars qu'ils signalent peu à peu les médecins pourront faire leur profit. Le Livre de M. Besson les mettra au courant de ce qui a été

fait jusqu'à ce jour tant au point de vue physique qu'au point de vue thérapeutique.

M. Besson, comme ingénieur directeur de la Société centrale de Produits chimiques, a suivi jour par jour l'évolution du radium; il peut donc en parler en connaissance de cause.

D^r D'ARSONVAL,
de l'Institut.



LE RADIUM

ET

LA RADIOACTIVITÉ.

INTRODUCTION.

Le 5 mars 1902, sur le rapport de M. Maurice Lévy, Président de l'Académie des Sciences, toutes les sections de l'Institut de France attribuaient, à l'unanimité, une somme de 20 000 francs, provenant du legs de M. Hubert Debrousse, à M. et M^{me} Curie pour les aider dans les travaux qu'ils poursuivent depuis plusieurs années sur « le radium et la radioactivité ». Cet argent devait permettre d'extraire, de quelques tonnes de minerais, environ un gramme de sel de radium pur!

L'énorme disproportion, qui existe entre le résultat matériel à obtenir et la somme affectée dans ce but par l'Institut, montre l'importance considérable de la question scientifique passionnante qu'a soulevée la découverte du radium. Les travaux, entrepris depuis 1898, ont déjà reçu de nombreux

encouragements; subventions de l'Académie des Sciences, de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, don d'un généreux anonyme, prix décernés à M. et M^{me} Curie, etc., etc. Les Mémoires parus, soit dans les *Comptes rendus*, soit dans les publications françaises et étrangères, s'élèvent à plusieurs centaines.

Parmi les auteurs, nous trouvons, en dehors de M. et M^{me} Curie, de M. Becquerel et M. Debierne que l'on peut considérer comme les créateurs de cette nouvelle branche de la Science, *la Radio-activité*, MM. Bary, Danne, Laborde, Sagnac, Villard, les D^{rs} Danlos, Bloch, Blandamour, de Pissareff, Danisz, etc., en France; de MM. Aschkinass, Caspari, Dorn, Elster, Geitel, Giesel, Heydweiller, Himstedt, Meyer, Nagel, Schmidt, vonSchweidler, Walkhoff, en Allemagne; Crookes, Huggins, Mac-Lennan, Owens, Rutherford, Sody, Thomsend, J.-J. Thomson, etc., etc., en Angleterre.

On voit quelle réelle importance a le mouvement scientifique produit par la découverte de M. et M^{me} Curie. Ayant été au courant de la question, dès son début, ayant fait exécuter, sous notre direction, dans l'usine de la Société Centrale de Produits chimiques, les traitements nécessaires à l'extraction du radium, il nous a semblé opportun de réunir dans ce petit Ouvrage un résumé de ce qui a été publié sur la question.

Nous nous adressons spécialement aux médecins et à tous ceux qu'intéressent les découvertes de la Science, et qui, sans s'être spécialisés dans les études de la haute Physique, possèdent une instruction scientifique élémentaire suffisante.

Nous avons pensé bien faire en donnant une place assez large à l'étude de l'emploi médical du radium; cette question est à l'ordre du jour et les essais se poursuivent avec une sorte de frénésie dans tous les pays.

Nous remercions M. et M^{me} Curie de la constante amabilité qu'ils nous ont toujours témoignée, en nous fournissant les documents les plus importants et notamment la thèse si remarquablement soutenue par M^{me} Curie, devant la Faculté des Sciences de Paris, à laquelle nous avons fait les plus grands emprunts, car notre Ouvrage est fait du leur.

La notoriété qui s'attache aux noms de M. et M^{me} Curie est telle, qu'elle nous dispense d'insister sur leur mérite universellement admis, en même temps qu'elle nous permet de respecter leur modestie non moins connue.



CHAPITRE I.

HISTORIQUE. — DÉCOUVERTE. — RECHERCHES.

On connaît l'émotion considérable qui s'empara de tout le monde en 1895, à l'annonce des découvertes du D^r Röntgen.

Les rayons émanant de l'ampoule de Crookes se composent de rayons cathodiques et de rayons qui furent désignés sous le nom de rayons X ou rayons de Röntgen. Ces rayons se propagent en ligne droite, sont plus ou moins absorbés par les corps qu'ils traversent, en raison de la densité de ces derniers, excitent la fluorescence et la phosphorescence de certaines substances; enfin, ont une action sur la plaque photographique, qui est impressionnée. Les deux sortes de rayons rendent l'air conducteur de l'électricité, mais les rayons cathodiques, à l'exclusion des rayons X, transportent une charge électrique négative qu'ils cèdent aux corps qu'ils frappent et sont de plus déviés par le champ magnétique.

Il est difficile de concevoir ce phénomène, si l'on n'admet pas la présence de particules matérielles transportant une quantité d'électricité négative.

tive. Nous aurons l'occasion de revenir sur cette hypothèse dans la suite.

Dans les premières ampoules de Crookes non munies d'anticathode métallique, on observe une vive fluorescence, ce qui fit penser à M. H. Poincaré (1) que la production des rayons X était accompagnée par la fluorescence. Les expériences de M. Charles Henry et Niewenglowski, qui obtinrent des radiographies avec du sulfure de zinc et du sulfure de calcium insolés et rendus phosphorescents, celles de M. Troost, qui obtint le même résultat avec de la blende hexagonale artificielle, semblèrent confirmer l'hypothèse de M. Poincaré.

Nous avons eu l'occasion de reproduire ces expériences avec succès.

M. Henry Becquerel, Membre de l'Institut, digne successeur de son père et de son grand-père, Edmond et Antoine Becquerel, entreprit des recherches sur les composés de l'uranium qui sont fluorescents.

En 1896 (2) il reconnut que la fluorescence ne jouait aucun rôle dans l'action radiographique de l'uranium et de ses composés; on se trouvait en présence d'une propriété nouvelle et absolument remarquable de certains corps, propriété en vertu

(1) POINCARÉ, *Revue des Sciences*, 30 janvier 1896.

(2) BECQUEREL, *Comptes rendus*, t. CXXVIII, 1896, p. 771.

de laquelle ils émettent des rayons capables d'impressionner les plaques photographiques.

Ces rayons, qui furent désignés sous le nom de rayons uraniques ou rayons de Becquerel, traversent les corps opaques, moins facilement que les rayons X et rendent l'air conducteur de l'électricité.

Elster et Geitel, Lord Kelvin, Schmidt, Rutherford, Béathie et Smoluchowski qui ont étudié ces rayons n'ont pu arriver à obtenir des réflexions, des réfractions et des polarisations véritables.

Rayons de Becquerel. — Radioactivité. — Les propriétés des rayons uraniques ne sont dues à aucune cause excitatrice connue. Le rayonnement semble spontané, l'insolation n'y joue aucun rôle, ce n'est pas une phosphorescence particulière produite par la lumière. L'effet paraît persistant et d'une constance parfaite, cette spontanéité d'action semble vraiment un phénomène extraordinaire. M^{me} Curie fit des expériences sur l'uranium, et pendant une période de cinq années, elle n'a constaté que des variations de 2 à 3 pour 100, ce qui est dans les limites de précision des expériences. M. Schmidt ⁽¹⁾ montra que le thorium et ses composés possédaient les mêmes propriétés que l'uranium; M^{me} Curie ⁽²⁾, sans connaître les travaux

⁽¹⁾ SCHMIDT, *Wied. Ann.*, t. LXV, p. 141.

⁽²⁾ M^{me} CURIE, *Comptes rendus*, avril 1898.

de M. Schmidt, constata le même phénomène.

La propriété nouvelle qu'ont des corps d'émettre des rayons de Becquerel fut désignée par M. et M^{me} Curie sous le nom de *radioactivité* (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 18 juillet 1898).

Les effets photographiques et électriques des rayons de Becquerel sont très analogues à ceux produits par les rayons de Röntgen, mais la plus grande partie des rayons émis par l'uranium et le thorium ne peut traverser les lames métalliques un peu épaisses et ne peut se propager à plus de quelques centimètres dans l'air.

M. Sagnac (1), de l'Université de Lille, assimile les rayons thoriqes ou uraniques aux rayons secondaires produits par les rayons de Röntgen, plutôt qu'aux rayons eux-mêmes; on peut également les rapprocher des rayons cathodiques se propageant dans l'air, « Rayons de Lenard ».

Les rayons secondaires produits par les rayons de Röntgen ont été étudiés par M. Sagnac et par M. Curie. Ce rayonnement, moins pénétrant que le rayonnement de Röntgen, prend naissance quand les rayons primaires rencontrent un corps matériel. Ces rayons secondaires ont comme analogie avec les rayons de Becquerel de transporter des

(1) SAGNAC, *Comptes rendus*, plusieurs Notes, t. CXXX, 1897, 1898, 1899, p. 1013; *Journal de Physique*, 1901.

charges négatives, pendant que les corps qui les émettent se chargent positivement. Le phénomène est particulièrement intense quand le métal frappé est à fort poids atomique.

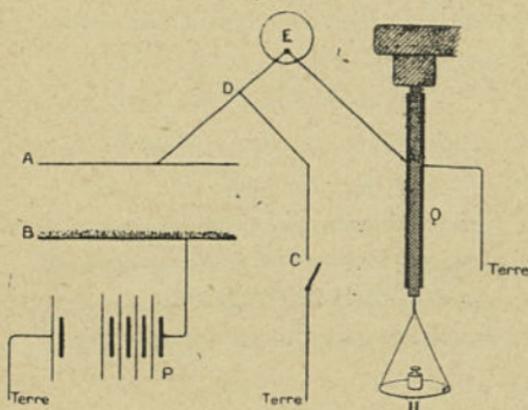
On peut dire comme conclusion que lorsque les rayons cathodiques rencontrent un corps ils font naître en lui une émission de rayons de Röntgen, et que réciproquement, quand ces derniers rayons rencontrent un corps matériel, ce corps émet un rayonnement en partie composé de rayons cathodiques.

Mesure de l'intensité du rayonnement d'un corps radioactif. — Pour étudier la radioactivité des substances, M. et M^{me} Curie mesurent la conductibilité acquise par l'air, sous l'influence de la substance radioactive.

Cette substance pulvérisée est étalée sur le plateau B d'un condensateur AB, l'air existant entre les plateaux est rendu conducteur. Pour mesurer cette conductibilité, on opère de la manière suivante : on porte le plateau B à un potentiel élevé en le reliant à un pôle d'une batterie de pile P dont l'autre pôle est à la terre ; le plateau A étant maintenu au potentiel de la terre par le fil CD, un courant électrique s'établit entre les deux plateaux. Si l'on coupe la communication à la terre, en C, le plateau se charge et l'électromètre dévie. Cette déviation est proportionnelle à l'intensité du cou-

rant et peut servir de mesure. Il est préférable cependant de compenser la charge que prend le plateau en maintenant l'électromètre au zéro. Ces charges très faibles peuvent être compensées au

Fig. 1.



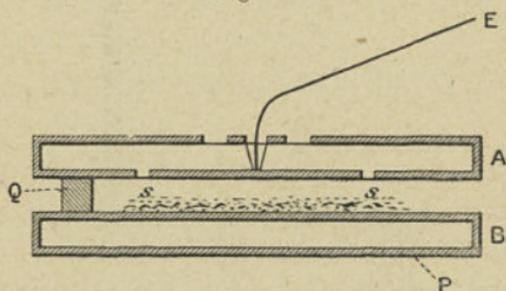
moyen d'un quartz piézoélectrique Q dont une armature est reliée au plateau A et l'autre est à la terre. On soumet la lame de quartz à une tension connue en plaçant des poids dans le plateau H. La tension peut être établie progressivement et dégage une quantité d'électricité connue pendant le temps que l'on mesure. On règle l'opération de façon qu'il y ait à chaque instant compensation entre la quantité d'électricité qui traverse le condensateur et celle de signe contraire que fournit le quartz. On peut donc mesurer en « valeur absolue » la quantité d'électricité qui traverse le condensateur, pendant un temps donné, c'est-à-dire « l'intensité du

courant ». Cette mesure est indépendante de la sensibilité de l'électromètre.

Le condensateur AB employé est le condensateur absolu à anneau de garde en glace argentée de MM. J. et P. Curie.

Ces plateaux sont en glace de Saint-Gobain

Fig. 2.



choisie, dont les défauts de planéité ne dépassent jamais 3^μ.

Ils sont séparés par trois cales de quartz (*q*); l'axe optique de ces cales est parallèle aux faces.

Un trait circulaire très fin sépare l'argenture de l'une des glaces en une portion centrale utilisée dans les mesures et en un anneau de garde. Un trou de petit diamètre, percé dans la glace, permet d'établir la communication électrique avec la portion centrale de l'argenture. Le sillon *ss* de l'anneau de garde étant extrêmement étroit, ce condensateur réalise d'une façon presque parfaite les conditions prévues par la théorie. On met la pile en relation avec le plateau B, on laisse l'anneau

de garde à la terre, on recueille l'électricité sur la face du plateau A relié à l'électromètre. M. Abraham a donné une méthode très précise pour mesurer la distance des plateaux (1).

Quant au quartz piézoélectrique (*fig. 3*), celui que l'on a employé est de MM. J. et P. Curie; nous croyons utile d'en donner ici une courte description et d'en expliquer le principe.

L'instrument se compose essentiellement d'une lame de quartz, sur laquelle on exerce des tractions à l'aide de poids placés dans un plateau. Cette action mécanique provoque un dégagement d'électricité sur les faces de la lame. La lame de quartz *abcd* est montée solidement à ses extrémités dans deux garnitures métalliques H et B. Elle est suspendue, en H, à la partie supérieure; elle soutient, à son tour, en B, à la partie inférieure, le plateau et les poids, par l'intermédiaire d'une tige munie de crochets.

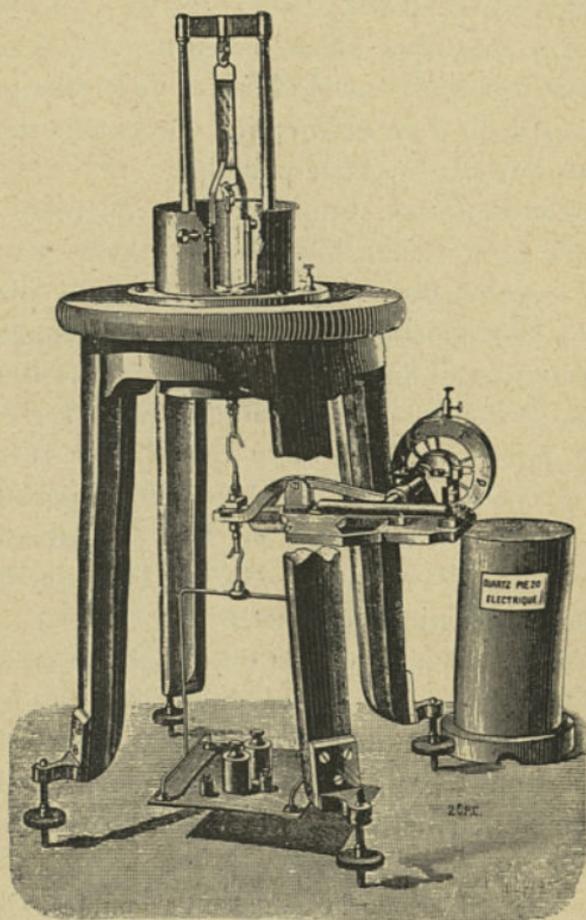
L'axe optique du quartz est dirigé horizontalement, suivant la largeur *ab* de la lame. Les faces sont normales à un des axes binaires (ou axes électriques) du cristal. On exerce les tractions verticalement, par suite, perpendiculairement aux axes optiques et électriques.

Les deux faces de la lame sont argentées. On a tracé dans l'argenture de chaque face deux traits

(1) ABRAHAM, *Thèse*, Faculté des Sciences, 1893.

fins, mn , $m'n'$, qui isolent des montures la plus grande partie de la surface. On recueille l'électri-

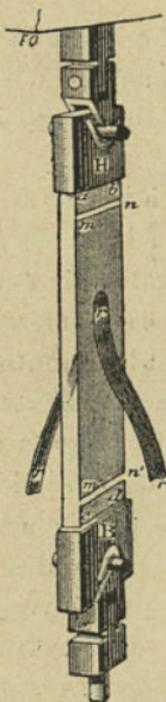
Fig. 3.



ité, sur ces portions isolées, à l'aide de deux lames de cuivre faisant ressort (rr , rr), qui

viennent s'appuyer sur les deux faces et communiquent avec les bornes de l'appareil. Lorsqu'on

Fig. 4.



place des poids dans le plateau, on provoque le dégagement des quantités d'électricité égales et de signes contraires sur les deux faces de la lame.

Lorsque l'on retire les poids, le dégagement se fait encore, mais avec inversion des signes de l'électricité dégagée sur chaque face. La quantité d'électricité dégagée sur une face est rigoureuse-

ment proportionnelle à la variation de traction F .

On a :

$$q = 0,063 \frac{L}{e} F.$$

L est la longueur mm' de la partie argentée utilisée, e est l'épaisseur de la lame, F est exprimé en kilogrammes et q est donné en unités C. G. S. électrostatiques.

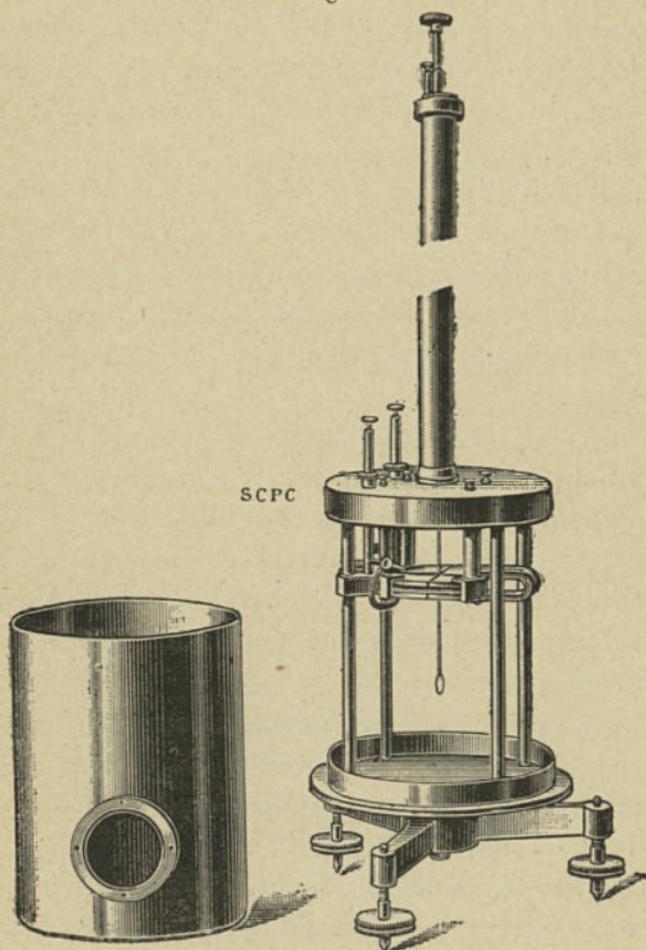
On voit que l'on a intérêt à employer une lame longue et mince. La lame est placée dans une enceinte métallique desséchée par l'acide sulfurique monohydraté. La cage métallique, toutes les pièces métalliques et les montures de la lame sont en communication permanente avec la terre. Une des faces de la lame de quartz est en relation avec la terre, l'autre est reliée à l'électromètre.

Nous ne parlerons pas de la sensibilité, du montage et de la détermination des constantes de l'appareil, en renvoyant aux Ouvrages suivants : *Journal de Physique*, 1882, Note de MM. J. et P. Curie; *Annales de Physique et de Chimie*, 1889 et *Lumière électrique*, Note de M. J. Curie; *Traité de Cristallographie*, de Mallard et de Soret; *Comptes rendus de l'Académie*, 1886, Note de M. J. Curie; journal *La Lumière électrique*, 1888; enfin, *Comptes rendus de l'Académie*, 1892, Note de M. P. Curie.

L'électromètre utilisé est un électromètre apériodique Curie à amortisseurs magnétiques; c'est

une modification des électromètres de Thomson ou de d'Arsonval.

Fig. 5.



On arrive avec un peu d'habitude à poser un poids sur le plateau du quartz en le soutenant avec

la main et en le laissant peser progressivement de telle façon que l'image de l'électromètre que l'on regarde constamment ne s'éloigne pas du zéro.

Lorsque le poignet est soutenu, la main acquiert facilement une étonnante sensibilité pour laisser à chaque instant le poids peser convenablement sur le plateau.

L'intensité du courant augmente avec la surface des plateaux du condensateur. Pour un condensateur et une substance donnée, le courant augmente avec la différence de potentiel entre les plateaux, avec la pression du gaz et avec la distance des plateaux.

Pour les grandes différences de potentiel, le courant tend vers une valeur limite constante, c'est le *courant de saturation* ou *courant limite*.

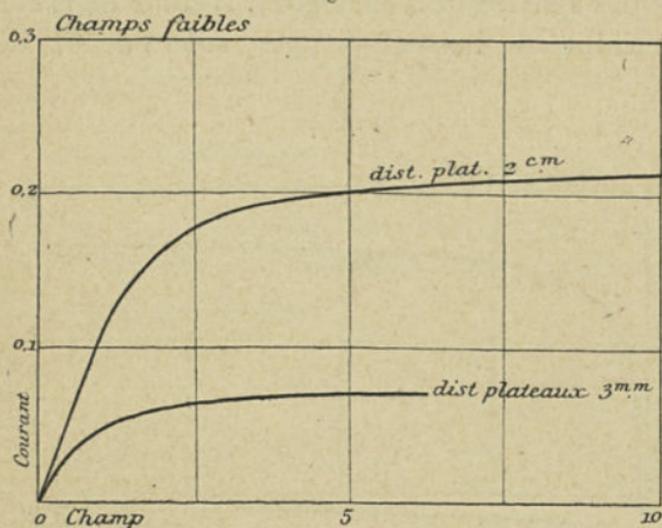
M^{me} Curie a pris ce courant comme mesure de la radioactivité dans ses recherches, le condensateur étant placé dans une enceinte à la pression atmosphérique.

Nous représentons, ci-dessous, deux expériences, on porte en abscisses la valeur du champ électrique en volts, et, en ordonnées, l'intensité du courant en ampères.

1^o *Champs faibles : faible différence de potentiel.* — On voit que pour cette différence de potentiel faible, au début, le quotient de l'intensité du courant par la différence de potentiel est constant, la courbe est presque rectiligne.

On constate que quand la différence de potentiel

Fig. 6.



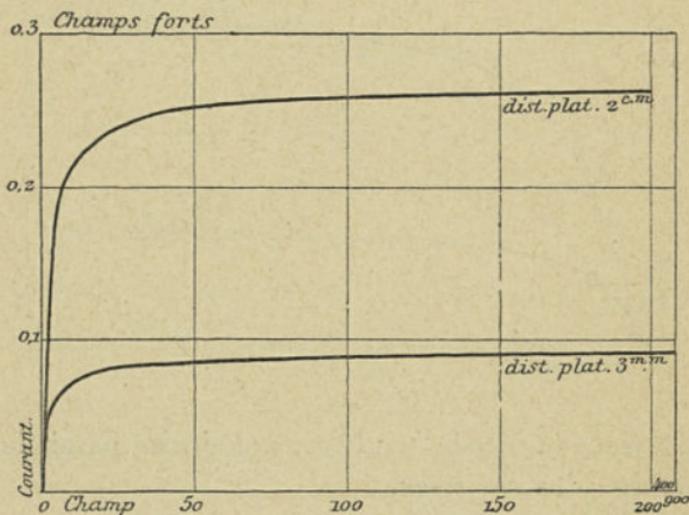
augmente la courbe tend vers une droite parallèle aux axes des abscisses.

2° *Champs forts* : forte différence de potentiel. — Cette figure montre bien que l'intensité devient constante pour les fortes différences de potentiel. C'est le courant limite qui est adopté comme mesure de la radioactivité.

L'ordre de grandeur des courants de saturation que l'on obtient avec les composés de l'urane est de 10^{-11} ampère pour un condensateur ayant 8 cm de diamètre, soit environ 50 cm^2 de surface et dont les plateaux sont distants de 3 cm . Ces nombres n'ont

qu'une valeur absolument relative. Les composés du thorium, les oxydes de thorium et d'uranium ont des activités très analogues. L'étude de la conductibilité de l'air et des gaz, sous l'action des

Fig. 7.



rayons de Becquerel, a été faite très complètement ⁽¹⁾.

M^{me} Curie a trouvé les nombres suivants pour la

(¹) BECQUEREL, *Comptes rendus*, 1897. — Lord KELVIN, BEATTIE et SMOLAN, *Royal Soc. Edimb.*, Vol. XXI, 1897, p. 417; *Nature*, t. LVI, p. 897. — BEATTIE et SMOLUCHOWSKY, *Phil. Mag.*, t. XLIII, p. 418. — RUTHERFORD, *Phil. Mag.*, t. XLVII, p. 109. — CHILD, *Wied. Ann.*, t. XLVII, 1899, p. 109.

valeur i de l'intensité du courant.

	$i \times 10^{11}$.
Uranium métallique (contenant un peu de carbone).....	2,3
Oxyde d'urane noir U^2O^5	2,6
» vert U^3O^4	1,8
Uranate d'ammonium.....	1,3

Pour les sels d'urane elle a constaté que l'épaisseur d'une couche uniforme n'avait, pour ainsi dire, aucune influence.

	Épaisseur de la couche.	$i \times 10^{11}$.
Oxyde d'urane	$0^{\text{mm}},5$	2,7
»	$3^{\text{mm}},0$	3,0

On peut en conclure que la matière, elle-même, absorbe beaucoup de rayons de Becquerel, puisqu'elle ne laisse presque pas passer les rayons émanant de la couche profonde.

Par contre, M^{me} Curie (1) a constaté qu'avec les sels de thorium :

1° L'épaisseur de la couche a une action considérable particulièrement pour les oxydes;

2° Que le phénomène n'est régulier que pour une couche mince de $0^{\text{mm}},25$; qu'au contraire, avec une couche de 6^{mm} , on a de très grandes varia-

(1) M^{me} CURIE, *Comptes rendus*, avril 1898.

tions dans les nombres :

	Épaisseur de la couche	$i \times 10^{11}$.
Oxyde de thorium...	0,25 ^{mm}	2,2
» ...	2,5	4,7
» ...	6,0	3,7 à 7,3

On voit donc que les rayons thoriques sont plus pénétrants que les rayons uraniques.

Owens (1) a constaté que les rayons thoriques ne produisaient un courant constant qu'au bout d'un certain temps et seulement en vase clos, et que l'intensité du courant est très diminuée par un courant d'air qui entraînerait une sorte d'*émanation*. Cette hypothèse a été émise par Rutherford (2), qui admet que cette émanation est constituée par des particules matérielles très ténues.

Nous aurons l'occasion de revenir sur ce sujet dans le Chapitre spécial « Sur la radioactivité induite ».

La radioactivité est une propriété atomique. M. Becquerel a montré que l'uranium métal était plus actif que ses sels, que les matières inactives diminuent la radioactivité, agissant à la fois comme matière inerte et comme absorbant le rayonnement.

M^{me} Curie a fait de très nombreuses expériences

(1) OWENS, *Phil. Mag.*, octobre 1899.

(2) RUTHERFORD, *Phil. Mag.*, janvier 1900.

pour déterminer si la radioactivité était une propriété particulière à certains corps à l'exclusion de tous les autres. Elle a examiné tous les métaux et métalloïdes connus, les corps rares comme le gallium, germanium, néodyme, niobium, scandium, erbium, rubidium, yttrium, etc., etc., des roches et des minéraux; elle a constaté que : « aucun des corps ne contenant ni uranium, ni thorium n'est radioactif ».

Ce sont là deux métaux à poids atomiques très élevés : 240 pour le premier, 232 pour le second.

En examinant les divers minéraux renfermant de l'uranium et du thorium, M^{me} Curie a pu établir le Tableau suivant qui n'est qu'un extrait des nombreux essais exécutés.

Ce Tableau donne en ampères l'intensité i du courant limite :

	$i \times 10^{11}$.
Uranium métallique	2,3
Pechblende de Johanngeorgenstadt .	8,3
» de Joachimsthal	7,0
» de Pzibran.....	6,5
» de Cornwallis	1,6
Clévéite.....	1,4
Chalcolite.....	5,2
Autunite.....	2,7
Carnotite.....	6,2
Thorite.....	0,1 à 1,4
Orangite	2,0
Monazite.....	0,5
Samarските.....	1,1

On remarque, dans ce Tableau, le fait inattendu suivant : des pechblendes quatre fois plus actives que l'uranium métal, c'est-à-dire produisant un courant limite quatre fois plus fort; la chalcopite, plus de deux fois; la carnotite, environ trois fois. Cela semble une contradiction formelle aux faits précédents où le maximum devait être atteint par l'uranium et le thorium métal.

M^{me} Curie, en présence de cette contradiction, entreprit des recherches; elle prépara artificiellement de la chalcopite (phosphate de cuivre et d'uranyle) qui possédât une activité très normale, environ deux fois et demie moins grande que l'uranium; elle en conclut que, dans les minerais naturels par elle examinés, il devait y avoir une matière très radioactive inconnue; l'isolement de cette ou ces matières radioactives inconnues devient dès lors l'objet de ses travaux.



CHAPITRE II.

DÉCOUVERTE DES NOUVELLES SUBSTANCES RADIO-
ACTIVES. — POLONIUM. — RADIUM. — ACTINIUM.

Découverte. — On conçoit immédiatement la difficulté de telles recherches; puisque, de ces substances, rien n'était connu d'autre que leur radioactivité et qu'il était à présumer que leur quantité était extrêmement faible. Ce fut la radioactivité qui servit de guide à M^{me} et à M. Curie dans leurs travaux.

Théoriquement, la méthode est simple et se réduit à mesurer, comme nous l'avons indiqué, la radioactivité d'un minerai, à faire un traitement chimique de séparation d'éléments, à mesurer la radioactivité des éléments et à voir si toute la radioactivité passe avec un seul élément ou se partage entre eux; on continue l'opération sur les éléments. Pratiquement, la difficulté est grande, on ne connaît pas le nombre des substances radioactives pouvant exister dans le minerai, et de plus des phénomènes de radioactivité induite, sur lesquelles nous aurons l'occasion de revenir, se produisent et peuvent faire considérer

comme corps radioactifs nouveaux des corps inertes ne possédant ces propriétés que passagèrement et les perdant, soit au bout de quelques heures, soit seulement de quelques mois.

L'analyse spectrale donne un moyen de comparaison assez imparfait; car la méthode, quoique fort sensible, ne l'est pas encore autant que la méthode radioactive.

En 1898, M. et M^{me} Curie (1) déterminèrent un élément nouveau, dont les propriétés chimiques sont très voisines de celles du bismuth qu'il accompagne, du reste, et que M^{me} Curie appela *polonium*, du nom de son pays.

Nous rappellerons que l'origine de ces appellations bizarres des métaux à noms de pays vient de ce que M. Lecoq de Boisbaudran appela un métal par lui découvert *gallium*, son nom Lecoq traduit en latin; un Allemand découvrit le *germanium*, un Suédois le *scandium*; nous trouvons ces désignations absolument aussi vides de sens que celles des minerais qui portent le nom de leurs inventeurs, et qui possèdent souvent plusieurs parrains.

Quelque temps après, M. et M^{me} Curie, avec l'aide de M. Bémont (2), déterminèrent un autre

(1) M^{me} CURIE, *Comptes rendus*, t. CXXVI, 1898, p. 1101. — M. et M^{me} CURIE, *Comptes rendus*, t. CXXVII, 1898, p. 175.

(2) M. et M^{me} CURIE, M. BÉMONT, *Comptes rendus*, t. CXXVII, 1898, p. 1215.

corps de la famille du baryum qu'ils appelèrent le *radium*.

Enfin, l'année suivante, M. Debiérne (1), préparateur à la Faculté des Sciences, caractérisa un troisième métal à propriété voisine du thorium, qu'il accompagne, et qu'il nomma *actinium*.

Le polonium est obtenu à l'état de sous-nitrate allié au sous-nitrate de bismuth; en le faisant fondre avec le cyanure de potassium on obtient le bismuth allié au polonium sous l'aspect métallique.

Le radium est obtenu à l'état de chlorure mélangé avec du chlorure de baryum; pour séparer le chlorure de radium on profite de sa moindre solubilité dans l'eau alcoolisée ou dans l'eau acidulée par l'acide chlorhydrique. On arrive par cristallisations fractionnées à obtenir des sels de plus en plus actifs.

Quant à l'actinium, on n'a pu encore l'isoler du thorium et il est presque impossible de séparer le thorium actinifère des métaux du groupe du fer, renfermés dans la pechblende.

Les corps radioactifs sont contenus en quantité extrêmement faible dans la pechblende; on a préféré prendre comme matière première un produit déjà concentré.

Le Gouvernement autrichien, sur la demande de M. Michel Lévy, Membre de l'Institut, et grâce à

(1) M. DEBIERNE, *Comptes rendus*, 1899; t. CXXX, 1900, p. 593.

l'obligeance de M. le Professeur Suess, a bien voulu donner à M. Curie une tonne d'un résidu, provenant du traitement de la pechblende, d'où a été extrait l'uranium. Cette pechblende avait été traitée dans l'usine de l'État, à Joachimsthal, en Bohême.

M. Debierne a organisé la méthode de traitement des résidus dans l'usine de la Société centrale des Produits chimiques (ancienne Maison Rousseau). Cette Société a consenti à effectuer le traitement et une partie des fractionnements dans des conditions très onéreuses pour elle. Naguère, nous avons été assez heureux pour modifier et transformer la méthode de M. Debierne ; le nouveau procédé, employé par nous, donne des résultats excellents.

A Joachimsthal, le minéral de pechblende qui renferme l'uranium à l'état d'oxyde est grillé avec du carbonate de soude, la matière est ensuite lessivée à l'eau chaude puis à l'acide sulfurique.

La solution contient l'uranium, le résidu est rejeté, c'est lui que l'on a traité.

C'est un produit extrêmement complexe, renfermant des sulfates de plomb et de chaux, de la silice, de l'alumine et de l'oxyde de fer ; enfin presque tous les métaux, le cuivre, le bismuth, le zinc, le cobalt, le manganèse, le nickel, le vanadium, l'antimoine, le thallium, les terres rares, le niobium, le tantale, l'arsenic, le baryum, etc. Le radium se trouve dans ce mélange à l'état de sul-

fate avec le baryum, c'est le sulfate le moins soluble.

Nous n'entrerons pas dans le détail du traitement exécuté à l'usine, nous signalerons seulement que, pour traiter une tonne de résidus, on emploie 5 tonnes de produits chimiques et environ 50 tonnes d'eau de lavage. On obtient environ 8^{kg} de chlorure de baryum radifère dont l'activité est environ 60 fois celle de l'uranium métal. Cela montre la précision de ce traitement d'usine. Nous sommes heureux d'avoir été, en cela, le modeste collaborateur de M. et M^{me} Curie.

C'est sur le chlorure qu'on procédait au fractionnement; on emploie maintenant la méthode de M. Giesel, qui a montré que le fractionnement était plus facile sur le bromure que sur le chlorure, cela est surtout exact pour le commencement de l'opération. On obtient un peu plus de 0^g,3 de bromure de radium pour une tonne de résidus! Ce rendement extrêmement faible, mis en regard des quantités de produits chimiques et de la main-d'œuvre nécessaires, explique le prix excessif du bromure de radium qui est le corps le plus cher qu'il soit.

Nous n'insisterons pas sur le polonium, dont la préparation n'a donné que des déboires et dont l'existence peut être mise en doute en raison de la perte d'activité. Cette existence problématique peut appartenir également à ce corps radioactif,

voisin du plomb par ses propriétés chimiques et que M. Giesel, d'une part, et MM. Hoffmann et Strauss ont signalé.

Quant à l'actinium, il est encore plus rare que le radium; on n'a pu l'isoler à l'état de sel pur. MM. Debierne, Giesel, Crookes et Becquerel ont pu extraire des sels d'urane une certaine quantité de substance très active, qui semble être de l'actinium; l'uranium purifié est moins actif, on peut peut-être lui faire perdre toute son activité; on pourrait en conclure que l'uranium n'est pas radioactif et qu'il ne possède cette propriété que par suite de la présence de l'actinium.

M. Curie a voulu s'assurer que le chlorure de baryum ne contenait pas trace de radium. La Société centrale de Produits chimiques a fait des expériences absolument négatives sur 50^{kg} de chlorure de baryum du commerce.

Spectre du radium. — Le radium seul, parmi les nouveaux corps radioactifs, a été isolé à l'état de sel pur et son étude par l'analyse spectrale a donné des résultats concluants.

Cette étude a été faite par M. Demarçay, dont la fin prématurée a laissé un si grand vide dans la Science, et qui a déterminé des méthodes d'analyse spectrale d'une précision et d'une ingéniosité remarquables.

Les premiers échantillons de chlorure de baryum

faiblement radifère lui permirent de déterminer, en même temps que les raies du baryum, une raie nouvelle d'intensité notable, dans le spectre ultraviolet.

Avec un produit très concentré, M. Demarçay (1) ne constata plus que les deux raies dominantes du baryum à peine visible; par contre, 12 raies caractéristiques, dont trois particulièrement intenses.

Les raies à intensité maximum sont aussi fortes que les plus intenses des corps connus; cela, joint à la présence de deux bandes nébuleuses, classe le radium parmi les alcalino-terreux. La réaction spectrale du radium est très sensible, cependant il faut avoir un sel 50 fois plus actif que l'uranium métal pour que la photographie du spectre montre la raie principale, alors que, avec l'appareil de mesure électrique, on peut déceler une activité égale à $\frac{1}{100}$ de celle de l'uranium métal.

Ni le bismuth polonium très actif, ni le thorium actinifère n'ont donné de raies caractéristiques. M. Giesel (2) a montré que le bromure de radium colorait la flamme d'un bec Bunsen en carmin intense.

Détermination d'un poids atomique. — M^{me} Curie (3) a employé pour cette détermination

(1) M. DEMARÇAY, *Comptes rendus*, décembre 1898 et juillet 1900.

(2) GIESEL, *Phys. Zeitschrift*, 15 septembre 1902.

(3) M^{me} CURIE, *Comptes rendus*, 13 novembre 1899; août 1900; 21 juillet 1902.

la méthode chimique, qui consiste à doser à l'état de chlorure d'argent le chlore contenu dans un poids de chlorure anhydre.

Au début, M^{me} Curie n'avait à sa disposition qu'un poids de chlorure de radium et de baryum déjà concentré de 0^s, 5; dans la suite, elle eut 0^s, 1 extrêmement concentré.

Elle commença par déterminer le poids atomique du baryum qu'elle trouva égal à 137,5.

Dans les premiers essais sur des chlorures 230 ou 600 fois plus actifs que l'uranium métal, le poids atomique ne fut pas trouvé sensiblement différent de celui du baryum. Ce poids atomique augmenta progressivement avec l'activité, l'étude se poursuivait en examinant le spectre de chaque échantillon.

Nous reproduisons ci-dessous le Tableau où M^{me} Curie résume ses travaux :

Activités.	Poids atomiques.	Spectre.
3500	140	spectre du radium faible.
4700	141	} spectre du radium fort, celui du baryum domine.
7500	145,8	
Ordre de grandeur 10 ⁶	173,8	les deux spectres sont égaux.
	225	} le baryum seulement à l'état de trace.

Ce nombre 225 est considéré comme le poids atomique du radium, il est exact à une unité près;

les opérations sont faites en considérant le radium comme bivalent, la formule du chlorure étant RaCl_2 .

Les opérations de pesées étaient faites avec une balance apériodique Curie, précise à $\frac{1}{20}$ de milligramme. Cette balance, à lecture directe, très rapide, permet de négliger l'absorption lente de l'eau par le chlorure anhydre.

Le radium est placé dans le Tableau de Mendeleef, dans la colonne des alcalino-terreux, sur le rang de l'uranium et du thorium.

Commercialement, les sels de radium sont classés par activité, l'uranium métal étant pris pour unité. Nous avons défini précédemment ce que signifiait l'activité.

Quand on parle d'un sel à activité 1000, on entend dire un sel 1000 fois plus actif que l'uranium métal. Jusqu'en ces derniers temps, on n'avait pas mis en vente de sel plus actif que 300 000, ce qui correspond à un chlorure de baryum renfermant $\frac{1}{6}$ de son poids environ de chlorure de radium pur.

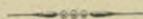
Récemment, on a pu fournir du bromure de radium pur, dont l'activité semble être voisine de 1 800 000.

Ces nombres, pour les hautes activités, sont tout à fait approximatifs; en effet, la mesure par le quartz-piezo devient très difficile, car on ne peut dépasser une charge de 4000^s sur le plateau,

dégageant une quantité d'électricité de 25 unités électrostatiques.

Entre 1 et 4000, on employait toujours la même surface de substance active sur le plateau B du condensateur. Ensuite, pour les activités plus fortes, on fait varier la surface dans un rapport connu. L'activité n'étant pas exactement proportionnelle à la surface, on détermine expérimentalement des coefficients qui permettent de comparer les activités à surface active inégale.

Pour les hautes activités, on emploie des écrans absorbants.



CHAPITRE III.

ÉTUDE ET NATURE DU RAYONNEMENT.

Le rayonnement de Becquerel, émis par les nouvelles substances, est considérablement plus intense que celui de l'uranium métal. Pour les hautes activités, nous avons constaté que la mesure devenait très difficile. Avec l'uranium métal, on a vu dans le Chapitre I que le courant limite était de 100 volts, c'est le moment où la courbe (*fig. 7*) devient parallèle à l'axe des abscisses; pour les substances très radioactives, *i* croît rapidement et l'on ne peut jamais atteindre le courant limite; de plus, une partie des rayons étant très pénétrants, traverse le condensateur, les plateaux et n'est pas utilisé à rendre l'air conducteur, à l'*ioniser*.

L'étude du rayonnement peut se faire par trois méthodes différentes :

1° La méthode radiographique utilisant l'action sur les plaques photographiques;

2° La méthode fluoroscopique étudiant la fluorescence de certaines substances;

3° La méthode électrique utilisant l'ionisation de l'air conducteur.

Les deux premières méthodes ne comportent aucune mesure et fournissent seulement un mode de comparaison grossière.

La méthode électrique est la seule qui se prête à quelque investigation et nous avons vu qu'elle ne permettait guère l'étude des hautes activités. Du reste, dans les trois méthodes, la plaque photographique, l'écran fluorescent ou l'air sont des récepteurs qui absorbent chacun une partie du rayonnement, et cela d'une façon qui lui est propre ; on voit que la comparaison absolue n'existe pas entre les trois méthodes.

Composition du rayonnement. — De l'étude faite par MM. Becquerel, Meyer, Von Schweidler, Giesel, Villard, Rutherford, M. et M^{me} Curie, il résulte que le rayonnement est de nature très complexe.

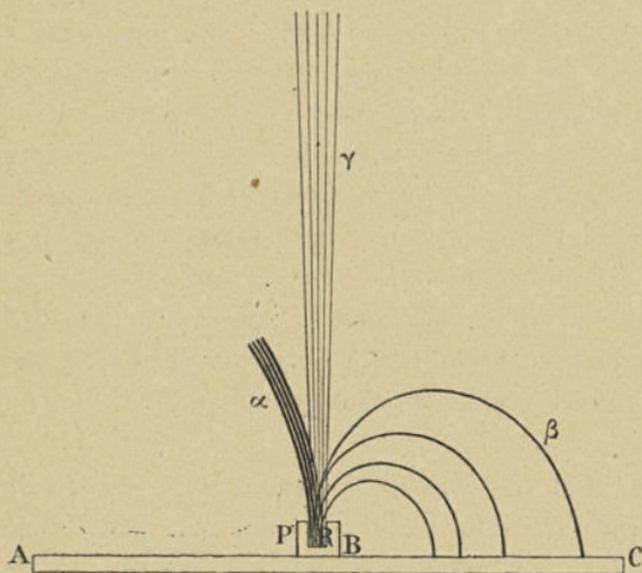
Supposons réalisée l'expérience théorique suivante (*fig. 8*) :

Le radium est placé dans une cavité profonde, creusée dans un bloc de plomb P, un faisceau de rayons rectilignes et peu épanouis sort de la cuve. Si l'on établit un champ magnétique, très intense et uniforme, derrière et normalement au plan de la figure, les rayons se trouvent séparés en trois groupes que Rutherford appelle *rayons* α , β , γ .

1° *Rayons* α . — Ils sont très pénétrants, for-

ment la majeure partie du rayonnement et sont caractérisés par les lois suivant lesquelles ils sont absorbés et que nous verrons dans la suite. Ils

Fig. 8.



sont déviés comme les rayons cathodiques, mais en sens inverse; ce sens est le même que celui des rayons canaux (canalstrahlen de Goldstein) des ampoules de Crookes. Le rayon de courbure de la trajectoire est considérable.

2° *Rayons β* . — Ils sont plus pénétrants que les précédents, sont déviés de la même manière et de même sens que les rayons cathodiques. Les rayons de courbure des trajectoires sont moins

grands que ceux des rayons α et varient dans une limite assez étendue. Certains de ces rayons sont très déviables. Une plaque photographique placée en BC est impressionnée.

3° *Rayons γ .* — Ces rayons sont analogues aux rayons de Röntgen; ils sont très pénétrants, très peu intenses et insensibles au champ magnétique.

Nous allons étudier les diverses caractéristiques de ces rayons, leur déviation par le champ magnétique, leur charge électrique et leur pénétration.

C'est là une véritable analyse qui aurait dû être placée avant le paragraphe précédent, si nous n'avions pas été obligé, pour plus de clarté, de ne pas suivre l'ordre logique des travaux.

Action du champ magnétique. — L'étude a été faite presque simultanément par MM. Giesel, Meyer et von Schweidler et Becquerel (1). Ce dernier a employé la méthode radiographique, avec un dispositif analogue à celui représenté dans la figure 8. Le champ magnétique est dirigé en arrière du plan; la partie BC de la plaque photographique enveloppée de papier noir est impressionnée. Les trajectoires circulaires des rayons β viennent la couper normalement et donnent,

(1) GIESEL, *Wied. Ann.*, 2 nov. 1899. — MEYER et VON SCHWEIDLER, *Ann. anzeiger Wien*, 3 et 9 nov. 1899. — BECQUEREL, *Comptes rendus*, 11 déc. 1899.

comme impression, une bande diffuse, sorte de spectre continu de rayons inégalement déviables. Si l'on recouvre BC par des écrans absorbants, une partie du spectre est supprimée, elle se compose des rayons les plus déviés, qui ont les trajectoires les plus réduites et qui sont les plus absorbés.

M. Curie (¹) a fait une étude très complète par la méthode électrique, en employant le dispositif suivant :

On établit en EEEE un champ magnétique, par un électro-aimant, normalement au plan de la

Fig. 9.

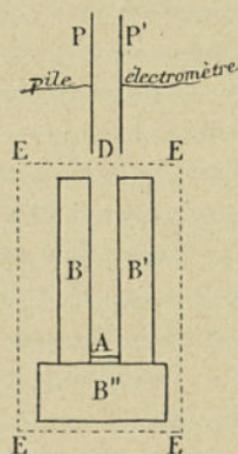


figure. On place le corps radioactif A entre les masses de plomb BB'B'' et les armatures de l'électro-aimant. A envoie des radiations suivant AD

(¹) P. CURIE, *Comptes rendus*, 8 janv. 1900.

entre les plateaux d'un condensateur PP' , P est au potentiel de 500 volts, P' est relié à un électromètre et à un quartz piézoélectrique. On mesure l'intensité du courant passant dans l'air rendu conducteur, d'une façon analogue à celle que nous avons décrite dans le Chapitre I. Si l'on dévie les rayons, ils sont absorbés par les masses de plomb B et B' .

Les rayons des corps radioactifs se propagent dans l'air et dans le vide rectilignement.

Ils agissent sur l'air du condensateur jusqu'à des distances de 2^m à 3^m , mais il faut employer des corps radioactifs à très haute activité; car, non seulement il y a absorption par l'air, mais encore l'action varie en raison inverse du carré de la distance de la source au condensateur. La plus grosse partie des rayons sont les rayons α qui sont absorbés par 70^{mm} d'air. Si la distance AD , que nous appellerons d , est inférieure à 65^{mm} pour un champ de 2500 unités, une partie des rayons sont déviés et la proportion de ces rayons n'est pas augmentée pour un champ de 7000 unités. Cela montre la facilité de déviation des rayons β .

Si l'on suppose égal à 100 le courant obtenu dans le condensateur, sans champ magnétique, pour chaque distance, on a le Tableau suivant donnant le pourcentage des rayons non déviés :

Échantillon de radium :

d en millimètres.....	34	51	60	65
Pour 100 des rayons déviés..	74	56	33	11

Pour les petites distances les rayons non déviés renferment les rayons α et γ ; aux approches de la distance de 65^{mm} , il ne reste plus pour ainsi dire que les rayons γ .

Pour les distances de 140^{mm} à $1^{\text{m}}, 57$, on trouve avec un échantillon de radium très actif seulement 11 à 12 pour 100 de rayons non déviables exclusivement composés par les rayons γ . Ces rayons furent observés pour la première fois par M. Villard ⁽¹⁾. Environ 90 pour 100 des rayons déviables sont supprimés par un champ de 2500 unités.

Pour les valeurs petites de d , on ne peut guère distinguer les rayons α des rayons γ ; les premiers, qui forment la majorité du rayonnement, sont peu déviés et ne sont pas encore absorbés par l'air. Mais, si l'on place un écran absorbable en aluminium, les rayons α sont absorbés et il ne reste plus derrière l'écran que les rayons pénétrants.

Pour d , allant de 34^{mm} à 51^{mm} , deux feuilles de $\frac{1}{100}$ de millimètre d'épaisseur en aluminium absorbent entièrement les rayons α ; pour d supérieur à 51^{mm} une seule lame suffit.

La partie pénétrante des rayons déviables β , ne formant qu'une très faible partie du rayonnement, ne joue qu'un faible rôle dans la production de la conductibilité de l'air.

Si l'on place un échantillon de radium dans un

⁽¹⁾ VILLARD, *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1010.

tube de verre et si l'on mesure le pourcentage des rayons non déviés par rapport aux différentes valeurs de d , on constate que, pour $d = 10^{\text{mm}}$, il ne reste plus que 10 pour 100 de rayons non déviés exclusivement composés de rayons γ ; on a vu qu'à l'air libre ce pourcentage n'était obtenu que par une distance de 140^{mm} .

En résumé, la plus grosse partie des rayons du radium se trouve être des rayons α , qui semblent surtout émis par la couche superficielle. L'augmentation de l'épaisseur agit principalement sur la production des rayons β .

On trouve les nombres suivants qui sont caractéristiques pour une distance de la source au condensateur $d = 50^{\text{mm}}$.

Épaisseur de la couche.	Valeur du rayonnement total.	Pourcentage des rayons β .
$0^{\text{mm}},4$	28	29 pour 100
$2^{\text{mm}},0$	102	45 pour 100

Donc, pour une augmentation d'épaisseur dans le rapport, égale à 5, la valeur du rayonnement total n'a augmenté que dans le rapport 3,6 et le rayonnement déviable est devenu 5 fois plus fort.

Les rayons émis par le polonium sont du genre α , et, si M. Giesel a observé une émission des rayons cathodiques (rayons β), cela a été sur un échantillon fraîchement préparé et présentant sans doute un phénomène de radioactivité induite;

cependant M. Becquerel ⁽¹⁾ croit que le polonium possède deux radiations.

Composition du rayonnement des corps radio-actifs :

Le radium émet des rayons α , β et γ ;

Le polonium émet des rayons α seulement ;

L'actinium émet des rayons α , β et γ probablement ;

L'uranium émet des rayons α et β ;

Le thorium émet des rayons α et β .

Charge électrique des rayons. — M. Jean Perrin a montré que les rayons cathodiques étaient chargés d'électricité négative ; d'après ses expériences et celles de Lenard, les rayons cathodiques transportent leur charge à travers les enveloppes métalliques réunies à la terre et à travers les diélectriques ; en tout point où ils sont absorbés naît un dégagement continu d'électricité négative.

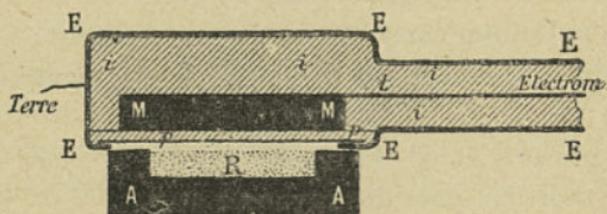
Le même phénomène a été constaté pour les rayons du radium et voici le dispositif adopté par M. et M^{me} Curie pour mesurer ce faible dégagement d'électricité (*fig.* 10).

Un disque métallique, en cuivre, en plomb ou en zinc MM, est relié par une tige métallique *t* à un électromètre. Le disque, la tige *t* sont noyés dans une ma-

(1) BECQUEREL, *Comptes rendus*, 27 avril 1901.

tière isolante : ébonite ou paraffine *iii*. Le tout est enveloppé par une cage de Faraday EEEE reliée à la terre. Le disque est très rapproché de l'enveloppe métallique et la partie qui lui est opposée *pp* est

Fig. 10.



très mince. On dispose au-dessous une auge en plomb AA, dans la cavité on place le sel de baryum radifère R. Un courant négatif très faible se dégage dans MM, qui absorbe les rayons du radium après leur traversée de *pp* et du diélectrique. Le courant est constaté par l'électromètre et l'on peut le mesurer par le quartz piézoélectrique avec du chlorure de baryum radifère très actif, formant une couche de $2\text{cm}^2,5$ de surface et de 2mm d'épaisseur; le courant a pour ordre de grandeur 10^{-11} ampères par seconde; *pp* a pour épaisseur $0\text{mm},01$ et le diélectrique a $0\text{mm},3$; en rapportant l'intensité du courant à l'unité de surface 1cm^2 , on a 4×10^{-12} ampères; c'est une valeur pour des conditions expérimentales données. La nature de MM et du diélectrique n'a aucune influence sur l'intensité du courant qui est seulement diminuée

par l'éloignement du radium et par l'emploi d'un corps moins actif.

Les rayons α n'interviennent pour ainsi dire pas, car ils sont absorbés immédiatement.

Les rayons β transportent de l'électricité. Jusqu'ici on n'a pas reconnu l'existence de charges électriques, non liées à la matière; pour concevoir ces rayons on est obligé d'avoir recours à l'hypothèse balistique de Sir W. Crookes et de J.-J. Thompson, qui considèrent les rayons cathodiques comme produits par l'émission de corpuscules électrisés, prenant naissance sous l'action de l'étincelle électrique, dans un gaz raréfié. Ces particules bombardent le verre et le traversent.

Les rayons β ont les mêmes propriétés que les rayons cathodiques et se comportent comme eux.

Il semble qu'un échantillon de radium enfermé dans une enveloppe de verre mince et parfaitement isolé doive se charger à un potentiel élevé, jusqu'à ce que la différence de potentiel avec les conducteurs environnants soit suffisante pour changer l'action de répulsion sur les particules en une action d'attraction.

M. Curie a constaté cette charge à potentiel élevé, tout à fait par hasard. Ayant à nous remettre du radium pour une conférence, il voulut le changer de tube; pour cela, il fit avec un couteau à verre un trait sur le tube qui contenait le radium depuis longtemps; à ce moment il entendit

le bruit produit par une étincelle électrique, vit une lueur et observa à la loupe un petit trou : le verre avait été perforé par l'étincelle à la partie amincie par le trait.

Ce phénomène est absolument analogue à celui qui se produit dans les bouteilles de Leyde trop fortement chargées.

M. Curie a senti une autre fois la décharge en ouvrant un tube qu'il tenait dans les doigts.

Le radium est le premier exemple d'un corps qui se charge spontanément d'électricité.

Énergie de radiation. — M. Becquerel (1) a étudié la relation qui lie la charge électrique à la masse du corpuscule émis par le radium.

Si une particule de masse m , possédant une charge électrique e , traverse avec une vitesse v , suivant une trajectoire ayant pour rayon de courbure ρ , un champ magnétique uniforme, normal à sa vitesse initiale, et d'intensité égale à H , on a la relation connue :

$$\frac{m}{e} v = H \rho.$$

M. Becquerel a trouvé que

$$\frac{m}{e} v = 1600;$$

(1) BECQUEREL, *Comptes rendus*, t. CXXX, 1900, p. 206.

ce nombre est de même ordre de grandeur que ceux trouvés par J.-J. Thompson (1), W. Wien (2) et Lenard (3), pour les rayons cathodiques, qui sont compris entre 1030 et 1273, avec ν compris entre $0,67 \times 10^{10}$ et $0,81 \times 10^{10}$.

Après les expériences de M. Dorn (4), M. Becquerel a étudié l'action de déviation produite par le champ électrique sur les rayons β .

En combinant les résultats des actions des champs magnétiques et électriques, M. Becquerel (5) a déduit pour les valeurs

$$\nu = 1,6 \times 10^{10} \quad \text{et} \quad \frac{m}{e} = 10^{-7}.$$

Nous avons vu précédemment que M. et M^{me} Curie avaient trouvé que la quantité d'électricité, émise par une surface de 2^{cm}2,5 de chlorure de baryum radifère très actif sur une épaisseur de 0^{cm},2, avait pour ordre de grandeur 10⁻¹¹ ampères, ce qui rapporté à 1^{cm}2 de surface donne

$$4 \times 10^{-12} \text{ ampères par seconde}$$

dans des conditions expérimentales données.

(1) J.-J. THOMPSON, *Phil. Mag.*, 5^e série, t. XLVII, 1897, p. 293.

(2) W. WIEN, *Werh. phys. Gesell. zu Berlin*, t. XVI, 1897, p. 165.

(3) LENARD, *Wied. Ann.*, t. LXIV, 1898, p. 279.

(4) DORN, *Abh. Halle*, mars 1900.

(5) BECQUEREL, *Comptes rendus*, t. CXXX, 1900, p. 809.

En appelant N le nombre des particules émises en 1 seconde et e la charge de chaque particule, on a

$$Ne = 4 \times 10^{-12}.$$

On en déduit l'énergie totale de radiation

$$E = \frac{1}{2} N m v^2,$$

qu'on peut écrire ainsi : $E = \frac{1}{2} Ne \times \frac{m}{e} v \times v.$

En remplaçant les lettres par leurs valeurs, on a

$$E = \frac{1}{2} \times 4 \times 10^{-12} \times 10^{-7} \times 1,6 \times 10^{10} \times 1,6 \times 10^{10}$$

$$E = 51 \text{ unités C. G. S.}$$

Cette valeur n'est pas absolue, elle est obtenue pour des conditions expérimentales données. Cette énergie correspond à quelques dix-millionièmes de Watt.

Le déplacement de matière peut être estimé à 1^{mg} en 1 milliard d'années. Nous notons ces résultats, pour donner une idée de l'énergie produite, qui est indiquée de façon plus précise par la quantité de chaleur que dégage le radium.

Absorption des rayons. — Cette étude a donné lieu à de nombreuses expériences (1).

(1) M^{me} CURIE, *Comptes rendus*, avril 1898; t. CXXX, 1900, p. 76. — BECQUEREL, *Rapport au Congrès de Physique*, 1900; *Comptes rendus*, t. CXXX, 1900, p. 206. — RUTHERFORD,

Nous avons dit que les rayons β forment la plus grosse partie du rayonnement et que les rayons α étaient entièrement absorbés par 7^{cm^3} d'air.

M^{me} Curie a fait agir, sur le condensateur, du radium enfermé dans une petite ampoule de verre ; en faisant varier la distance d et en mesurant l'intensité i du *courant de saturation* ou *courant limite* dont on a parlé au Chapitre I, elle a constaté qu'à partir d'une certaine distance l'intensité du courant variait en raison inverse du carré de la distance au condensateur. Les résultats de ces expériences sont donnés par le Tableau suivant.

La première colonne donne les valeurs de d en centimètres, la deuxième la valeur i de l'intensité du courant de saturation, la troisième donne la valeur du produit de l'intensité par le carré de la distance :

d en centimètres.	i .	$(i \times d^2) 10^{-3}$.
10	127	13
20	38	15
30	17,4	16
40	10,5	17
50	6,9	17
60	4,7	17
100	1,65	17

Phil. Mag., janvier 1899. — MEYER et VON SCHWEIDLER, *C. R. Acad. de Vienne*, mars 1902; *Physik. Zeitschrift*. — OWEN, *Phil. Mag.*, octobre 1899. — CURIE, *Comptes rendus*, t. CXXX, 1900, p. 73.

On voit que, à partir d'une distance de 10^{cm} ,

$$i \times d^2 = \text{const.}$$

Les corps radioactifs émettent des rayons qui se propagent dans l'air et dans le vide d'une façon rectiligne.

On le constate par la netteté et la forme des ombres produites par les corps sur un écran fluorescent, en employant l'action d'une source radioactive de faible dimension.

M^{me} Curie a mesuré, par la méthode électrique, l'absorption produite par une lame d'aluminium ayant pour épaisseur $0^{\text{mm}},01$, placée au-dessus et presque au contact de la substance radioactive.

Elle a constaté que la fraction du rayonnement transmis par la lame est, pour le thorium en couche mince de $0,38$, pour le radium de $0,32$ à $0,29$ suivant l'activité, de $0,22$ pour le bismuth à polonium métallique et seulement de $0,20$ pour les composés de l'urane.

Le polonium émet seulement des rayons très absorbables qui ne se propagent pas à plus de 4^{cm} à 6^{cm} dans l'air et qui ne peuvent traverser que des écrans très minces. Le radium émet des rayons capables de traverser une grande épaisseur de matière solide, quelques centimètres de plomb ou de verre (1).

(1) M. et M^{me} CURIE, *Rapport au Congrès de 1900.*

Les rayons, qui ont traversé une grande épaisseur d'un corps solide, sont extrêmement pénétrants et ne peuvent pour ainsi dire pas être absorbés entièrement.

M^{me} Curie a montré qu'au contraire les rayons du polonium et les rayons α du radium sont d'autant plus absorbables que l'épaisseur de matière qu'ils ont traversée est plus grande (1). On peut les considérer comme des projectiles lancés avec une certaine vitesse et perdant leur force vive en franchissant les obstacles.

On trouve en faisant varier la valeur d , distance de la substance au condensateur, que le pourcentage des rayons transmis par une lame d'aluminium de 0^{mm},01 d'épaisseur est donné par le Tableau suivant :

d en millimètres.....	60	51	34
Pour 100 des rayons transmis...	3	7	24

On voit que ce sont les rayons, qui vont le plus loin dans l'air, qui sont les plus absorbés par l'aluminium.

Les expériences de MM. Meyer et von Schweidler (2) montrent, avons-nous dit, que, pour l'ensemble du rayonnement du radium, le pouvoir pénétrant de ce rayonnement augmente avec l'épaisseur

(1) M^{me} CURIE, *Comptes rendus*, 8 janvier 1900.

(2) MEYER et VON SCHWEIDLER, *Physik. Zeitschrift*, t. I, p. 209.

de matière traversée, comme cela a lieu pour les rayons X. Dans ces expériences, les rayons α interviennent à peine, ils sont absorbés par les écrans; il reste les rayons β plus ou moins diffusés et les rayons γ analogues aux rayons X. On plaçait une ampoule de verre renfermant le radium à une distance de 10^{cm} du condensateur; sur cette ampoule on disposait une série d'écrans en plomb identiques ayant chacun 0^{mm},115 d'épaisseur; le rapport du rayonnement transmis au rayonnement reçu est donné pour chacune des lames de la série par les nombres suivants :

0,40 0,60 0,72 0,79 0,89 0,92 0,94 0,94 0,97

On constate qu'à partir de la neuvième lame, la presque totalité du rayonnement restant est transmise; il n'y a plus, pour ainsi dire, d'absorption.

D'après la formule $\frac{mv}{e} = H\rho$, on voit que, pour H constant, ρ rayon de courbure de la trajectoire est d'autant plus grand, et, par suite, la déviation par le champ magnétique est d'autant plus faible que $\frac{mv}{e}$ est plus grand, m étant la masse de la particule, v sa vitesse, e sa charge.

Les rayons cathodiques, qui forment une partie des rayons β , sont peu déviés parce que v est très grand; ils sont aussi très pénétrants à cause de leur grande vitesse et de leur masse très petite.

Les rayons α ont sans doute, d'après Rutherford, une charge égale aux précédents, une vitesse inférieure et une masse beaucoup plus grande. Ils sont dès lors également très peu sensibles à l'action du champ, et, à cause de leur masse, très peu pénétrants.

Quant aux rayons très pénétrants et non déviables γ , ils sont d'une autre nature et analogues aux rayons X.

Absorption élective. — On vient de voir que le rayonnement des corps radioactifs est très complexe. La difficulté est encore augmentée par le fait qu'il est nécessaire de voir si le rayonnement éprouve une absorption élective par telle ou telle matière ou une transformation plus ou moins importante.

On sait, depuis les travaux de des Coudres (1), de Sagnac (2) et de Curie :

1° Que les rayons cathodiques sortant des tubes de Crookes sont fortement diffusés par un écran en aluminium (expérience de Lenard) et que leur vitesse égale à $1,4 \times 10^{10}$ centimètres est réduite de 10 pour 100 en traversant $0^{\text{mm}},01$ d'aluminium;

(1) DES COUDRES, *Physik. Zeitschrift*, novembre 1902.

(2) SAGNAC, *Thèse de Doctorat*. — CURIE et SAGNAC, *Comptes rendus*, avril 1900.

2° Que les rayons cathodiques, en frappant un obstacle, donnent naissance à des rayons X;

3° Que, enfin, par contre, les rayons X en frappant un obstacle donnent naissance à des *rayons secondaires*, formés en partie de rayons cathodiques.

M. Curie a fait des expériences avec le polonium en employant des écrans superposés de divers métaux. Il a constaté que l'ordre de superposition des écrans avait une grande importance sur l'intensité du courant transmis.

Première expérience.

	Épaisseur.	Courant observé.
	mm	
Aluminium	0,01	} 17,9
Laiton	0,005	

Deuxième expérience.

Laiton	0,005	} 6,7
Aluminium	0,01	

On voit que, lorsque l'ordre des écrans est aluminium et laiton, le courant est près de 3 fois plus grand que pour l'ordre laiton et aluminium, les épaisseurs restant constantes.

Le rayonnement subit donc une transformation inconnue dans sa traversée d'un écran solide. Le fait a été constaté pour tous les métaux; la nature de cette transformation n'est pas encore déterminée. Pour le radium, l'interversion des écrans ne produit que des effets insignifiants.

Rayons secondaires. — Nous venons de parler de la production de *rayons secondaires* prenant naissance quand les rayons X frappent un obstacle. M. Becquerel (1) a montré l'existence de rayons secondaires produits par les corps radioactifs à l'aide de l'expérience suivante :

Si l'on place, sur une plaque photographique, un bloc de plomb contenant dans une rainure supérieure un corps très radioactif, on a non seulement un effet très intense sur la plaque photographique située au-dessous, mais on a encore des effets sur des plaques photographiques placées sur les côtés du bloc de la plaque.

L'influence des rayons est sensible à travers des épaisseurs allant jusqu'à 20^{mm}. Le rayonnement atteint une forte intensité, particulièrement remarquable avec le plomb. C'est un phénomène qui correspond à ce qu'est la phosphorescence ou la fluorescence pour la lumière. La pénétrabilité des rayons secondaires est plus faible que celle des rayons primaires, et en tout point analogue à celle des rayons secondaires dérivant des rayons X.

Spinthariscopes de Sir W. Crookes. — Nous parlons d'un appareil inventé par Sir W. Crookes

(1) BECQUEREL, *Comptes rendus*, 18 février 1901; 27 avril 1903.

et nommé par lui *spinthariscopes* (du grec *spintharis* « scintillation » et *skopēin* « examiner ») qui permet de mettre en évidence la justesse de l'hypothèse balistique.

Cet appareil se compose d'un tube fermé par une loupe, que l'on peut mettre au point sur un écran au sulfure de zinc phosphorescent placé à l'autre extrémité du tube.

A 0^{mm},5 de l'écran est placé un petit grain de radium porté par une lamelle métallique. Dans l'obscurité, l'œil, regardant par la loupe, observe une faible lueur dans le tube, et, sur l'écran, une véritable pluie de points lumineux apparaissant et disparaissant continuellement. Les points brillants, semblables à une pluie d'étoiles filantes, sont plus abondants dans le voisinage du radium où la lueur est continue.

Ce phénomène n'est pas altéré par un courant d'air, il se produit dans le vide et est complètement supprimé par un écran. Il semble que ce sont les rayons α qui agissent et l'on peut admettre que ces points lumineux sont, en réalité, les points d'impact de projectiles, particules émanant des corps radioactifs, et venant bombarder l'écran.

M. Becquerel (1) a étudié longuement le *spinthariscopes* et vient de faire à ce sujet une Communication à l'Académie des Sciences.

(1) BECQUEREL, *Comptes rendus*, 27 octobre 1903.

CHAPITRE IV.

EFFETS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES RAYONS DE BECQUEREL.

Nous allons énumérer et décrire les divers effets que produisent les rayons émanant des corps radioactifs.

1° *Phénomènes lumineux.* — Nous avons à envisager deux ordres de phénomènes lumineux : la fluorescence et la luminescence.

a. Fluorescence. — M. et M^{me} Curie constatèrent la fluorescence d'un écran au platinocyanure de baryum sous l'action des rayons produits par le polonium ou par le radium.

Cette fluorescence s'observait même après l'interposition d'un écran en aluminium très mince. Le phénomène était particulièrement intense avec les corps radioactifs de haute activité.

On est en présence d'un phénomène analogue à celui produit par les rayons X, tous les corps rendus fluorescents par ces derniers le sont également par les rayons de Becquerel. Ces corps appar-

tiennent aux alcalins et alcalino-terreux ; ce sont : le lithium, le sodium, le potassium, le rubidium, le césium, le magnésium, le calcium, le strontium et le baryum. L'étude de cette fluorescence a été faite par M. Bary (1).

M. Becquerel a montré la fluorescence des sels d'urane, du diamant qui peut être ainsi distingué du strass, de la blende, du papier, du verre, du coton, etc.

Les corps qui donnent la plus belle fluorescence sont le platinocyanure de baryum, le sulfate d'uranyle et le sulfure de zinc (préparé spécialement et phosphorescent par l'insolation). L'intensité de la lumière est très grande quand on mélange ces corps avec un sel actif. Le verre de Thuringe a une fluorescence remarquable. L'action du radium très actif peut s'exercer jusqu'à 2^m sur un écran au platinocyanure de baryum. La luminosité de l'écran au sulfure de zinc persiste quelque temps après l'éloignement du radium. M. Curie a pu observer l'éclairement d'un écran au platinocyanure de baryum à travers un corps humain. La fluorescence est beaucoup plus grande quand il y a contact ; pour le polonium, cette condition est nécessaire, ou tout au moins ne faut-il interposer qu'un écran extrêmement mince.

b. Luminescence. — Tous les composés du

(1) BARY, *Comptes rendus*, t. CXXX, 1900, p. 776.

baryum radifère sont *spontanément lumineux* (1).

Les sels haloïdes anhydres et secs sont particulièrement lumineux. On voit très bien cette luminosité dans une demi-obscurité, même à la lueur du gaz, et, en pleine obscurité, la lueur est suffisante pour lire des caractères d'imprimerie. L'humidité fait perdre la plus grande partie de la luminosité, mais Giesel a montré que cette luminosité réapparaissait au dessèchement.

Pour M. Bary (2), la luminosité est produite par la phosphorescence des sels de baryum sous l'action des rayons de Becquerel; cette hypothèse semble bien fondée, le bromure de radium pur n'est pas lumineux.

La luminosité des sels de baryum radifères se conserve, mais se modifie pour les sels à hautes activités; la lueur devient violacée au bout de quelques mois et diminue.

Le sel, lui-même, qui est blanc à l'origine, jaunit puis bleuit; il suffit de le dissoudre et de le dessécher à nouveau pour lui rendre sa couleur et sa luminosité primitives. Une solution de sel radifère très actif est lumineuse.

Les sels de radium sont *le premier exemple de sels spontanément lumineux*.

Cette luminosité émane de toute la masse, alors

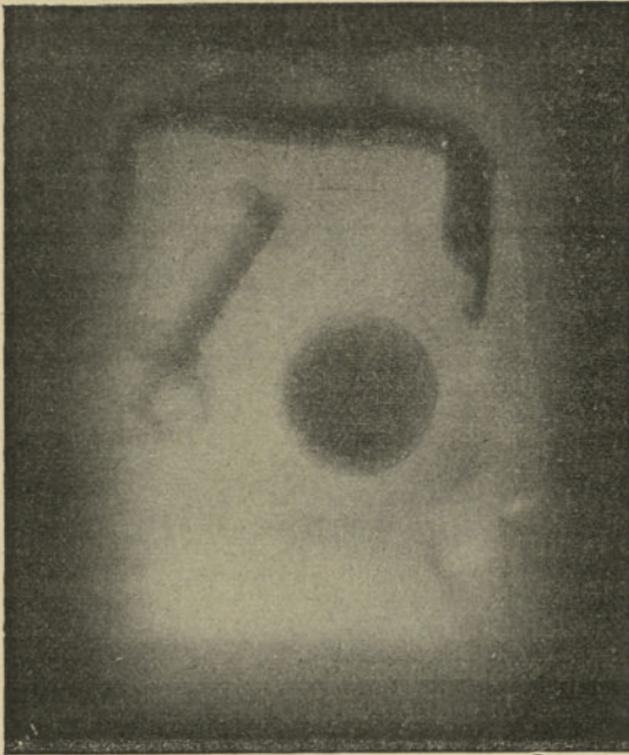
(1) CURIE, *Société de Physique*, 3 mars 1899. — GIESEL, *Wied. Ann.*, t. LXIX, p. 91.

(2) BARY, *Comptes rendus*, t. CXXX, 1900, p. 777.

que, pour les corps phosphorescents, la luminosité n'est que superficielle.

2° *Phénomènes radiographiques.* — Les trois

Fig. 11.

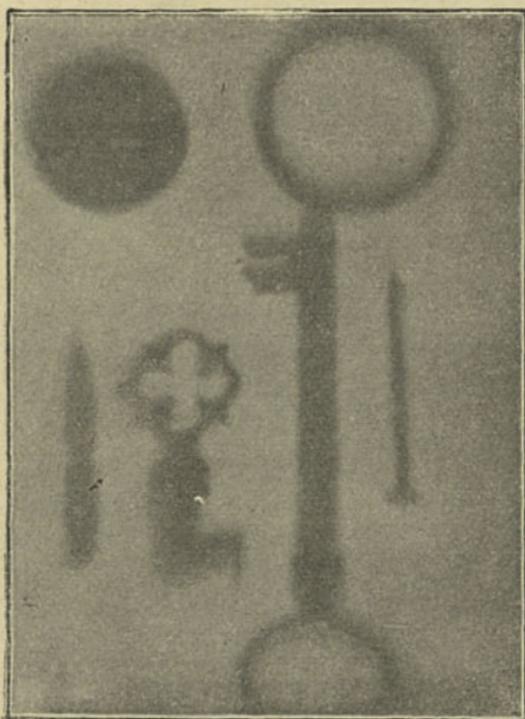


Radiographie obtenue avec les rayons du radium.

groupes de rayons émis par le radium ont une action sur les plaques photographiques.

Pour obtenir des radiographies on opère de

Fig. 12.



Radiographie obtenue avec un mélange de sulfure de zinc phosphorescent et de chlorure de baryum et de radium (activité 1000), renfermé dans un tube de verre scellé. Le tube est placé à l'intérieur d'un cône de cuivre argenté, lequel repose directement sur une boîte en bois renfermant des pièces métalliques. Temps de pose : 2 heures.

façon différente avec le polonium qu'avec le radium. On sait, en effet, que le polonium émettant

seulement des rayons α très absorbés, on ne peut opérer qu'à très faible distance et à travers des

Fig 13.



Radiographie de pièces métalliques placées sur une plaque sensible enveloppée de cinq feuilles de papier noir fort d'emballage. Temps de pose : 4 heures. Obtenue par six tubes du même mélange que dans l'expérience précédente, placés à 10^{cm} de la plaque.

écrans très minces. Pour le radium, même enfermé dans du verre, l'action se produit jusqu'à 2^m dans

l'air; ce sont les rayons γ et une partie des rayons β qui agissent.

On peut obtenir des radiographies d'objets solides; les métaux sont très opaques, sauf l'aluminium. Les os et les chairs semblent avoir la même pénétrabilité et il est impossible de distinguer le squelette.

Quand on opère à grande distance avec une source de petite dimension, on obtient des images très fines. Si l'on dévie les rayons β par un champ magnétique et si l'on n'opère qu'avec les rayons γ , il faut beaucoup de temps pour obtenir des radiographies, mais elles sont très nettes.

La caractéristique des radiographies obtenues par le radium est d'être très floues, les rayons β se diffusent dans les objets que l'on veut radiographier; à 0^m,20, il faut une pose de 1 heure, et de 1 jour à une distance de 1^m.

M. Boulay a pu obtenir rapidement des radiographies assez nettes en employant des tubes contenant un sel de radium mélangé avec du sulfure de zinc phosphorescent.

Une partie des rayons nuisibles est absorbée par le sulfure de zinc.

3° *Phénomène calorifique.* — M. Curie et M. Laborde (1) ont trouvé que *les sels de radium*

(1) CURIE et LABORDE, *Comptes rendus*, 16 mars 1903.

sont le siège d'un dégagement de chaleur spontané et continu.

Les sels de radium sont à une température supérieure au moins à $1^{\circ},5$ à la température ambiante.

M. Curie a fait cette démonstration par une expérience grossière à l'Institut royal de Londres, le 18 juin 1903, et le 3 juillet de la même année à la Société française de Physique, en se servant de simples thermomètres à mercure.

Le dispositif adopté est le suivant : dans deux thermo-isolateurs de d'Arsonval identiques, il place, dans le premier une ampoule contenant $0^{\text{e}},7$ de bromure de radium pur contre le réservoir d'un thermomètre à mercure; dans l'autre, une ampoule de même dimension contenant un sel de baryum contre le réservoir d'un thermomètre identique au précédent; l'ouverture des isolateurs est fermée par du coton. On constate au bout d'un certain temps que le thermomètre placé contre le radium marque 3° de plus que l'autre et que cette différence demeure constante.

MM. Curie et Laborde ont mesuré la chaleur dégagée en employant un calorimètre à glace de Bunsen. Le débit de chaleur est d'environ 100 petites calories par gramme de bromure de radium et par heure.

Le poids atomique du radium étant 225, l'atome-gramme (225^{e}) de radium dégagerait en 1 heure $22\ 500^{\text{cal}}$, soit une quantité de chaleur comparable

à celle qui est produite par la combustion d'un atome-gramme (1^g) d'hydrogène.

Pour expliquer ce dégagement de chaleur, aussi considérable, sans réaction chimique, on est amené à penser qu'on est en présence d'une transformation de l'atome de radium en un autre corps, peut-être de l'hélium, si l'on en croit Sir William Huggins; nous reviendrons sur cette hypothèse dans le dernier Chapitre; s'il y a transformation, elle est, dans tous les cas, très lente et produit une énorme quantité de chaleur.

Quand un sel de radium vient d'être préparé, ou que sa dissolution, enfermée en tube scellé, est récente, il y a un assez faible dégagement de chaleur; ce dégagement augmente peu à peu et atteint une limite au bout d'un mois, qui est la même pour le sel et pour la solution.

M. Curie et le professeur Dewar ont réalisé devant la Société Royale et l'Institut Royal de Londres une expérience très intéressante: on utilise la chaleur dégagée par le radium pour faire bouillir un gaz liquéfié et l'on mesure le volume de gaz dégagé. Ils ont opéré avec l'air liquide et avec l'hydrogène liquide. Avec ce dernier gaz l'expérience est particulièrement intéressante à cause du grand volume de gaz dégagé.

Le dispositif adopté est le suivant :

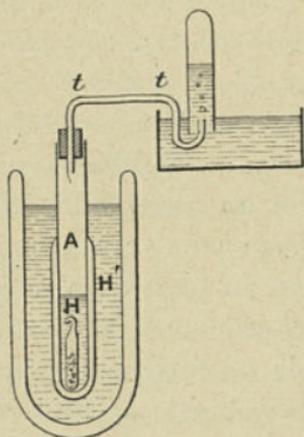
Le gaz liquéfié est placé dans un tube A, entouré d'un isolateur calorifique à vide de Dewar, qui est

plongé lui-même dans un bain de gaz liquéfié H' , entouré lui-même d'un isolateur calorifique.

Le tube A est fermé par un bouchon, d'où part un tube à dégagement t , amenant le gaz sous une éprouvette graduée sur la cuve à eau.

Avec cet isolement presque parfait, un déga-

Fig. 14.



gement insignifiant se produit dans le tube A. En plaçant dans le tube A une ampoule contenant 7^{dg} de bromure de radium, préparé depuis 10 jours, on obtient un dégagement de gaz régulier, qui est de 73^{cm³} par minute pour l'hydrogène.

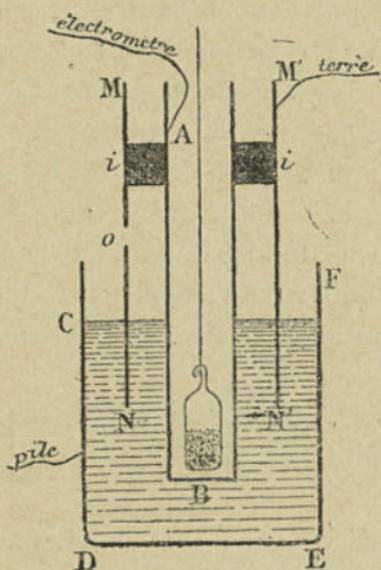
4° *Phénomènes électriques.* — Dans le Chapitre III, nous avons examiné déjà les charges

électriques des divers rayons produits par les substances radioactives et dans le premier Chapitre l'action ionisante sur l'air.

Nous complétons cette étude par celle de l'action ionisante des rayons du radium sur les diélectriques liquides.

a. Action ionisante des rayons du radium sur les diélectriques liquides. — M. Curie (1) a

Fig. 15.



reconnu cette action à l'aide du dispositif suivant
Un diélectrique liquide est placé dans un vase

(1) CURIE, *Comptes rendus*, 17 fév. 1902.

métallique CDEF; dans ce vase plonge un tube de cuivre AB, qui forme avec le vase lui-même deux électrodes.

Le vase est maintenu à un potentiel connu au moyen d'une batterie d'accumulateurs, ayant un pôle à la terre.

Le tube AB est relié à un électromètre quand un courant traverse le diélectrique et passe dans le tube AB et de là à l'électromètre. On maintient ce dernier au 0 à l'aide du quartz piézo-électrique, qui donne la mesure de l'intensité du courant. On opère de la même façon que dans l'ionisation de l'air. Pour empêcher le passage du courant par l'air, on entoure le tube AB par un tube métallique MM'NN', relié à la terre.

On peut placer l'ampoule contenant le radium, soit au fond du tube AB, soit au-dessous de DE. C'est de cette dernière façon que l'on opère quand on veut faire agir les rayons émanant du tube de Crookes.

M. Curie a obtenu pour les rayons du radium et pour les rayons X des effets du même ordre de grandeur.

Nous avons vu que pour un diélectrique gazeux l'intensité du courant obtenu est proportionnelle à la différence de potentiel entre les deux électrodes, tant que cette différence de potentiel ne dépasse pas quelques volts; pour les tensions élevées, l'intensité du courant croît moins vite et l'on

obtient le courant de saturation pour une tension de 100 volts (voir *fig. 7*).

Pour les diélectriques liquides, l'intensité du courant est proportionnelle à la tension jusqu'à 450 volts, même quand la distance des électrodes ne dépasse pas 6^{mm}.

Les expériences ont été faites à température constante, sur des isolants presque parfaits, l'air liquide, l'éther de pétrole, l'huile de vaseline, l'amylène. Sous l'action des rayons, l'huile de vaseline est moins conductrice que l'éther de pétrole très volatil. La température joue un certain rôle et influe la conductivité.

b. Effets et applications de l'action ionisante.

— On peut produire, par l'action des rayons de Becquerel, la condensation de la vapeur d'eau saturée, de la même façon que par l'action des rayons cathodiques ou des rayons X.

L'air étant rendu conducteur, l'étincelle électrique, produite par une bobine et pouvant passer indifféremment par deux chemins, jaillira seulement du côté où l'on placera un tube contenant du radium.

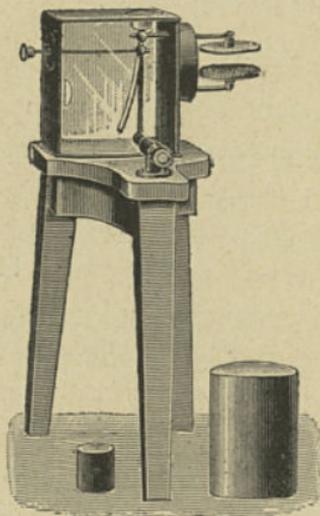
M. Paulsen (¹), au cours d'une expédition arctique, a employé le radium pour l'étude de l'électricité atmosphérique. Le radium est logé dans un

(¹) PAULSEN, *Rapport au Congrès de Physique de 1900*.

petit disque en aluminium, à paroi très mince, relié à un électromètre. L'air étant rendu conducteur au voisinage du disque, celui-ci prend le potentiel de l'air ambiant. On employait jusqu'ici des flammes ou des appareils à écoulement d'eau. Dans le même but l'expédition du D^r Charcot a emporté deux disques contenant du radium à activité 30000.

Électroscope pour l'étude des corps radioactifs. — M. Curie a combiné un électroscope dis-

Fig. 16.

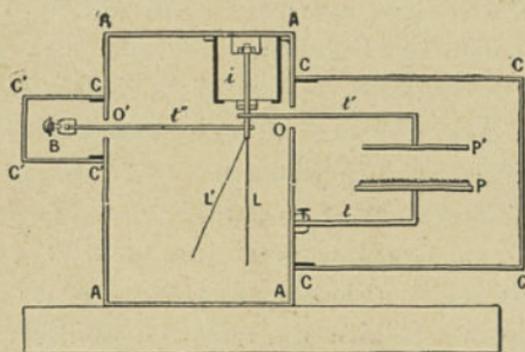


posé pour l'étude de la conductance de l'air sous l'influence des corps radioactifs.

Il se compose d'un électroscope à une seule lame

mobile d'or ou d'aluminium battus (L' *fig.* 17) fixée en D à une lame de cuivre fixe L , soutenue elle-même par une pièce isolante i . On étudie la conductance de l'air entre les plateaux P et P' . Ces plateaux, soutenus par les tiges métalliques t et t' , sont en relation électrique, le premier avec la cage

Fig. 17.



métallique AAAA de l'instrument, le deuxième avec les lames de l'électroscope.

On charge par influence l'électroscope en agissant sur le plateau P' avec un bâton d'ébonite électrisée, la lame L' est déviée de la verticale, et l'appareil étant bien isolé cette déviation persiste très longtemps quand aucune substance radioactive n'agit. Pour étudier l'effet de ces substances on les réduit en poudre et on les étale en couche très mince et régulière sur le plateau P .

L'air est rendu conducteur entre les plateaux et

l'électroscope étant chargé se décharge rapidement. La vitesse de déplacement de la lame L' pendant la décharge donne une mesure de l'intensité des radiations émises sur la substance radioactive.

On évalue la vitesse de déplacement, en regardant la partie inférieure de la lame L' au moyen d'un microscope fixe (*fig.* 16), muni d'un micromètre oculaire. On note avec un chronomètre le temps nécessaire pour que l'image du bord antérieur de la lame se déplace sur le micromètre d'un nombre de divisions déterminé. L'électroscope est enfermé dans une cage métallique AAAA fermée par deux glaces. Les plateaux sont situés dans une boîte métallique cccc constituée par une paroi de la cage et un chapeau métallique mobile.

On place les substances radioactives sur un plateau supplémentaire de même diamètre que le plateau P (8^{cm}) que l'on glisse sur celui-ci. Il est très difficile d'éviter la dissémination des poussières radioactives et, pour cela, il faut autant que possible procéder à toutes les opérations accessoires loin de l'électroscope et n'approcher les substances qu'après qu'elles ont été étalées régulièrement en couche mince. Si les substances sont très actives, on limite leur action en ne recouvrant seulement qu'une partie du plateau.

La tige t' et la borne B permettent de mettre la lame de l'électroscope en relation avec un appareil électrique quelconque, un condensateur par

exemple, qui diminue la sensibilité de l'instrument, ce qui est utile pour les mesures des substances très radioactives.

Action du radium sur la conductibilité électrique du sélénium. — F. Himsdet et Eug. Bloch ont montré que les rayons du radium agissent sur la conductibilité électrique du sélénium; la diminution de résistance observée est du même ordre de grandeur que les modifications produites par la lumière et par les rayons X, mais elle se manifeste plus lentement.

Ces résultats ont été confirmés par Edmond Van Aubel.

5° *Phénomènes chimiques.* — Les rayons du radium produisent des transformations chimiques dans certains corps. Les rayons, qui sortent d'une ampoule de verre scellée renfermant du radium, ne produisent aucune transformation sur l'oxygène de l'air (1); par contre, on perçoit une forte odeur d'ozone, quand on ouvre une ampoule ayant renfermé du radium pendant quelque temps; on peut le reconnaître à l'aide du papier à l'iodure de potassium amidonné. Il semble que la production d'ozone est liée à la propagation de la radioactivité induite, qui fera l'objet du Chapitre VI.

(1) M. et M^{me} CURIE, *Comptes rendus*, 1899, t. CXXIX, p. 823.

M. Villard (1) a observé que le platinocyanure de baryum est transformé en un corps brun moins fluorescent. M. Giesel (2) a préparé du platinocyanure de baryum radifère, qui a l'aspect du sel ordinaire et est très lumineux; peu à peu le sel devient brun; il est beaucoup moins lumineux, quoique sa radioactivité ait augmenté.

Le sulfure de zinc phosphorescent perd peu à peu sa propriété phosphorescente quand il est mélangé avec un sel de radium, cela même quand il n'est pas en contact avec lui comme dans les expériences de radioactivité induite dont nous parlerons.

La porcelaine et le verre, sous l'action des substances radifères, se colorent en brun ou en violet; pour M. Villard (3), la coloration violette est due à l'oxydation du manganèse contenu dans le verre; cette coloration est analogue à celle produite par les rayons cathodiques; elle n'est pas superficielle et ne disparaît pas par le lavage aux acides. C'est une action produite dans toute la masse.

Quant à la coloration brune, elle disparaît au chauffage et semble due à une action sur les sels de plomb ou de potassium et de sodium du verre. Giesel a montré que les sels haloïdes des métaux

(1) VILLARD, *Soc. franç. de Physique*. 18 mai 1898.

(2) GIESEL, *Wied. Ann.*, t. LXIX, p. 91.

(3) VILLARD, *Comptes rendus*, 1899, t. CXXIX, p. 882.

alcalins, par exemple le sel gemme et la sylvine, se colorent sous l'action des rayons du radium de la même façon que sous l'action des rayons cathodiques. On peut obtenir la même coloration en faisant séjourner les sels dans la vapeur du sodium (1).

La coloration des sels de radium se modifie avec le temps, les sels sont blancs au moment de la préparation; ils deviennent jaunes ou violacés, parfois roses; cette coloration est sans doute produite par l'action du radium sur des traces impondérables de sodium dont il est impossible de le débarrasser.

Le chlorure de radium dégage une odeur d'eau de Javel par production d'un composé oxygéné du chlore; le bromure dégage du brome. Giesel croit que la solution de radium dégage de l'hydrogène.

Le papier est altéré et coloré en brun, le phosphore blanc est transformé en phosphore rouge, le bichlorure de mercure est réduit en calomel en présence de l'acide oxalique.

M. Berthelot a fait des expériences sur l'action des rayons du radium; mais les effets qu'il a observés ont été produits non par les rayons de Becquerel, mais par les rayons lumineux émanant du sel qu'il a employé; les effets ont été totalement supprimés par l'interposition d'un écran en simple papier noir. M. Berthelot a utilisé un tube contenant du radium très actif, renfermé dans un second

(1) GIESEL, *Soc. de Phys. allemande*, janvier 1900.

tube de verre, les deux tubes étant exactement en contact. Il a constaté qu'en immergeant pendant 9 jours le tube dans une éprouvette contenant de l'acide iodhydrique, l'iode était mis en liberté; une éprouvette témoin placée dans l'obscurité n'a présenté aucun changement. Il a constaté également que l'acide azotique était jauni par les rayons.

Enfin, et cette action est produite par les rayons de Becquerel, le tube mince qui entoure l'ampoule renfermant le radium est coloré partie en brun, par réduction métallique du plomb contenu dans le verre, partie en violet par oxydation du manganèse du verre au contact de l'air.

Cette suroxydation peut sembler complémentaire de la réduction du plomb; on peut admettre qu'il y a là, soit l'action de deux ordres de radiations, soit ionisation du corps.

6° *Phénomènes de thermoluminescence.* — La fluorine devient lumineuse quand on la chauffe, c'est un corps thermoluminescent. Cette propriété s'épuise au bout de quelque temps, mais la faculté de devenir lumineux lui est rendue par l'action d'une étincelle électrique, ou par celle du radium (1). Lors de la chauffe, la fluorine se transforme avec production de lumière; sous l'action du radium une transformation, en sens inverse, se fait également accompagnée de lumière.

(1) BECQUEREL, *Rapport au Congrès de Physique*, 1900.

Quand on chauffe du verre bruni par l'action du radium, la coloration disparaît et il y a production de lumière.

Ces phénomènes, comme la fluorescence et la luminescence, ne sont peut-être produits que par une transformation chimique ou physique de la substance qui émet la lumière.



CHAPITRE V.

ACTION PHYSIOLOGIQUE ET MÉDICALE DES RAYONS DU RADIUM.

Nous avons cru utile de donner un assez grand développement à ce chapitre, vu l'importance de la question et l'avenir qui semble lui être réservé. Nous avons été obligé de parler des actions physiologiques des rayons émanant du tube de Crookes, en raison de l'analogie existant entre eux et les rayons de Becquerel.

La thèse du D^r A. de Pissaref, soutenue le 20 juillet 1903 à la Faculté de Médecine de Paris, résume parfaitement *l'action des radiations nouvelles (rayons de Röntgen et rayons de Becquerel) sur les êtres vivants*, et nous avons eu la bonne fortune de la rencontrer pour y puiser de nombreux renseignements, qui sont classés avec une méthode à laquelle nous sommes heureux de rendre hommage. Cette thèse a été rédigée sous les auspices du D^r A. Béclère, de l'hôpital Saint-Antoine, qui s'est particulièrement occupé de la radiothérapie et que nous remercions des renseignements qu'il a bien voulu nous fournir. La

thèse du D^r Blandamour, ancien externe de l'hôpital Saint-Louis, service du D^r Danlos, soutenue à la Faculté de Médecine de Paris le 26 novembre 1902, nous a fourni l'ensemble des travaux exécutés par le D^r Danlos et le D^r Bloch pour le traitement des maladies de peau et particulièrement pour le lupus.

Nous devons aussi remercier le D^r A. Darier, qui nous a communiqué les résultats des intéressantes recherches qu'il a entreprises pour le traitement de certaines maladies des yeux, considérées comme incurables; nous avons eu le plaisir de voir appliquer un mode de traitement qui nous paraît devoir remplacer tous les autres et dont nous sommes un peu l'inspirateur.

INTRODUCTION. — RADIOTHÉRAPIE.

Dès 1895, les rayons émanant du tube de Crookes furent employés en médecine comme moyen d'investigation chirurgical par la radioscopie et la radiographie qui forment la *radiodiagnostic*.

En 1896, on utilisa l'action physiologique des rayons : c'est la *radiothérapie*, qui, non réglée, peut causer des désordres et des lésions graves; qui, au contraire, bien conduite, peut amener la guérison de certaines maladies cutanées.

On observa, en effet, sur des sujets soumis à la

radiographie, des épilations, des brûlures allant jusqu'à l'escharre; ces accidents furent désignés sous le nom de *radiodermites*.

Le Dr Freund, de Vienne, traita avec un plein succès un nœvus pigmentaire et fut le créateur de ce nouveau mode thérapeutique.

Des ampoules causant des actions physiologiques, d'autres n'en causant pas, on attribua ces actions tantôt aux rayons, tantôt aux décharges électriques latérales se produisant avec certaines ampoules.

Röntgen divise les ampoules en ampoules dures et ampoules molles; la dureté désigne la résistance au passage du courant; cette résistance est d'autant plus forte que le vide est plus absolu.

En 1900 Strater, Kienbœck, de Vienne, et Oudin, de Paris, prouvèrent scientifiquement que seuls les rayons X ont une action sur la peau et que cette action dépend de la quantité de rayons qui la frappent.

Kienbœck divise les ampoules en 5 catégories :

1° *Ampoules très molles*. — Elles sont très conductrices et fournissent peu de rayons de Röntgen.

2° *Ampoules molles*. — Elles donnent des radiographies où les os sont à peine visibles, produisent des rayons peu pénétrants et ne donnent pas de décharges électriques latérales.

3° *Ampoules demi-molles.* — C'est avec elles que l'on obtient les meilleures images, les ombres ont des contrastes frappants, il y a beaucoup de rayons et peu de décharges latérales.

4° *Ampoules dures.* — On a des images faibles, il y a peu de rayons très pénétrants et beaucoup de décharges latérales.

5° *Ampoules très dures.* — On a seulement des décharges latérales.

Kienbæck montra qu'avec les ampoules dures et très dures on ne peut avoir aucune action sur la peau et qu'au contraire l'action est maximum avec les ampoules demi-molles, qui sont celles produisant le plus de rayons de Röntgen.

Le même auteur montra qu'un écran métallique supprime toutes les actions et qu'il faut environ 10 fois moins de rayons pour amener l'alopecie que la nécrose.

Dans ces derniers temps, grâce au chromoradiomètre d'Holzknrecht, qui donne la quantité de rayons produits, on a pu vérifier la loi formulée par Kienbæck, qui dit : « *La réaction de la peau dépend de la quantité des rayons qui la frappent.* »

Mais, si la quantité de rayons a une grande importance, la qualité de ces rayons en a une aussi grande. Les rayons très peu pénétrants ont une

grande action sur les tissus qui les absorbent, par contre les rayons très pénétrants n'en exercent aucune.

Avec le radiochromomètre de Benoist, qui donne la qualité des rayons, l'osmorégulateur de Villard, qui permet de faire varier le vide, et le spintermètre du Dr Bécclère, qui indique à chaque instant le degré de pénétration des rayons, on peut procéder à des mesures et la radiothérapie n'est plus simplement de l'empirisme mais est devenue une véritable science.

En plus de la quantité et de la qualité des rayons, certains autres facteurs biologiques interviennent : espèce, âge, région de la peau, état sain ou non de cette peau.

ACTION DES RAYONS DU RADIUM. — GÉNÉRALITÉS.

Nous avons vu dans le Chapitre III que les rayons du radium peuvent se diviser en :

1° *Rayons α .* — Ils sont déviés relativement peu par le champ magnétique, dans le même sens que les rayons canaux ; ils sont très peu pénétrants, presque entièrement absorbés par un écran en aluminium de 0^{mm},02 d'épaisseur ; enfin ils se propagent dans l'air seulement jusqu'à 6^{cm}. Ces rayons forment la majeure partie du rayonnement, environ 64 pour 100.

2° *Rayons* β . — Ils sont déviés dans le même sens que les rayons cathodiques par le champ magnétique; ils comprennent des rayons très pénétrants et des rayons très peu pénétrants; ils agissent à plusieurs mètres. Ils forment environ 24 pour 100 du rayonnement.

3° *Rayons* γ . — Ils ne sont pas déviés, sont analogues aux rayons X et sont très pénétrants. Ils ne forment que 10 pour 100 du rayonnement. Il n'y a donc que les rayons α et une partie des rayons β , les moins pénétrants, qui puissent avoir une action sur la peau; il y a lieu dans tous les cas de les faire agir à très faible distance et en interposant un écran aussi peu épais et aussi peu absorbant que possible.

L'action produite par les rayons du radium sur la peau a été observée par M. Walkhoff⁽¹⁾, M. Giesel⁽²⁾ et par MM. Becquerel et Curie⁽³⁾. M. Becquerel ayant placé un tube renfermant 0^g,2 d'un sel de radium très actif, environ 800 000, dans le gousset d'une chemise de flanelle et l'ayant gardé ainsi pendant 6 heures, constata au bout de 15 jours un érythème, qui s'ulcéra et ne se cicatrisa, au bout d'un mois, que très difficilement à l'aide de pansements au liniment oléocalcaire. M. Becquerel ne ressentit aucune douleur.

(1) WALKHOFF, *Phot. Rundschau*, octobre 1900.

(2) GIESEL, *Berichte d. deutsch. chem. Gesell.*, t. XXIII.

(3) BECQUEREL et CURIE, *Comptes rendus*, t. CXXXII, p. 1289.
B. 6

M^{me} Curie fut victime d'une mésaventure analogue au cours d'un voyage en Pologne.

M. Curie a répété l'expérience en plaçant sur le bras, pendant 10 heures, un petit sachet de gutta-percha renfermant du radium à activité 5000; il se produisit un érythème, qui pâlit, s'ulcéra au bout de 20 jours, ne commença à se cicatriser que le 42^e jour et ne fut entièrement guéri qu'après 4 mois de soins.

Ceux qui ont travaillé les sels de radium constatent la desquamation presque complète des doigts, qui deviennent douloureux; cette douleur persistant parfois pendant deux mois. Les parties qui ont été en contact avec le radium durcissent, se mortifient et laissent des cicatrices.

M^{me} Curie, ayant conservé une demi-heure, dans la main, une boîte métallique renfermant un tube contenant du radium, eut un érythème au bout de 15 jours, suivi d'une ampoule blanche, reconnu par le D^r Oudin pour une radiodermite. Giesel a appliqué, pendant 2 heures, sur son bras, une ampoule en celluloïd renfermant 0^g,3 de bromure de radium pur; il a constaté un érythème, suivi, au bout de 2 à 3 semaines, d'une dermatite avec soulèvement de la peau et suintement comme après une brûlure; 3 mois après, la guérison étant terminée, la peau était déprimée, luisante, glabre et boursoufflée sur le pourtour comme après une brûlure.

Le D^r Oudin a fait des expériences sur les diverses parties du corps d'un cobaye; les temps d'exposition étant tous de 20 minutes, il constata au bout d'un mois l'alopecie des paupières, et, au bout de deux mois, aucun phénomène inflammatoire sur les cuisses, ni sur les talons.

Les diverses régions du corps réagissent différemment. L'état initial de la peau et le temps d'exposition ont une importance primordiale, comme du reste l'activité de la substance radioactive. Nous avons été personnellement victime, à deux reprises différentes, d'accidents peu graves; ayant observé pendant quelques heures des sels de radium, nous avons été atteint, au bout d'une semaine, d'une rhinite assez douloureuse, avec enflure et phénomènes consécutifs de desquamation, analogues à ceux produits par un coup de soleil.

ACTION DES RAYONS DU RADIUM SUR UNE PEAU SAINÉ.

On peut avoir une action sur la peau en opérant de trois façons différentes.

1° *Exposition forte et unique.* — Soit avec du radium à haute activité pendant quelques heures, soit avec du radium moins actif pendant de longues heures. Le résultat obtenu est une radio-dermite aiguë.

2° *Expositions fortes et répétées.* — On emploie du radium très actif et l'on opère par des

poses courtes de quelques minutes, répétées pendant plusieurs jours. On peut occasionner également des radiodermites. C'est aussi une méthode ulcéreuse comme la première, quoique à un degré moindre.

3° *Exposition faible et longue.* — On emploie du radium à très faible activité pendant une longue durée. Cette méthode n'amène pas d'accidents ulcéreux et nous croyons qu'elle sera préférée dans l'avenir.

Les radiodermites aiguës sont plus ou moins graves; on peut les classer suivant leur importance, par degré, comme les brûlures; nous empruntons cette classification au D^r de Pissareff.

1^{er} *degré.* — Il est caractérisé par la non modification de la surface de la peau, dès le début, pendant une sorte de période d'incubation. Après 15 jours et 3 semaines commencent les premiers symptômes, le système pileux devient fragile et tombe. L'alopecie peut être complète, laissant la peau lisse, parfois légèrement pigmentée pendant quelque temps. Au bout de deux mois, les poils repoussent et la région reprend son aspect primitif.

2^e *degré.* — Il est caractérisé par un érythème légèrement rosé au début, puis plus foncé; les

tissus s'infiltrant, il y a démangeaison. Parfois, la lésion s'arrête à cet état, il y a desquamation; l'épiderme redevient intact, mais il est plus tendre, luisant, glabre, parfois de façon permanente.

3^e degré. — Il est caractérisé par un érythème intense, foncé, accompagné de démangeaisons assez vives. La peau se boursoufle, il se forme des bulles et des phlyctènes qui laissent suinter un liquide trouble et ensuite purulent. Quand le tissu se déchire, il y a ulcère suintant; la démangeaison est de plus en plus vive.

Nous signalerons plus loin le cas d'un malade traité pour un lupus, qui fut privé de sommeil pendant un mois à cause de la douleur que lui causait la radiodermite. Cet état peut persister pendant une à deux semaines; la guérison se produit enfin, par cicatrisation localisée; l'épilation peut être permanente, il reste une pigmentation avec traces indélébiles.

4^e degré. — Il est caractérisé par la destruction totale de la peau, avec parfois douleur atroce au début, s'irradiant au loin. La surface est ulcérée, elle présente des taches jaunes, grises qui s'étendent; il se forme une escharre brune peu sensible, séparée du milieu sain et laissant couler un liquide épais, séreux, puis purulent.

L'escharre se détache difficilement. L'ulcère est

très profond, se répare peu à peu et guérit avec une désespérante lenteur. La cicatrice a des bords irréguliers, boursoufflés; elle est pigmentée, parfois profonde et ressemble à la cicatrice d'une brûlure grave.

Ce qui caractérise la radiodermite des autres brûlures produites, soit par les rayons solaires, soit par ceux de la lampe à arc, c'est la période d'incubation ou stade de latence de 8 jours à 3 semaines, qui précède l'éclosion de tout phénomène inflammatoire. Il semble que les applications successives produisent une sorte d'accumulation d'action. Il est rare, quand on opère avec précaution, qu'il y ait accident.

L'inflammation est, dans tous les cas, beaucoup moins grande pour une série d'expositions, dont la somme des durées est égale au temps d'une application unique.

La réaction est d'autant moins vive que les expositions sont faites à de plus grands intervalles.

Nous reviendrons plus loin sur les expositions de longue durée avec un sel de radium très peu actif.

L'idiosyncrasie joue un faible rôle dans ces actions.

La peau de femme et des enfants est plus sensible que celle de l'homme. Le visage et les membres supérieurs sont plus facilement atteints que les jambes et le dos; enfin la peau malade réagit beaucoup plus.

MODIFICATIONS ANATOMIQUES.

Certains auteurs pensent que les rayons agissent sur la circulation et sur les éléments cellulaires eux-mêmes. Le D^r Scholtz a fait des études très complètes, dans sa clinique dermatologique de Breslau, sur les modifications anatomiques produites par les rayons X; nous reproduisons ses conclusions en les étendant à l'action des rayons de Becquerel, qui agissent d'une façon plus intense :

1^o Les rayons λ influencent, surtout, les éléments cellulaires de la peau, qui sont atteints en premier lieu et subissent une longue dégénérescence, tandis que les tissus conjonctifs, élastiques (muscles ou cartilages) ne sont altérés qu'à un degré très faible et ne souffrent que secondairement.

2^o La dégénérescence atteint surtout les cellules de l'épiderme, puis beaucoup moins les cellules des organes glandulaires, des vaisseaux, des muscles et du tissu conjonctif.

3^o Les processus de dégénérescence sont variés et atteignent aussi bien le noyau que le corps des cellules.

4^o Aussitôt que la dégénérescence des éléments cellulaires atteint un certain degré, la réaction in-

flammatoire se manifeste par une vasodilatation, œdème des tissus et envahissement de leucocytes ou globules blancs. Si, à la suite d'une action très forte, la dégénérescence cellulaire est très prononcée, les leucocytes s'y dirigent en masse et aident à la destruction complète du tissu altéré.

5° Les lésions des grands et des petits vaisseaux jouent probablement un grand rôle dans l'évolution de l'ulcère et dans sa réparation extrêmement lente.

MODIFICATIONS PHYSIOLOGIQUES.

Le D^r Oudin croit que les troubles sont dus aux altérations des terminaisons nerveuses trophiques sous-épidermiques dépendant du réseau sympathique qui président à la nutrition.

Kienbœck pense qu'il y a une modification chimique des tissus, produite par les rayons absorbés, par analogie à la transformation des rayons ultraviolets et de la lumière de l'arc électrique en énergie chimique. Il se formerait des substances anormales et vénéneuses, de véritables toxines, qui s'accumuleraient dans les tissus pendant la période de latence et détermineraient ensuite une inflammation avec intoxication générale, suivie de fièvre.

Personnellement, nous croyons que l'hypothèse du D^r Oudin est la plus justifiée.

EMPLOI DES RAYONS DU RADIUM EN THÉRAPEUTIQUE.

Les rayons de Becquerel excitent à faible dose les cellules qu'ils détruisent à haute dose.

Ainsi l'alopecie est produite par les rayons du radium, et, par contre, on peut agir sur le bulbe pileux et faire repousser les poils dans les régions où une maladie cutanée a occasionné leur chute.

On peut donc utiliser les rayons :

1° Contre l'atonie des tissus, en modifiant la nutrition de la région et en excitant les formations glandulaires et pilaires;

2° Contre les affections localisées des annexes de la peau (glandes et follicules pileux), ou dans les maladies plus graves comme les épithéliomas (cancer superficiel) et psoriasis. On a utilisé presque exclusivement jusqu'ici l'action destructive par la méthode ulcérente.

On a traité avec succès divers lupus, le psoriasis, la pelade, des bacilloses ganglionnaires, des cancers à la lèvre, au palais, au nez; un épithélioma térébrant de l'orbite, etc., etc.; enfin on a fait disparaître une tache de vin. Un large champ d'étude est ouvert, nul doute qu'il ne soit fécond.

Nous allons énumérer d'une façon particulière les travaux du Dr Danlos à l'hôpital Saint-Louis.

TRAVAUX DU D^r DANLOS SUR LE LUPUS.

Le D^r Danlos utilisa les sels de radium, mis à sa disposition par M. Curie.

Il plaça la poudre dans des sachets imperméables en caoutchouc très mince ou en celluloïd (plaques). Ces sachets étaient rectangulaires, avaient pour dimensions 40^{mm} sur 50^{mm} environ; le radium, s'étendant sur 15^{mm} à 20^{mm} et sur 25^{mm} à 30^{mm}, avait une épaisseur de 2^{mm} à 3^{mm}.

Ces sachets ou plaques ont pour avantage d'être constitués par une matière absorbant peu les rayons, d'adhérer facilement et de pouvoir être mis en contact avec la partie à traiter. Ils présentent comme inconvénient² de ne pas protéger des radiations latérales la région voisine de celle qu'on veut traiter; ces sachets sont très difficiles à aseptiser et leur fragilité est extrême.

Pendant ces deux dernières années le D^r Danlos et son interne M. Bloch ont utilisé le chlorure de radium aux activités suivantes :

1000, 1800, 5200 et 19000.

Ils vont opérer maintenant avec du chlorure de baryum radifère à activité 200000, renfermant environ $\frac{1}{9}$ de son poids en sel de radium pur et à activité 300000 renfermant environ $\frac{1}{6}$ de son poids.

Le dispositif employé est tout différent, nous en parlerons.

Les sachets étaient maintenus à l'aide de bandes de flanelle ou de gaze. Les durées d'application ont été de 6 à 8 heures, parfois avec les faibles activités de 100 à 120 heures, dans la majorité des cas 24 à 48 heures.

Le D^r Danlos a fait part, le 3 juillet 1902, de ses travaux sur le lupus à la Société de Dermatologie et Syphiliographie :

« Voici ce qu'on observe, après une application de 24 à 36 heures (en plaques de 19000 ou 5200). Tout d'abord un peu de rougeur ou même rien, puis, après un temps variant de 6 à 15 ou 20 jours, suivant l'état antérieur de la peau, l'épiderme, sous la partie qui a subi l'application, et dans une étendue qui ne dépasse guère celle de la plaque, prend un aspect macéré, blanchâtre, et tombe. Souvent aussi, il se fait une phlyctène flasque; celle-ci déchirée, l'ulcération se complète en quelques jours. Nous l'avons vu très superficielle, mais sa sécrétion est assez abondante. Avec les intensités radiantes faibles il n'y a pas de sensations morbides particulières. Après des applications prolongées de plaques fortes et particulièrement à la face, il peut se développer des douleurs. Après 6 semaines à 3 mois, l'ulcération se comble, laissant une cicatrice blanche de très bon aspect. »

Les effets produits varient en fonctions :

- 1° De l'activité de la substance ;
- 2° Du temps d'application ;
- 3° De l'état de la zone sur laquelle on agit.

Le mode opératoire n'est pas encore bien déterminé et l'on procède toujours avec une timidité extrême. Nous considérons que la dernière variable est d'importance majeure.

Le D^r Danlos, en utilisant du radium à activité 1800, pendant 120 heures, n'a obtenu que des modifications peu importantes et peu durables ; pour le même temps, avec du radium à 19000, on dépassait le but. Pour lui, les faibles activités donnent des résultats immédiats, favorables, mais on a souvent la récédive que l'on n'a pas observée avec des activités plus fortes.

Nous croyons qu'avec ce radium à activité 1800, par des expositions de 200 heures, on obtiendrait des effets persistants puisque, avec du radium à 240 seulement, le D^r Darier a obtenu d'excellents résultats.

La durée d'application semble influencer la période de latence ; pour agir rapidement il vaut donc mieux faire une longue pose, plutôt que d'employer une très forte activité.

Avec du radium à 19000 appliqué pendant 4 jours on a eu une ulcération dès l'enlèvement

de la plaque; pour une application de 24 heures, le même phénomène n'a été observé que 15 jours après.

PHÉNOMÈNES CONSÉCUTIFS A L'APPLICATION
DU RADIUM SUR LE LUPUS.

Nous reproduisons les observations du D^r Blandamour, qui a été attaché comme externe au service du D^r Danlos.

Les phénomènes se divisent en trois phases :

- 1^o *Phase pré-ulcération;*
- 2^o *Phase d'ulcération;*
- 3^o *Phase de cicatrisation.*

1^o *Phase pré-ulcération.* — Il y a, comme nous l'avons vu, une période de latence de 8 à 21 jours; mais parfois, soit après des poses très longues, soit avec du radium à très haute activité, on a observé un érythème; il pourrait y avoir même une ulcération.

Après l'érythème, il se produit une macération; la place exposée devient blanchâtre entourée parfois d'une zone rougeâtre et se recouvre de croûtes ou de phlyctènes flasques.

L'érythème est très tranché; même sur un lupus érythémateux intense, on distingue nettement les contours de la plaque.

Si la réaction est insuffisante, la zone de macé-

ration ou de phlyctène pâlit, se plisse, se desquame et laisse une légère excoriation,

Si la tuméfaction est forte, il y a suintement séreux, formation de croûtelles jaunâtres, isolées ou confluentes, qui tombent et forment une seule ulcération.

La partie traitée présente l'aspect d'une brûlure, la phlyctène flasque mal remplie de liquide se rompt et l'ulcération devient suppurante.

Les malades traités se plaignent d'une légère démangeaison, en général après l'érythème, souvent seulement après l'ulcération. Avec les très hautes activités il y a sensibilité très vive.

2° *Phase d'ulcération.* — Parfois, comme nous l'avons dit, il y a ulcération avant l'enlèvement de la plaque. En général, cependant, l'ulcération n'apparaît qu'au bout de 10 à 15 jours, parfois seulement après 20 jours. Cette ulcération se produit par la réunion de petites excoriations disséminées aux points où il y a des tubercules en activité. La perte de substance est un peu plus étendue que la plaque à cause des rayons latéraux.

L'ulcération a un aspect blafard, blanchâtre, tout à fait spécial. Le fond en est lisse, plat, sans bourgeons charnus. La caractéristique est l'atonie avec le peu de tendance à bourgeonner et à se combler, qui amène une grande lenteur dans la cicatrisation.

Le liquide suintant est, soit incolore, soit parfois sanguinolent. La sensibilité est augmentée, le malade a tendance à se gratter et ressent une brûlure passagère ou continue.

On a employé comme pansement l'eau boriquée; certains malades ont appliqué sur la plaie des feuilles de plantin lavées à l'eau pure. Cette application a considérablement diminué la douleur et semble avoir activé la guérison.

Le D^r Blandamour pense que cette feuille de plantin absorbe la radioactivité induite que possède la plaie et qui, pour lui, retarde la guérison. Nous croyons que le D^r Blandamour commet une erreur, il ne peut y avoir ici de phénomènes de radioactivité induite; ce phénomène ne se produisant pas, comme nous le verrons plus loin, en dehors de l'enceinte close où se trouve enfermé le radium.

3^o *Phase de cicatrisation.* — Elle n'a rien de particulier si ce n'est sa grande lenteur. Il se produit de faibles bourgeonnements, l'épiderme se reforme en partant des bords et laisse une cicatrice blanche, lisse, superficielle et souple. La cicatrisation demande pour être totale de 6 jours à 3 mois; dans la majorité des cas traités, de 15 à 25 jours.

ACCIDENTS CONSÉCUTIFS AU TRAITEMENT PAR LE RADIUM.

Ces accidents ont été peu graves, et le D^r Danlos n'en a observé que 2 sur plus de 30 cas traités.

1^o *Ulcération douloureuse.* — On l'a observée après une seconde application de radium à 19000, faite par le malade, sans qu'on la lui eût ordonnée. La démangeaison et la sensation de brûlure furent telles que le sujet a été privé de sommeil; les douleurs cessèrent après des pansements à la cocaïne faits pendant 1 mois. Il est probable que l'ulcération s'était infectée; on voit donc qu'il faut opérer avec une grande prudence dans les applications de radium même à activité relativement faible.

2^o *Retard excessif dans la cicatrisation et sclérose.* — On l'a observé sur un malade atteint d'un lupus verruqueux de la main après une application trop longue d'une plaque de 19000. A ce sujet, les D^{rs} Hallopeau et Gadaud firent une Communication spéciale à la Société de Dermatologie, le 3 juillet 1902. Nous en reproduisons *in extenso* une partie ainsi que la réponse faite par le D^r Danlos : « Si nous nous reportons au souvenir que nous a laissé ce malade, à la suite de

ses précédents séjours prolongés dans notre service, ce qui frappe surtout, c'est l'amélioration très considérable et réellement surprenante que présente son lupus; les saillies verruqueuses ont partout disparu, il n'en reste pour ainsi dire pas trace; elles ont été remplacées presque partout par une cicatrice lisse, de bon aspect. Voilà donc un fait à l'actif de cette nouvelle médication et l'on ne peut en contester la grande valeur. D'autre part, il y a une ombre au tableau: c'est la production de deux ulcérations qui, depuis environ 6 mois, persistent chez ce malade consécutivement à l'application prolongée du radium. Il est possible que la sclérose, qui appartient à cette forme de lupus, ait été pour une part dans leur production. Quoi qu'il en soit, elles montrent que, tout au moins dans cette forme de lupus, il ne faut pas prolonger outre mesure la durée d'application.

» Il est un autre inconvénient que l'on peut reprocher à ce traitement. Nous voulons parler de l'accentuation de la sclérose. Notre malade est, à cet égard, des plus affirmatifs; il assure que c'est seulement depuis qu'il a été soumis à l'action du radium qu'il se trouve dans l'impossibilité de fléchir les doigts malades.

» Cette assertion n'a rien que de vraisemblable, car ce que l'on observe chez les malades qui pratiquent la radiographie montre que ces actions ont pour résultat le développement d'une sclérose des

plus prononcées. Il faudra donc faire la part, dans l'emploi de cette substance, de cette puissance sclérogène.»

Voici la réponse du D^r Danlos :

« Il s'agit d'un lupus scléro-verruqueux rebelle, plusieurs fois gratté sans succès dans plusieurs services et notamment une fois dans le mien. Quand le malade est entré dans ma salle, en novembre 1901, le lupus était beaucoup plus étendu qu'aujourd'hui. Je n'ai aucun renseignement sur l'évolution des ulcérations, car le malade a quitté le service quelques jours après leur production. Toutefois il n'est pas douteux que l'ulcération montrée par M. Hallopeau ne soit la suite d'une dernière application de radium (19000 pendant 120 heures). La forme quadrangulaire de l'ulcère reproduit bien nettement celle de la plaque de radium. La question est de savoir pourquoi l'ulcération a pris l'apparence qu'elle offre aujourd'hui. Toujours j'ai vu les ulcérations du radium très superficielles et celles-ci, très profondes, paraissent dépasser sur quelques points l'épaisseur du derme. Faut-il invoquer l'infection de la plaie, l'état scléreux du doigt, depuis longtemps frappé de lupus? Une réponse péremptoire est difficile à donner. Mais j'admets, en outre, très bien que l'application du radium a été ici trop prolongée. Cette constatation faite, je dois faire remarquer que ce malade, atteint d'un

lupus rebelle, a toutefois tiré un bénéfice très réel des autres applications, car sa main, ulcération à part, est en bien meilleur état qu'à son entrée dans mon service. Le radium me paraît l'avoir plus modifié que tous les grattages antérieurs. De la raideur et des douleurs, je ne dirai rien, sinon que tout cela existait déjà quand le malade est entré. Ce cas montre que, en maintenant pendant 120 heures une plaque de 19000 sur des tissus scléreux, on s'expose à déterminer des guérisons difficiles.

» Par guérison difficile j'entends celle qui demande plus de 3 mois, car il faut bien remarquer qu'en général les ulcérations produites par le radium, comme celles des rayons X, sont généralement très longues à guérir. »

Depuis cette époque, l'ulcération dont il s'agit est entièrement guérie.

Le D^r Oudin pense qu'on éviterait les accidents en séparant les rayons X des rayons cathodiques, soit par un aimant, soit par une lame d'aluminium; à notre avis, cela aurait plutôt une action fâcheuse. En effet, les rayons α sont presque entièrement absorbés par les parois de la plaque; quant aux rayons β , une partie est également absorbée; l'autre partie non absorbée, mais encore déviée, viendrait frapper la peau en dehors de la zone d'application; ils resterait seulement les rayons γ insensibles à

l'action du champ magnétique mais entièrement pénétrants et n'ayant probablement qu'un faible effet sur la peau, puisqu'il semble que l'action est une conséquence de l'absorption.

De plus, les rayons γ ne forment qu'une partie du rayonnement, à peine 10 pour 100; il faudrait donc augmenter singulièrement le temps d'exposition. Il est possible cependant que l'emploi des rayons γ donne des résultats favorables pour le traitement des cancers profonds et de la tuberculose pulmonaire ou intestinale.

RÉSULTATS OBTENUS PAR LE D^r DANLOS.

Avec les faibles activités 1000 à 1800 les résultats ont été peu encourageants; à notre avis, faute de pose assez prolongée. Avec le 5200 et le 19000, par des applications de 24 à 36 heures, la guérison s'est montrée réelle et durable.

La cicatrice est blanche, lisse, un peu plus grande que la plaque de radium; le poil semble ne pas devoir repousser. La partie traitée par le radium se reconnaît facilement de celle guérie par d'autres méthodes. On ne trouve plus trace de lupus, pas d'érythème, pas de tubercules.

Le lupus étant une maladie très récidivante, il est impossible de conclure, avant quelques années, à une guérison complète. A part les deux accidents dont nous avons parlé et un cas de récurrence rapide,

on peut espérer le succès de la nouvelle méthode de traitement. Pour obtenir un résultat complet, il faudrait pouvoir traiter toute la surface malade; avec la méthode ulcérente, on ne peut agir que par place et cela avec grande précaution.

En résumé, le seul inconvénient du radium est son prix élevé, mais cela n'est qu'un inconvénient relatif, l'usure étant nulle.

Il n'y a en réalité qu'à faire une première mise de fonds. Comme avantages, on peut noter la rapidité relativement très grande du traitement, 3 à 4 mois au plus, en général de 3 à 5 semaines, alors qu'avec le traitement photothérapique de Filsen et de Lortet la durée peut être de plusieurs mois et même de plusieurs années, et que parfois le malade a à supporter de vives douleurs. Contre le lupus, on employait jusqu'ici des pansements au sublimé, des pointes de feu, l'emplâtre de Vigo, l'emplâtre rouge, des grattages très douloureux, qui donnaient des résultats très irréguliers.

TRAITEMENT PAR LA MÉTHODE DES SÉANCES COURTES
ET RÉPÉTÉES.

Cette méthode pourra porter le nom de *méthode sèche*, l'autre étant la *méthode ulcérente*.

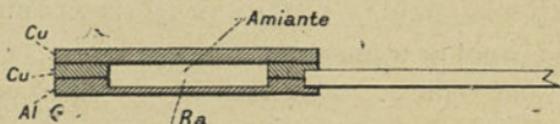
M. Curie a fait construire un petit appareil ainsi composé :

Un disque, formé d'une lame d'aluminium et d'une lame de cuivre soudées, ayant à peu près les

dimensions d'une pièce de 1 franc, est creusé au centre d'une cavité ne laissant au fond du cylindre formé qu'une mince épaisseur d'aluminium de $0^{\text{mm}},01$. La cavité est remplie par du radium à très haute activité, 200000 ou 300000, recouvert d'une rondelle de carton d'amiante.

Pour fermer, on soude du côté cuivre un disque

Fig. 18.



de même métal formant couvercle. L'ensemble est supporté par un manche en métal.

Avec cet appareil, le malade pourra faire lui-même l'application sur la figure ou sur la main, en plaçant le côté aluminium sur la partie à traiter.

Avec le bromure de radium pur ou un sel à activité 300000 on fera pendant plusieurs jours des poses de 1 à 3 minutes. On pourra aller d'un malade à un autre en aseptisant l'appareil.

C'est avec un appareil analogue que le D^r Danlos opère maintenant, et nous avons bon espoir dans la réussite de ce nouveau mode de traitement.

Traitement du cancer. — Il était assez naturel qu'on essayât le traitement du cancer par les rayons du radium. Cette maladie est, en effet des plus redoutables : la progression des cas depuis 20 ans a été de 50 à 82 pour 100000 habitants en

Angleterre, de 60 à 94 en Autriche, de 85 à 120 en France, etc.

La mortalité a passé en Allemagne de 1,43 pour 100 à 2,36 pour 100; en Angleterre de 2,80 à environ 8 pour 100. Sur ces cancers à peine 14 à 15 pour 100 sont héréditaires.

La radiothérapie fut employée avec succès contre le cancer superficiel ou épithélioma.

Tout dernièrement, les D^r Dommer et Lemoine ont présenté à l'Académie de Médecine un malade guéri d'un cancer à l'estomac après sept séances de pose, sans réaction à la peau.

Voici trois opinions formulées par des docteurs américains :

Le D^r Z. T. Stovers, de Washington, pense que l'action des rayons X et des rayons de Becquerel, qui semble montrer une certaine efficacité sur les cancers superficiels, n'a aucun effet sur les cancers profonds.

Le D^r Skinner croit au contraire que les rayons de Röntgen agissent sur les cancers profonds; pour les D^{rs} Alex. Graham Bell et Stovers, de la Nouvelle-Écosse, si les rayons X n'ont pu guérir ces sortes de cancers, cela tient à ce que les tissus absorbent les rayons et ne les laissent pas pénétrer jusqu'à la tumeur. Avec le radium on pourra faire des applications sur la région malade elle-même.

A Vienne, le D^r Exner a traité plusieurs cancers à la face avec des ampoules contenant un sel de

radium très actif. On a constaté des radiodermites intenses, la tumeur se ramollit, s'affaisse, diminue de volume et est remplacée par une cicatrice de très bon aspect.

Dans la même ville le Professeur Gussenbauer a soigné un homme de soixante et un ans, atteint d'un cancer à la lèvre et au palais. Ce cancer, opéré plusieurs fois sans succès, avait donné des récidives rapides. La tumeur a complètement disparu et, n'ayant pas récidivé au bout de dix mois, il semble que la guérison soit complète.

Le Dr Mackensie-Davidson, à l'hôpital de Charing-Cross, à Londres, a réduit un cancer à la base superficielle du nez par quatorze expositions d'une heure chacune, répétées à quelques jours d'intervalle.

Au bout de 6 semaines, toute trace de tumeur avait disparu. Un cas d'épithélioma (*ulcus rodens*) ayant détruit toute la paupière inférieure a été également guéri.

L'activité du radium employé ne nous est pas connue, ni le mode d'application.

Nous devons remarquer, à ce sujet, que dans tous les cas traités à l'étranger aucune mesure d'activité n'a jamais été faite, et que, même chez nous, les médecins qui ont opéré ont bien employé des sels à activité connue, mais dans des enveloppes ne laissant passer qu'une partie du rayonnement dont on ne connaissait pas l'intensité.

Il n'a pas été fait encore de travaux systématiques sur la question et nous sommes heureux de voir que MM. d'Arsonval et Bordas vont entreprendre au Laboratoire de Médecine expérimentale du Collège de France des études à ce sujet. Nous voudrions que le traitement par le radium devienne scientifique et ne soit plus purement empirique.

Le Dr Béclère, médecin de l'hôpital Saint-Antoine, a utilisé le chromoradiomètre d'Holz-knecht pour mesurer la quantité de rayons pénétrants produits par le radium. Cet appareil se compose de deux parties : 1° une série de réactifs isolés ; 2° une échelle graduée qui sert d'étalon.

Chaque réactif consiste en sels colorables par les rayons de Röntgen, incorporés dans une substance transparente et contenus dans un petit godet. On place contre ce godet, pendant un temps déterminé, l'ampoule renfermant le radium et l'on constate la coloration que prend le sel du godet.

L'échelle graduée est formée de douze godets du même genre enfermés dans une boîte qui les préserve de la lumière et présentant une coloration bleu vert dont l'intensité s'accroît graduellement d'un bout à l'autre de la série.

A chaque degré de l'échelle se trouve un chiffre qui indique la quantité de rayons absorbés d'après une unité que l'inventeur a choisie et que, sans la définir, il désigne par la lettre H.

La coloration du godet réactif peut s'obtenir

en une ou plusieurs poses. On le conserve, dans l'intervalle, dans l'obscurité.

L'expérience a montré qu'il ne fallait pas dépasser 10 H par mois pour une même région. On voit qu'avec une mesure préliminaire on pourra graduer une véritable échelle pour un échantillon de radium d'activité donnée, enfermé dans une enveloppe quelconque.

On saura, par exemple, qu'avec du bromure de radium à activité 7000 enfermé dans le petit appareil métallique de M. Curie on obtient 5 H au bout de 12 heures et 10 H au bout de 24 heures; que l'on obtient avec l'activité 300000 5 H en 15 minutes et 10 H en 30 minutes; avec le bromure pur 5 H en 5 minutes et 10 H en 10 minutes.

Par l'étude des effets produits, on pourra déterminer que l'action de 6 H convient à cette catégorie de lupus ou de cancer et que, au contraire, il est nécessaire d'aller jusqu'à 10 H pour tel autre.

Nous devons être reconnaissant au Dr Bécclère de l'emploi qu'il fait du chromo-radiomètre d'Holz-knecht, car de cette façon la radiumthérapie devient une véritable science; tous les divers effets observés pouvant être coordonnés entre eux. La comparaison peut s'établir entre les diverses méthodes de traitement et il sera possible d'observer qu'il vaut mieux, dans certains cas, obtenir les 10 H nécessaires par une longue appli-

cation de sel peu actif que de faire une courte application de sel pur.

Ces mesures n'ont rien d'absolu et sont seulement une échelle comparative extrêmement commode et suffisamment précise.

Le D^r Holzknrecht a fait disparaître une tache de vin, véritable tumeur vasculaire, constituée par la dilatation d'une infinité de petits vaisseaux, par une seule application d'un radium à haute activité.

EMPLOI THÉRAPEUTIQUE DU RADIUM A FAIBLE ACTIVITÉ.

Le D^r A. Darier a eu l'idée d'employer les radioactivités faibles dans le traitement de certaines maladies des yeux.

Il a employé des activités maximum de 1000 et a même utilisé des activités de 4 à 6 seulement.

Voici en quels termes il donne le compte rendu d'une partie de ses travaux (1) :

« Ayant affaire à un organe aussi précieux, aussi délicat que l'organe de la vue, il nous a fallu des tâtonnements innombrables qui n'ont pas été quelquefois sans nous causer de vives émotions, des alertes même, car nous n'avons pas reculé devant la nécessité de l'auto-expérimentation. Nous avons réussi, dans un cas d'*épithélioma*

(1) DARIER, *La Clinique ophtalmologique*, 10 octobre 1903.

térébrant de l'orbite ayant détruit le globe oculaire et les parois osseuses, à faire cesser complètement et presque instantanément, par de simples insufflations de poudre radioactive, les douleurs intolérables qui depuis deux ans n'avaient pas laissé au malade une seule nuit de répit. Quelle sera l'action curative du radium sur cette affection jusqu'ici absolument incurable, c'est ce que l'amélioration actuelle, si remarquable soit-elle, ne nous permet pas encore d'apprécier, même approximativement. Nous nous contentons d'enregistrer ce phénomène surprenant de la cessation complète des douleurs qui ne s'est pas démentie un jour depuis 3 semaines que le malade est en traitement.

» Nous croyons être arrivé à trouver ce que nous pourrions appeler les *doses maniabiles*, les *doses médicamenteuses* du radium, qui nous ont permis de faire prendre à l'intérieur des sels radioactifs et de pratiquer des injections de solutions radioactives. »

Voici les premières constatations qu'a faites le D^r A. Darier :

« 1^o Le radium, en applications externes, est un *analgésique des plus puissants*, avec lequel nous avons calmé des névralgies, les douleurs violentes de l'iritis rhumatismale, des tridocyclites traumatiques, etc., et les douleurs excruciantes des cancers inopérables, etc.

» 2° Les mêmes applications peuvent amener un éclaircissement rapide des milieux oculaires (ancienne hémorragie du corps vitré résorbée en 10 jours).

» 3° En pommade, nous avons obtenu de très curieux résultats dans certaines blépharites. »

Le Dr A. Darier espère qu'il sera possible, par l'usage interne des sels de radium, de calmer les douleurs gastralgiques ou intestinales, soit d'origine nerveuse, soit causées par l'ulcère simple, le cancer de l'estomac, de l'intestin. Il augure bien des effets de l'émanation du radium sur les affections du larynx et des poumons.

Le Dr Dobrjansky, de Saint-Pétersbourg, a pu lui aussi constater l'effet analgésique du radium dans un cas de cancer vaginal; la malade souffrait tellement que l'on était obligé d'employer la morphine à haute dose. Les applications de radium à activité 7000, enfermé dans un disque métallique, supprimèrent toute douleur et permirent de cesser l'emploi de la morphine.

Nous croyons que le radium à très faible activité pourra très bien être utilisé à l'extérieur, par application directe; mais, à notre avis, pour l'usage interne, il y aura lieu de se préoccuper de l'effet toxique des sels de baryum avec lesquels il est allié. A faible dose, on n'aura pas d'accidents; il y aura toujours lieu avec le radium d'opérer très prudemment, que que soit le mode de traitement.

ACTION DES RAYONS DU RADIUM SUR L'ŒIL.

Les rayons X ne semblent pas avoir d'action sur l'œil, ni sur les milieux, ni sur la rétine; on a observé par contre des conjonctivites, des panophtalmites intenses, qui sont des inflammations superficielles et non profondes. Le radium semble, d'après les essais du D^r Darier, avoir une action favorable sur la reconstitution de l'organe. Giesel a observé que les rayons du radium rendaient les milieux de l'œil phosphorescents; la rétine perçoit une lueur assez intense quand on place, sur la tempe ou sur la paupière fermée, un tube de radium enfermé dans une boîte métallique ou dans une enveloppe de plomb.

ACTION DES RAYONS DU RADIUM SUR LES MICROBES.

Les études ont été faites par Askinass et W. Caspari en Allemagne, et les résultats qu'ils ont trouvés ont été vérifiés par M. Danysz (1) de l'Institut Pasteur.

En 1877, Doroness et Blunt montrèrent l'action bactéricide de la lumière particulièrement pour les rayons bleus, violets et ultra-violets. Ces recherches ont été l'origine du traitement photothérapique des D^{rs} Filsen, de Copenhague, et Lortet, de Lyon.

(1) DANYSZ, *Comptes rendus*, 16 février 1903.

Askinass et Caspari ont fait leurs travaux sur le *Micrococcus prodigiosus*, qui a une culture rouge et très odorante, très caractéristique. Ils ont employé 1^g de bromure de baryum radifère, étalé dans une capsule de laiton, ayant 3^{cm} de diamètre et fermé par une lame d'aluminium de 0^{mm}, 10 d'épaisseur.

Le *Micrococcus* futensemencé dans l'agar-agar versé dans une boîte de Pétri, fermée par une lame de verre. Ce couvercle fut recouvert d'une lame en plomb de 1^{cm} d'épaisseur, percée au centre d'une ouverture de 25^{mm} de diamètre; sur le couvercle fut appliquée, du côté aluminium, la capsule renfermant le radium. Le développement du *Micrococcus* ne fut pas arrêté et se fit avec la rapidité habituelle. Les rayons α étaient entièrement absorbés par l'aluminium; il en était de même d'une partie des rayons β ; seule la portion très pénétrante de ces rayons et les rayons γ agissaient, et cela négativement.

L'expérience fut refaite dans des conditions différentes, la lame d'aluminium fut supprimée, l'agar-agar futensemencé seulement dans la partie centrale, et la boîte de Pétri le contenant fut renversée sur la capsule de radium. Au bout de 2 à 4 heures le développement de la culture était complètement arrêté au-dessus du radium; dans toutes les autres parties il s'opéra régulièrement.

On reconnut que l'interposition d'une lame

d'aluminium de $0^{\text{mm}},10$ d'épaisseur ou le remplacement du bromure de radium par du bromure de baryum n'avait aucune action sur le développement de la culture.

Un écran d'aluminium de $0^{\text{mm}},001$ réduit l'action; si l'on éloigne le radium de plus de 6^{cm} la culture se propage régulièrement.

M. Danysz a arrêté et détruit une culture de microbes de charbon et a montré que l'émanation dans la radioactivité induite avait une action particulièrement intense; nous aurons l'occasion de revenir, dans le Chapitre VI, sur un mode de traitement employant la radioactivité induite.

On ne peut admettre que c'est à l'action bactéricide des rayons du radium que sont dues les guérisons obtenues, car, d'après les expériences faites, le temps nécessaire à la destruction des bacilles est tel que les tissus seraient ulcérés déjà depuis longtemps.

ACTION DU RADIUM SUR LES ANIMAUX.

L'étude a été faite par M. Danysz, qui a utilisé un tube renfermant du radium à activité 500000 mis à sa disposition par M. Curie.

Il a opéré sur les lapins et les cobayes et a provoqué des radiodermites aiguës.

« En opérant sur les lapins et les cobayes dans des conditions identiques, dit-il, j'ai pu constater

que la peau des cobayes est beaucoup plus sensible que celle des lapins. Une application, qui produit chez le cobaye une plaie et une alopecie assez étendues, ne fait au contraire qu'exciter la croissance des poils chez le lapin. »

Nous nous trouvons donc ici dans un cas où le radium produit un effet activant et non destructif.

M. Danysz a soumis des souris à l'action d'une ampoule contenant du radium d'activité moyenne placée au-dessus; il a constaté un érythème avec chute des poils et dermatite suintante, sans aucun trouble interne. Avec un échantillon de radium très actif, on n'a pas observé de lésions superficielles, mais les souris ont été paralysées, ont eu des convulsions et sont mortes au bout de 10 jours; l'action est analogue à celle produite par les rayons de Röntgen.

Les rayons α étant absorbés par l'air ainsi qu'une partie des rayons β , seule la partie la plus pénétrante et les rayons γ produisent ces troubles.

On n'a observé aucun trouble nerveux sur les êtres humains : les tissus superficiels étant très absorbants; par contre, les rayons X ont provoqué des vomissements, des tremblements, des troubles cardiaques et des modifications dans la sensibilité, qui a été ou augmentée ou diminuée.

M. Danysz a provoqué une hémiplegie gauche chez un gros lapin trépané, en plaçant, pendant 8 heures,

un tube scellé contenant du radium très actif contre la dure-mère. Pendant les deux premiers jours qui suivirent l'opération, on n'observa rien, la paralysie commença le troisième jour. Des observations analogues ont été faites sur l'action des rayons X, par Kienboeck, Scholtz, Oudin, Barthélemy et J. Darier.

La moelle épinière est peu protégée dans ces petits animaux qui ont les os très peu épais et dont la colonne vertébrale est tout à fait à fleur de peau.

M. Danysz a remarqué que l'âge et la taille des animaux avaient une grande influence sur l'action du radium : « Ainsi, dit-il, quand on glisse sous la peau d'une souris âgée de 1 mois un tube de verre de 1^{mm},5 de diamètre sur 3^{cm} de long, contenant à peu près 1^{cs} de sel de radium très actif, le long de la colonne vertébrale et du crâne, on provoque, au bout de 3 heures, des phénomènes de parésie et d'atonie. Après 7 à 8 heures il y a des attaques, convulsions tétaniformes, qui tuent la souris en 12 à 18 heures. Des souris de même âge ont supporté sans être incommodées des tubes de verre vides. Les souris de 3 à 4 mois meurent de même après 3 à 4 jours, les souris âgées de 1 an meurent après 6 à 10 jours.

Trois cobayes de 8 à 12 jours ont porté pendant 24 à 48 heures le même tube sous la peau, au-dessus de la portion lombaire de la colonne verté-

brale; après 1 à 3 jours, le train de derrière était complètement paralysé, les animaux avaient de la raideur dans les pattes et mouraient comme les souris, après 6 ou 8 jours, d'empoisonnement tétanique accompagné de convulsions.

Chez les cobayes et les lapins adultes, on ne constate pas de troubles immédiats, mais ils succombent, après quelques semaines ou quelques mois, à l'infection microbienne qui se déclare dans l'ulcération. M. Danysz a laissé pendant 1 à 4 mois une ampoule contenant du radium, dans la cavité péritonéale d'un cobaye, et n'a constaté aucune lésion. Il a soumis des larves d'insecte, notamment des chenilles du papillon des farines (*Epertia Kuehniella*), pendant 24 heures à l'action du radium; les mouvements de ces larves diminuaient et elles mouraient au bout de 2 à 3 jours, probablement sous une action touchant le système nerveux.

INFLUENCE DES RAYONS DU RADIUM SUR LES ANIMAUX EN VOIE DE CROISSANCE.

M. G. Bohn a entrepris cette étude et ses expériences ont porté sur les larves de crapauds et de grenouilles.

Tous les individus qui ont survécu à l'exposition des rayons du radium ont éprouvé des modifications dans leur constitution: les unes immédiates, les autres au bout de quelques jours, et ces mons-

truosités se sont toujours révélées chez tous au moment de la transformation en têtards.

En somme, les rayons de Becquerel agissent surtout sur la croissance des tissus et des organismes : quand cette croissance est lente, ils déterminent un amoindrissement de la taille ; quand elle est rapide et s'accompagne de transformations, ou ils détruisent les tissus, ou ils ralentissent leur croissance, ou bien enfin ils l'accélèrent, et cela suivant les régions et les tissus.

Il suffit que les rayons du radium traversent le corps d'un animal pendant quelques jours pour que les tissus acquièrent des propriétés nouvelles qui peuvent rester à l'état latent pendant de longues périodes pour se manifester tout à coup au moment où normalement l'activité des tissus augmente.

En terminant cette étude, nous devons signaler que le radium agit sur les feuilles des plantes, ces feuilles jaunissent et s'effritent (Giesel).



CHAPITRE VI.

LA RADIOACTIVITÉ INDUITE.

Radioactivité induite à l'air libre. — M. et M^{me} Curie (1) ont trouvé que toute substance placée dans le voisinage du radium acquérait, elle-même, une radioactivité qui pouvait persister plusieurs heures, même après l'éloignement du radium.

C'est là le phénomène appelé *radioactivité induite*. Cette radioactivité induite croît avec le temps d'exposition jusqu'à une certaine limite : c'est la *période d'activation* ; quand le radium est enlevé, la radioactivité induite décroît d'abord rapidement pendant les premières minutes, puis ensuite plus lentement, suivant une loi asymptotique, et tend à devenir nulle avec le temps : c'est la *période de désactivation*.

Ces phénomènes de radioactivité induite occasionnent de très grands troubles dans les laboratoires où l'on étudie les substances très radioactives.

Les poussières, l'air de la pièce où l'on opère,

(1) CURIE, *Comptes rendus*, t. CXXIX, nov. 1899, p. 714.

tous les appareils, les vêtements de l'opérateur sont rendus radioactifs. L'air rendu conducteur ne permet plus d'avoir des appareils électriques bien isolés.

Le laboratoire que M. et M^{me} Curie ont à l'École de Physique et Chimie de la Ville de Paris est à l'heure qu'il est dans cet état. Il faut se garder de faire les opérations chimiques dans le même local que les mesures physiques et laisser les substances le moins possible à côté des appareils de physique.

Si l'on soumet à l'action du radium des disques métalliques, ils s'activent tous de la même façon, la nature du métal semble donc n'avoir pas d'importance; l'expérience a porté sur le zinc, le laiton, le bismuth, l'aluminium et le plomb; le verre et le papier s'activent comme les métaux.

Nous pouvons représenter par une courbe la loi de désactivation d'un disque de zinc de 8^{cm} de diamètre, précédemment activé, en le plaçant à 3^{cm} de distance d'une surface ayant 4^{cm} de diamètre recouverte de chlorure de baryum à activité 2000; la radioactivité induite maximum est de 20; après que l'on a éloigné le radium, la radioactivité induite décroît: au bout de 2 heures elle n'est plus que le huitième de l'activité initiale.

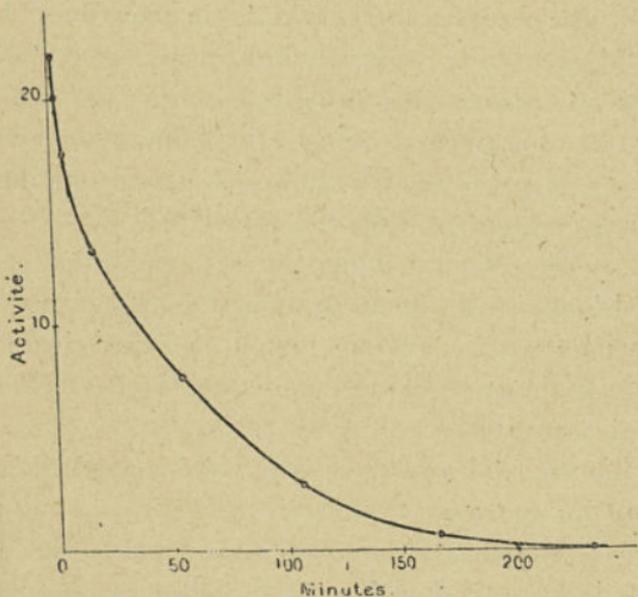
Nous portons en abscisse les temps en minutes, et en ordonnée les activités:

Cette courbe est représentée par la formule

exponentielle (1)

$$I = I_0 \left[a e^{-\frac{t}{\theta_1}} - (a - 1) e^{-\frac{t}{\theta_2}} \right],$$

Fig. 19.



I_0 étant l'intensité du rayonnement au moment où l'on retire le radium ;

I cette intensité au temps t ;

a étant un coefficient numérique déterminé empiriquement $a = 4,20$;

θ_1 et θ_2 sont des constantes de temps également déterminées empiriquement $\theta_1 = 2420$ secondes ;

$\theta_2 = 1860$ secondes.

(1) CURIE et DAUNÉ, *Comptes rendus*, 9 février 1903.

Après 2 ou 3 heures la deuxième exponentielle n'a plus aucune influence sur la valeur de I, la courbe devient asymptote. L'activité diminue de moitié en 28 minutes.

Certains corps, le celluloid, la paraffine, le caoutchouc, etc., quand ils sont activés assez longtemps, se désactivent plus lentement que ne le veut la loi. Il faut parfois de 15 à 20 jours pour que l'activité disparaisse ; il semble que ces corps s'imprègnent fortement de la radioactivité.

M. et M^{me} Curie résument ainsi le phénomène :

1^o L'activité d'une lame exposée à l'action du radium augmente avec le temps de l'exposition, se rapprochant d'une certaine limite en suivant une loi asymptotique.

2^o L'activité d'une lame qui a été activée par l'action du radium et qui a été ensuite soustraite à cette action disparaît en quelques jours. Cette activité induite tend vers 0, en fonction du temps, suivant une loi asymptotique.

3^o Toutes conditions égales d'ailleurs, la radioactivité induite, produite par un même sel radifère, sur diverses lames, est indépendante de la nature de ces lames.

4^o La radioactivité induite, produite sur une même lame par diverses substances radifères, a une valeur limite d'autant plus élevée que le produit est plus actif.

Cependant certaines substances agissent plus les

unes que les autres ; ainsi le chlorure de radium a plus d'effet que le carbonate

Pour expliquer le phénomène de radioactivité induite, on a supposé qu'il était dû au transport de la matière active sur les corps voisins soit par des poussières, soit par de la vapeur. C'est là une hypothèse inexacte ; en effet, elle ne permet pas d'expliquer la désactivation absolument régulière. De plus, si l'on emploie comme substance active une solution de chlorure de baryum radifère, la radioactivité induite produite ne disparaît ni par lavage, ni par chauffage, même à la température du rouge.

On n'a pu déterminer l'influence du champ électrique sur le phénomène de radioactivité induite produite par le radium.

Par contre, Rutherford (1) a montré qu'avec le thorium les corps chargés d'électricité négative s'activaient plus énergiquement que les autres.

Il fit l'expérience suivante : un fil de platine porté à un potentiel négatif de 500 volts est placé dans le voisinage du thorium, réuni électriquement à la terre. La radioactivité induite se concentre dans le fil ; en le traitant par l'acide sulfurique et en évaporant avec la solution, on obtient un résidu beaucoup plus actif que le thorium.

Rutherford observa que l'air qui a passé sur de

(1) RUTHERFORD, *Phil. mag.*, janv.-fév. 1900.

l'oxyde de thorium conserve pendant 10 minutes une conductibilité électrique notable.

Pour expliquer ce phénomène, il admet que l'oxyde de thorium émet une *émanation radioactive*, chargée positivement et pouvant être entraînée par un courant d'air; ce serait cette émanation qui produirait la radioactivité induite. M. Dorn ⁽¹⁾ a répété les expériences de Rutherford avec les sels de baryum radifère.

M. Debiérne ⁽²⁾ a montré que l'actinium provoquait une radioactivité induite très intense, mais qu'un courant d'air en fait disparaître une grande partie comme pour le thorium.

Nous avons vu que les corps activés par le radium se désactivaient de moitié en 28 minutes; ceux qui sont activés par l'actinium ne perdent la moitié de leur activité qu'en 36 minutes; quant à l'activité communiquée par le thorium, elle ne baisse de moitié qu'en 11 heures.

Radioactivité induite produite par d'autres causes. — M. Villard ⁽³⁾, ayant placé un morceau de bismuth comme anticathode dans un tube de Crookes, a rendu ce métal un peu actif, très faiblement cependant puisqu'il fallait 8 jours de pose pour obtenir une impression photographique.

(1) DORN, *Abh. Naturforsch. Gesell. Halle*, juin 1900.

(2) DEBIERNE, *Comptes rendus*, 30 juillet 1900; 16 fév. 1903.

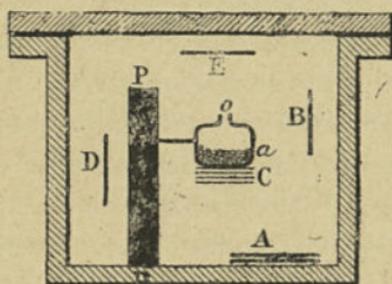
(3) VILLARD, *Société de Physique*, juillet 1900.

Mac-Lennan ⁽¹⁾, en exposant des sels à l'action des rayons cathodiques et en les chauffant ensuite légèrement, leur a donné la propriété de décharger les corps électrisés chargés positivement.

Il semble que l'hypothèse balistique de Crookes et de J.-J. Thompson vient se confondre avec l'hypothèse de l'émanation de Rutherford. Nous aurons l'occasion de commenter ces idées dans le Chapitre VIII.

Radioactivité induite en enceinte fermée. — MM. Curie et Debierne ⁽²⁾ ont remarqué que les

Fig. 20.



phénomènes de radioactivité induite, irréguliers à l'air libre, à cause des mouvements de l'air, étaient parfaitement réguliers quand on opérait en enceinte fermée.

Ils disposaient leur expérience de la façon sui-

⁽¹⁾ MAC-LENNAN, *Phil. Mag.*, fév. 1902.

⁽²⁾ CURIE ET DEBIERNE, *Comptes rendus*, 4 mars 1901.

vante. La matière active était placée dans une ampoule *a* ouverte en *o*. Cette ampoule, ainsi que des plaques A, B, C, D, E, était enfermée dans une enceinte.

Les plaques furent constituées par du plomb, du cuivre, de l'aluminium, du verre, de l'ébonite, de la cire, du carton, de la paraffine; on constata les faits suivants : A dimensions égales la nature de la plaque n'a aucune influence sur l'intensité de la radioactivité induite.

L'activité d'une lame est d'autant plus grande que l'espace libre en regard est plus grand.

La rapidité d'activation des corps placés dans une enceinte dépend de l'espace existant entre eux. Si l'on a des lames de cuivre, distantes seulement de 1^{mm}, l'activation se fait lentement; si la distance est de 3^{cm}, l'activation est rapide. La rapidité est proportionnelle à la distance qui sépare les lames.

Si l'on ferme l'ouverture *o* de l'ampoule, on n'obtient pas d'activité induite. Le rayonnement du radium n'intervient pas; en effet, la lame D protégée par l'écran de plomb épais P s'active comme les lames E et A.

La radioactivité induite se transmet dans l'air de proche en proche, de la matière activante à la matière voisine, et cela même, mais plus lentement, à travers les tubes capillaires.

Les corps s'activent progressivement, d'autant plus rapidement que l'enceinte dans laquelle

ils se trouvent est plus petite, ils tendent à prendre une activité induite limite comme dans un phénomène de saturation. Cette activité limite est d'autant plus élevée que le produit agissant est plus actif.

Certaines substances deviennent lumineuses quand on les place dans une enceinte activante (corps phosphorescents et fluorescents, verre, papier, coton, eau, solution saline).

Si l'on emploie une solution aqueuse de radium, on produit des effets de radioactivité très intenses et très réguliers; la radioactivité induite limite dépend de la quantité de radium qui s'y trouve en solution et semble lui être proportionnelle; le pouvoir d'activation n'est donc pas analogue à une tension de vapeur.

Les gaz qui sont dans une enceinte contenant un corps radioactif ou une solution de ce corps sont radioactifs. Cette radioactivité induite persiste, si l'on aspire ces gaz par une trompe et si on les recueille dans une éprouvette.

Du reste, la radioactivité induite limite est indépendante de la nature et de la pression du gaz qui se trouve dans l'enceinte activante.

Les parois de l'éprouvette contenant le gaz recueilli deviennent radioactives et sont lumineuses. Cette activité et la luminosité qui en est la conséquence disparaissent lentement; on peut encore les constater au bout d'un mois.

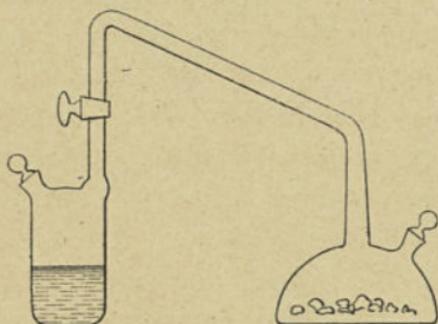
L'énergie radioactive est donc renfermée dans le gaz sous une forme spéciale; Rutherford, avous-nous dit, suppose que les corps radioactifs dégagent une émanation ou gaz matériel qui transporte la radioactivité. Dernièrement, à la Société royale de Londres, lady et sir William Huggins ont annoncé, et sir William a confirmé que le radium, par désagrégation atomique, engendrait l'hélium; ce corps, plus léger que l'hydrogène, est très abondant dans le Soleil et très peu répandu sur la Terre, où on ne le rencontre guère qu'allié à l'argon dans certaines sources minérales. Le spectre du radium possède 12 raies caractéristiques sur lesquelles 5 sont communes à l'hélium.

Au début de leurs travaux, M. et M^{me} Curie ont reconnu que la pechblende chauffée dans le vide fournissait des produits de sublimation très actifs, en très petite quantité. En recueillant les produits gazeux de la sublimation, on obtint un gaz qui, enfermé dans un tube de verre, agit comme un corps radioactif. On eut des impressions photographiques et des phénomènes d'ionisation de l'air. Cette activité décrut peu à peu et finit par disparaître. A l'analyse spectrale le gaz présentait les raies de l'oxyde de carbone; la pechblende renferme de l'hélium et de l'argon.

On peut donc croire à juste titre que c'est la désagrégation du radium, transformé en hélium, qui produit les phénomènes radioactifs.

Nous avons dit que la radioactivité induite produite par une solution de sel de radium était particulièrement intense et régulière. Le sulfure de zinc, placé dans l'enceinte activante, prend une luminosité remarquable; sa radioactivité induite n'est pas supérieure à celle d'autres corps placés dans les mêmes conditions. L'appareil ci-contre

Fig. 21.



peut servir à montrer ces expériences. Dans le récipient de gauche est la solution de radium, dans celui de droite est le sulfure de zinc.

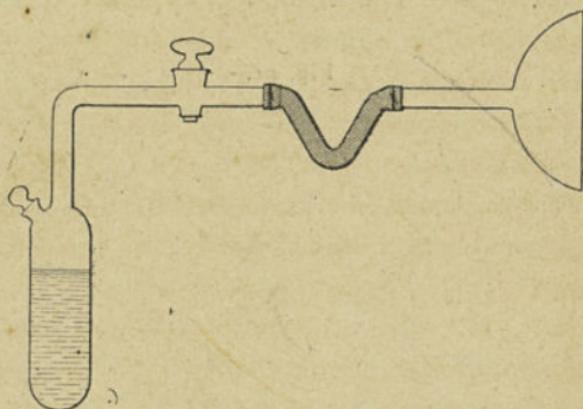
La luminosité de ce sulfure de zinc persiste plusieurs jours après la fermeture de la communication avec le récipient contenant la solution de radium.

On pourra, pensons-nous, utiliser cette radioactivité induite intense pour le traitement médical. Nous concevons un appareil combiné de la façon suivante :

Un ballon contenant la solution de radium est relié par un tube à une sorte d'entonnoir que l'on pourra placer sur la partie malade.

On pourra encore adopter ce dispositif pour l'inhalation de l'émanation du radium (*fig. 22*).

Fig. 22.



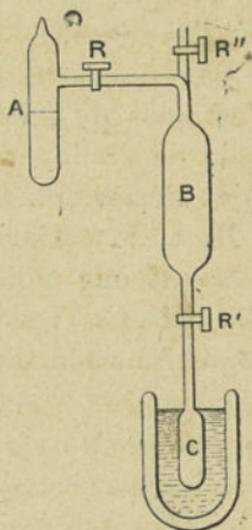
Rutherford a montré que l'émanation du radium se condensait dans l'air liquide. Cette expérience très belle a été faite par M. Curie à sa conférence à l'Institut royal de Londres et aussi devant la Société de Physique de Paris, à la séance du 3 juillet 1903.

Le dispositif adopté est le suivant :

Une solution de radium est placée dans l'ampoule A, l'air placé au-dessus se charge d'émanation, l'ampoule est reliée au réservoir *b* et *c* dont les parois sont recouvertes de sulfure de

zinc phosphorescent. Le robinet R étant fermé, on fait le vide dans les réservoirs par le tube por-

Fig. 23.



tant le robinet R''. On ferme R'' et l'on ouvre R; l'air activé en A est aspiré dans les réservoirs B et c où règne le vide. Le sulfure de zinc s'illumine instantanément sous l'action de l'émanation. R et R'' étant fermés, on plonge c dans l'air liquide; au bout de 30 minutes toute l'émanation de B et de c se condense en c et B perd toute luminosité. Si, ensuite, on retire c de l'air liquide R' étant fermé et si on laisse ce réservoir se réchauffer, on constate qu'il a une luminosité remarquable. En ouvrant R', B redevient lumineux.

B.

9

Radioactivité induite permanente. — On a observé une autre forme de radioactivité induite, qui semble appartenir aux corps qui ont séjourné des mois dans l'enceinte activante. Quand on retire les corps de l'enceinte, leur activité décroît très vite comme dans les autres cas, mais, quand cette activité n'est plus qu'environ 20 000 de la valeur initiale, elle ne diminue plus qu'insensiblement; parfois même, phénomène bizarre, elle augmente. M. et M^{me} Curie possèdent des lames qui conservent une radioactivité induite depuis plus de six mois. Cela ressemble à ce qui se passe pour le magnétisme rémanent.

Désactivation en enceinte close. — L'enceinte close, qui a été activée par le radium, se désactive en suivant une loi beaucoup moins rapide que la désactivation à l'air libre.

On peut conserver pendant longtemps actif un tube de verre qui a été réuni à une ampoule contenant une solution de radium. Le tube rendu lumineux conserve sa luminosité pendant plusieurs mois; il en est de même d'un ballon contenant du sulfure de zinc, avec lequel on a un très bel exemple de lumière froide. La loi de désactivation est également donnée par une exponentielle et avec une grande exactitude par la formule

$$I = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}},$$

I_0 intensité du rayonnement initial;

I intensité du rayonnement au temps t ;

θ constante de temps $\theta = 4,970 \times 10^5$ secondes;

$I = \frac{I_0}{2}$ au bout de 4 jours.

La loi est absolument constante, ne dépend ni de la dimension de l'enceinte, ni de la nature des parois, ni du gaz, ni de la durée d'activation; elle n'est pas influencée par les variations de température entre -180° et $+450^\circ$. On pourrait s'en servir pour définir un *étalon de temps indépendant*. En faisant le vide ou en remplaçant l'air contenu dans l'enceinte par de l'air non activé, la loi de la désactivation à l'air libre reparait et la chute d'activité est de moitié en 28 minutes.

C'est donc bien une émanation qui a accumulé l'énergie radioactive dans le gaz. Pour une activation faite par le thorium, la chute est de moitié en 1 minute 10 secondes.

Avec l'actinium, la chute est encore plus grande; elle est de moitié en quelques secondes.

Eau radioactive. — MM. Curie et Debierne ont produit de l'eau radioactive de plusieurs façons :

1° En distillant de l'eau contenant du chlorure de radium;

2° En plaçant de l'eau distillée dans une enceinte close activée par le radium.

Ces eaux radioactives pourront être employées en médecine, soit en lavages, soit en injections; des expériences sont entreprises en ce moment par le D^r A. Darier.

Le liquide, retiré de l'enceinte et placé à l'air libre, se désactive rapidement en donnant son activité aux corps et aux gaz voisins. Si l'on place le liquide activé dans un flacon fermé, l'activité baisse de moitié en 4 jours comme pour le gaz activé placé en vase clos. L'émanation semble dissoute dans le liquide; une expérience est caractéristique: si dans un tube activé par une solution de radium et rendu phosphorescent on met de l'eau, la partie du tube située au-dessus de l'eau est seule phosphorescente. Quand on retourne le tube, l'eau devient phosphorescente, la partie supérieure du tube ne l'étant pas; puis, peu à peu, l'eau perd la luminosité que le verre reprend.

Quand l'équilibre d'activité règne dans une enceinte, l'eau pure qui s'y trouve placée a la même activité que la solution radioactive activante.

Si l'on retire de l'enceinte la solution de radium et qu'on la laisse à l'air libre, l'activité se répand dans l'atmosphère et la solution devient presque inactive. Si l'on enferme cette solution dans un flacon fermé, après une quinzaine de jours, elle a repris toute son activité.

M. Wilson a présenté le 5 mai 1902 à la *Philosophical Society of Cambridge* une Note décri-

vant des expériences, qui lui avaient fait constater qu'un récipient ayant contenu de la pluie fraîchement tombée et évaporée à siccité était radioactif.

Depuis, M. S.-J. Allen a parlé à la *Société américaine de Physique* de neige radioactive. La perte d'activité est de moitié en 28 minutes et la radiation consiste en rayons facilement absorbables. Ces actions ne sont pas encore expliquées; peut-être peut-on invoquer certains phénomènes électriques de l'atmosphère.

Radioactivité communiquée à une substance en dissolution avec le radium. — Quand on procède à l'extraction du radium, de la pechblende, on fait des opérations chimiques successives pour obtenir d'une part un produit actif, d'autre part un produit inactif.

Certains corps contenus dans la pechblende, le cuivre, l'antimoine, l'arsenic sont absolument inactifs; par contre le fer et le plomb conservent toujours une certaine activité au cours des opérations.

M. Giesel ⁽¹⁾ a rendu actif du bismuth inactif en le maintenant en solution avec un sel de radium; il pensa que le polonium que l'on n'a pu isoler du bismuth n'était que ce métal activé.

M^{me} Curie, par des expériences très minutieuses, infirme cette manière de voir.

(1) GIESEL, *Société de Physique de Berlin*, janvier 1900.

Ce bismuth perd son activité peu à peu, cependant des échantillons ont conservé une activité de 150 depuis 3 ans.

M^{me} Curie a activé du plomb et de l'argent, cette radioactivité décroît avec le temps; elle disparaît dans les transformations chimiques, elle n'est donc pas une propriété atomique comme pour les corps radioactifs.

M. Debierne (1) a obtenu des radioactivités très intenses par dissolution avec des sels d'actinium. Il a eu des sels de baryum très actifs en les maintenant en dissolution avec des sels d'actinium et en extrayant l'actinium. M. Debierne a montré que « le baryum activé possède en partie, mais en partie seulement, les propriétés du radium ». Il conserve son activité dans les transformations chimiques; sa radioactivité est une propriété atomique; il se fractionne de la même façon que le radium, les parties les plus actives étant les moins solubles dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique.

Le chlorure de baryum activé et sec est lumineux, il produit la fluorescence du sulfure de zinc; le rayonnement est en partie déviable.

Par tous ces points, il y a beaucoup de similitude avec le radium, mais le baryum activé ne possède pas le spectre du radium et son activité baisse peu à peu avec le temps.

(1) DEBIERNE, *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 333

Ce baryum activé est un intermédiaire entre le baryum inactif et le radium.

On peut se demander si la radioactivité induite atomique modifie la nature chimique de l'atome et si la modification des propriétés est stable ou passagère.

Théorie de la radioactivité induite par MM. Curie et Debierne (1). — Cette théorie est indépendante de toute hypothèse sur la provenance de l'énergie; elle considère seulement l'atome de radium comme une source constante et continue d'énergie.

Si l'on considère à un moment donné l'atome de radium, on voit qu'il possède une énergie potentielle ou intensité déterminée; l'apport d'énergie continuant à se produire, l'équilibre se maintient par une perte se faisant sous deux formes :

- 1° par rayonnement (rayons déviables ou non);
- 2° par conduction ou émanation, ne se faisant pas à travers les corps solides et produisant la radioactivité induite.

Ce phénomène peut être comparé à ce qui se produit quand on chauffe un corps, sa température augmente jusqu'à ce que l'équilibre se produise par les pertes par conduction et rayonnement :

(1) CURIE ET DEBIERNE, *Comptes rendus*, 29 juillet 1901.

1° On voit que les sels de radium perdent très peu d'activité par conduction, celle-ci ne s'opérant qu'à la surface et non dans la masse; on a beaucoup de rayonnement et de faibles phénomènes de radioactivité induite. Quand on dissout le sel dans l'eau, l'énergie se répartit entre l'eau et le sel; si l'on distille, l'eau est très active, et le sel est 10 à 15 fois moins actif qu'avant la dissolution. Le sel reprend ensuite peu à peu son activité, la perte ne se produisant plus que par rayonnement;

2° Si une solution de radium est en tube scellé, le rayonnement se produit seul, l'activité radiante de la solution prend une valeur élevée. Si, au contraire, la solution est en tube ouvert, le rayonnement et la condensation se produisant tous les deux, l'activité radiante de la solution décroît rapidement.

On peut serrer encore plus la question, en considérant l'atome de radium comme une source continue et constante d'émanation, forme d'énergie se transformant en énergie radioactive de rayonnement. La rencontre de l'émanation par les parois ou par les corps solides produit le rayonnement de Becquerel. Dans les sels, la transformation se faisant sur place, le rayonnement a une valeur très élevée. La théorie s'applique parfaitement au radium, au thorium et à l'actinium, qui émettent une émanation; pour le polonium et l'uranium, avec lesquels on n'a pu constater de phénomènes

de radioactivité induite, on peut supposer que l'émanation se détruit avec une grande rapidité. Il semble que l'on peut faire cette hypothèse avec quelque raison, quand on voit l'émanation du thorium disparaître 5000 fois plus vite que celle du radium.

L'uranium et le polonium ne perdent que par rayonnement.



CHAPITRE VII.

VARIATIONS D'ACTIVITÉ DES SELS DE RADIUM.

Influence de la dissolution. — Nous avons dit précédemment que le polonium perdait son activité avec le temps ; un échantillon de nitrate de bismuth et de polonium a eu son activité réduite de moitié en 11 mois et de 97 pour 100 en 33 mois.

Au contraire, les sels de radium ont une activité permanente qui ne semble pas subir de diminution appréciable ; il est vrai que nous ne nous trouvons pas en présence d'une période d'observation supérieure à 5 ans. Quand on vient de préparer un sel de radium à l'état solide, son activité est inférieure à celle qu'il aura au bout d'un mois environ ; au contraire, une solution de radium laissée à l'air libre perd peu à peu son activité qui peut être considérablement réduite. Ces variations ont été étudiées par M. Giesel (1).

Nous allons citer les résultats d'un certain

(1) GIESEL, *Wied. Ann.*, t. LXIX, p. 97.

nombre d'expériences faites par M^{me} Curie sur le même sujet :

1° L'activité d'une solution de chlorure de baryum radifère, laissée à l'air libre pendant 2 jours, est devenue 300 fois moins forte que l'activité initiale ;

2° L'activité d'une solution de radium laissée à l'air libre s'est comportée comme il suit :

Activité initiale.....	67
» après 2 heures.....	20
» après 2 jours.....	0,25

3° Une solution ayant perdu son activité à l'air libre a été enfermée en vase clos, elle a subi l'augmentation d'activité suivante :

Activité initiale.....	27
» après 2 jours.....	61
» après 3 jours.....	70
» après 4 jours.....	81
» après 8 jours.....	100 (état d'équilibre)

4° Si un sel est resté longtemps en dissolution, son activité, quand il est ramené à l'état solide, est d'autant plus faible que la durée de la dissolution a été longue. Une partie de l'activité est passée au dissolvant.

Voici un exemple où l'on a pris un chlorure déjà préparé depuis longtemps et dont l'activité limite

ne variait plus; on a observé les variations suivantes :

Activité limite.....	800
Activité après dissolution et dessiccation immédiate.....	440
Activité après dissolution et dessiccation après 5 jours.....	120
Activité après dissolution et dessiccation après 32 jours.....	114

5° M^{me} Curie a conservé en tube scellé, pendant 13 mois, deux dissolutions dont l'une contenait 8 fois plus de dissolvant que l'autre.

Elle a trouvé :

Activité initiale du sel desséché tiré de la solution concentrée.....	200
Activité initiale du sel desséché tiré de la solution étendue.....	100

On peut expliquer le fait en admettant que, plus la solution est étendue, plus le liquide qu'elle contient emporte de la radioactivité. Les deux sels desséchés ont repris leur activité limite dans le même temps, un des sels a rattrapé l'autre dès le premier jour.

Nous avons vu, dans la théorie du Chapitre précédent, que l'énergie radioactive sous forme d'émanation se propageait difficilement du sel solide aux gaz ou aux liquides. Le vide retire toute l'émanation, mais ne diminue pas la radioactivité d'un sel.

Il est très difficile de déterminer la véritable activité initiale d'un sel de radium, car, quand on dessèche le produit, il y a un moment mal défini où l'on n'a affaire ni à un liquide ni à un solide, de plus on est obligé de chauffer et nous verrons que la chaleur a une action sur l'activité.

Les variations d'activité pour toute une série de sels, à l'activité initiale de 21, dissous dans la même quantité d'eau et évaporés à siccité entre 120° et 130°, ont été :

Temps en jours..	1	3	5	10	19	33	67
Activité.....	25	44	60	78	93	100	100

L'activité limite était atteinte au bout du 33^e jour; on voit qu'elle était environ 5 fois supérieure à l'activité initiale. M^{me} Curie a montré que la dissolution affectait principalement les rayons pénétrants.

Influence de la chaleur. — Cette étude a été faite par M^{me} Curie.

Quand on chauffe un sel de radium, il y a dégagement d'émanation et perte d'activité. En chauffant un sel pendant 1 heure à 130°, il perd 10 pour 100 de son activité; 10 minutes de chauffe à 400° ne produisent pas d'effet sensible, mais, si l'on chauffe au rouge pendant quelques heures, 77 pour 100 de l'activité disparaissent; ce sont les rayons pénétrants qui sont le plus atteints.

Le sel refroidi reprend peu à peu de l'activité et, chose curieuse, son activité limite nouvelle est plus étendue que celle qu'il possédait primitivement.

L'expérience a été faite sur un échantillon de chlorure de baryum radifère, dont l'activité limite primitive était de 470, qui fut chauffé au rouge pendant quelques heures, et qui, au bout de 2 mois, possédait une activité de 690.

Un autre échantillon a eu son activité plus que doublée, de 62 à 140.

Voici un tableau qui donne les variations subies, l'échantillon ayant été chauffé au rouge pendant 7 heures :

Temps en jours...	0	0,6	1	2	3	4	6	10	24	57
Activités.	16,2	25,4	27,4	38	46,3	54	67,5	84	95	100

Quand on dissout le sel, l'effet de la chauffe ne persiste pas. On a pris deux échantillons d'activité 1800; l'un fortement chauffé a eu son activité réduite à 670; les deux échantillons ont été laissés en dissolution pendant 20 heures, puis ramenés à l'état solide; l'activité initiale a été de 460 pour l'échantillon non chauffé et de 420 pour l'échantillon chauffé. On voit que ces nombres diffèrent fort peu.

Il n'en est pas de même si la dissolution est de très courte durée et si aussitôt après on dessèche le sel.

Un échantillon d'activité 3200 a eu son activité réduite à 1030 par la chauffe, il fut dissous en même temps qu'un autre échantillon non chauffé; les deux portions furent immédiatement desséchées; l'activité initiale fut de 1450 pour le produit non chauffé et de 760 pour le produit chauffé.

La puissance de production de la radioactivité induite est très réduite par la chauffe, qui augmente considérablement le dégagement de l'émanation.

Après une chauffe au rouge, la presque totalité de l'émanation disparaît. On restitue à un sel tout son pouvoir d'activation en le dissolvant dans l'eau et en le desséchant à 120°. M^{me} Curie a montré que les sels fraîchement préparés possédaient le même pouvoir d'activation que ces mêmes sels arrivés à leur activité limite. Dans les deux cas la quantité d'émanation est la même.

Représentons par a l'activité induite limite produite par un échantillon de carbonate de baryum radifère d'activité 1600 sur une lame de cuivre.

Posons pour le produit non chauffé $a = 100$.

On a trouvé :

1 jour après la chauffe ...	$a = 3,3$
4 jours après la chauffe ..	$a = 7,1$
10 » » ..	$a = 15$
20 » » ..	$a = 15$
37 » » ..	$a = 15$

L'activité du produit, qui, aussitôt après la

chauffe, était réduite de 90 pour 100, avait repris son activité limite au bout d'un mois; pendant ce temps l'activité induite produite avait à peine atteint le septième de sa valeur limite.

Une seconde expérience faite avec un sel d'activité 3000 a donné les résultats suivants :

Pour le produit non chauffé on a $a = 100$.

En chauffant au rouge pendant 3 heures :

2 jours après la chauffe ..	$a = 2,3$
5 » » ..	$a = 7,0$
11 » » ..	$a = 8,2$
18 » » ..	$a = 8,2$

Le pouvoir d'activation du produit non chauffé qui a été dissous, puis séché à 150° , est $a = 92$.

Le pouvoir d'activation du produit chauffé qui a été dissous, puis séché à 150° , est $a = 105$.

On peut expliquer ces divers phénomènes à l'aide de la théorie sur la radioactivité induite dont nous avons parlé précédemment.

Un sel dissous répand une quantité d'émanation considérable au dehors; quand on évapore ce sel il est peu actif, car il ne contient plus que peu d'émanation.

L'émanation se produisant s'accumule, l'activité du sel augmente jusqu'à une valeur limite telle qu'il y ait compensation entre la production de l'émanation et la perte qui se fait par le débit extérieur et par la transformation en rayonnement de Becquerel.

Quand on chauffe un sel, l'émanation répandue au dehors devient considérable, les phénomènes de radioactivité sont intenses ; quand le sel revient à la température ordinaire, il est comme épuisé, ainsi qu'après la dissolution ; il renferme peu d'émanation et par suite son activité est faible, puis peu à peu l'émanation s'accumule et le sel reprend de l'activité.



CHAPITRE VIII.

HYPOTHÈSES SUR LA NATURE ET SUR LES CAUSES
DU PHÉNOMÈNE. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Hypothèse de l'émanation. — Nous avons dit que l'on pouvait considérer l'atome de radium comme une source continue et constante d'émanation, forme d'énergie qui se transforme en énergie radioactive de rayonnement de Becquerel ; c'est la rencontre de l'émanation par les parois ou par les corps solides qui produit ce rayonnement.

Dans les sels, la transformation se faisant sur place, le rayonnement a alors une valeur très élevée.

L'existence de cette émanation ne semble pas faire de doute ; dans le Chapitre sur la radioactivité induite nous avons vu diverses expériences qui sont autant d'arguments en sa faveur.

Il est possible d'admettre que l'émanation du radium est de l'hélium : c'est une hypothèse faite par Rutherford et sir William Huggins qui croient que le radium forme, par désagrégation atomique, l'hélium dont nous avons déjà parlé.

La transformation d'un corps à poids atomique très élevé, 225, en un autre corps à poids atomique extrêmement faible ouvre un singulier champ d'hypothèses sur la constitution de la matière.

M. Curie a observé le phénomène suivant :

Il a conservé pendant 2 à 3 mois, en tube scellé, environ 0^g, 7 de bromure de radium pur, parfaitement desséché, le vide ayant été fait dans le tube ; il voulut, au mois d'août 1903, ouvrir le tube. Dans la crainte d'un accident possible, M. Curie s'entoura d'une large surface de papier. Au moment où il traçait un trait à la lime sur le verre, une petite explosion se produisit et le radium fut projeté à 4^m ou 5^m, une faible partie fut perdue. M. Curie et son préparateur durent rechercher les grains de radium un à un pendant 10 jours. L'explosion est le résultat d'un phénomène complexe ; d'une part il s'est produit la décharge électrique analogue à celle d'une bouteille de Leyde dont nous avons parlé ; d'autre part il y a eu dans le tube une pression assez forte produite par l'accumulation de l'hélium.

Dans un autre cas, le sel, sur lequel le vide avait été fait, conservé en tube scellé pendant plusieurs mois, donna dans l'eau un véritable dégagement de bulles gazeuses.

Ce mot d'*émanation* semble emprunté à l'alchimie, mais cette émanation n'est pas perpétuelle, comme a semblé vouloir le dire le savant physicien

anglais M. Boys qui, dans son discours à la Section de Physique du Congrès de l'Association britannique à Southport, est venu remettre en question le problème du mouvement perpétuel que l'on pouvait croire enterré et a fait les hypothèses les plus extraordinaires sur la constitution des comètes dont la tête serait en radium et la queue en émanation radioactive!

Electrons et émission cathodique. — On semble admettre, d'après la théorie de Maxwell, les expériences de Rowland, de Hertz et la théorie de Lorentz, que l'électricité est attachée à certaines particules matérielles, extrêmement petites, et douées de vitesse considérable et appelées *électrons* par MM. Elster et Geitel, de Wolfenbuttel; on admet aussi que la circulation de ces électrons à travers les corps produit le courant électrique. Il y a les cations (électrons positifs) et les anions (électrons négatifs).

A l'aide de cette conception, W. Crookes et J.-J. Thompson considèrent la production des rayons cathodiques comme une émission de corpuscules électrisés, prenant naissance sous l'action de l'étincelle électrique, dans un gaz très raréfié. Ces particules bombardent le verre; leur masse extrêmement faible et leur vitesse très rapide de même ordre que celle de la lumière leur permettent de traverser les corps solides; leur charge élec-

trique est énorme : c'est là l'hypothèse balistique.

Deux expériences semblent donner plus de certitude à l'hypothèse de l'émission :

1° On sait qu'il est très difficile d'obtenir la condensation, sous forme de brouillard, d'un jet de vapeur arrivant dans une enceinte renfermant un gaz absolument privé de poussière, bien que la température soit inférieure à celle de la condensation; que, par contre, si le gaz contient des particules très fines de poussière, il se produit une sorte d'effet d'attraction et la vapeur se condense sous forme de brouillard. Les rayons cathodiques et les rayons de Becquerel produisent un effet absolument analogue; les corpuscules balistiques agissent comme une poussière.

2° Il y a quelques années M. Landolt avait cru constater que certaines réactions physiques et chimiques s'accomplissaient, dans quelques cas, avec une variation de poids supérieure aux erreurs de l'expérience. Cela semblait compromettre les lois fondamentales de la conservation de l'énergie et de la matière. Plusieurs savants ont cherché à contrôler ces expériences; M. Heydweiller entre autres a publié les résultats qu'il a obtenus dans la *Physikalische Zeitschrift*, octobre 1902. Il attribue ces variations de poids aux phénomènes de radioactivité. Un tube en verre d'Iéna, contenant 5^g de substances fortement radioactives, a été comparé pendant des semaines avec un tube similaire de

même poids et de même volume contenant des débris de verre.

On a constaté une perte de poids continue, égale à environ $0^{\text{mg}},02$ par 24 heures. On évalue l'énergie émise par la substance étudiée à 5 ergs, par seconde et par centimètre carré de surface. A radio-activité égale, les calculs de M. Becquerel donneraient pour l'énergie émise par la substance employée par M. Heydweiller, sous la forme de rayons déviables, la quantité de 10^7 ergs par jour. Or, la perte de $0^{\text{mg}},02$ observée pour le même intervalle correspond, dans le champ terrestre, à une énergie potentielle de gravitation d'environ $1,2 \times 10^7$ ergs.

Cet accord frappant, dit la *Revue générale des Sciences* à laquelle nous empruntons ces résultats, quant à l'ordre de grandeur, suggère la conclusion que, dans les phénomènes de radioactivité, il s'agit d'une transformation directe d'énergie potentielle de gravitation en énergie de radiation, hypothèse s'accordant très bien avec les vues modernes de ces phénomènes.

Ces expériences n'ont pas été encore contrôlées, la perte de poids constatée par M. Heydweiller est bien considérable, et ni M. Curie, ni nous-même n'avons constaté de perte de poids appréciable à la balance au $\frac{1}{100}$ de milligramme, et cela depuis 5 années.

Système de l'atome. Production des corpuscules balistiques. — M. Jean Perrin ⁽¹⁾ conçoit l'atome comme un système solaire en miniature, où les corpuscules chargés d'électricité négative tournent comme des planètes autour d'un ou plusieurs soleils de masse relativement considérable et chargés d'électricité positive, le tout formant un système électriquement neutre. La différence entre les atomes peut provenir du nombre des corpuscules, de leur vitesse, de leur distance au centre de rotation; l'atome lourd est un système planétaire très riche en corpuscules. Or, dans ces atomes lourds, certains des corpuscules se trouvent assez éloignés du centre, et mal assujettis, ils peuvent devenir, en se libérant, des corpuscules cathodiques. Wilson et J.-J. Thompson ont calculé que la masse de ces corpuscules est égale à la millième partie de l'atome.

Cette hypothèse explique parfaitement pourquoi la radioactivité est la propriété de corps à poids atomique très élevé : radium 225, thorium 234, uranium 240, bismuth auquel est lié le polonium 208. Elle est très séduisante, car elle généralise le principe de gravitation universelle jusqu'à l'état ultime de la matière.

Elle applique, à l'explication des phénomènes, un principe parfaitement connu; elle admet de plus

(1) JEAN PERRIN, *Les hypothèses moléculaires.*

l'unité de la matière, croyance plus vraisemblable que celle d'un nombre fini de corps simples.

A priori, admettre que l'atome n'est pas insécable paraît un non-sens; mais nous avons été obligés d'admettre, dans la théorie des ions, que dans les solutions électrolytiques des atomes dissociés en ions étaient capables de cheminer les uns à côté des autres sans se combiner, à cause de leur charge électrique. Les phénomènes qui se produisent quand on chauffe le soufre, l'action catalytique de la mousse de platine, les modifications allotropiques, la dissolution, l'osmose ne semblent-ils pas autant d'arguments suffisants pour admettre la divisibilité de l'atome?

Formation de l'atome. Production de l'énergie. — M. Becquerel a présenté une Note de M. Filippo Ré (1) à la séance du 8 juin 1903 de l'Académie des Sciences : *Les hypothèses sur la nature des corps radioactifs.*

Nous croyons intéressant de reproduire, *in extenso*, cette Communication :

« Nombre de faits conduisent à admettre que les atomes ne sont pas formés de matière continue, mais de particules de même nature ou de nature différente. L'existence des corps radioactifs confirme cette hypothèse, car on ne pourrait concevoir

(1) FILIPPO RÉ, *Comptes rendus*, 8 juin 1903.

des atomes rigides donnant lieu aux phénomènes complexes de la radioactivité. Cela étant, il semble naturel de supposer que ces particules constitutives des atomes ont été auparavant libres, et qu'elles ont constitué une nébuleuse de ténuité extrême; que, dans la suite, elles se sont réunies autour des centres de condensation, donnant naissance à des soleils infiniment petits, qui, par un procédé de contraction ultérieur, ont pris des formes stables et définitives, qui seraient les atomes des éléments que nous connaissons et que nous pourrions comparer à de petits soleils éteints. Les soleils plus grands, qui ne sont pas éteints, constitueraient les atomes des corps radioactifs. Cette hypothèse, dont le degré de légitimité n'est pas moindre que celui concernant l'hypothèse de la formation des mondes, permet d'expliquer :

» 1^o Pourquoi les corps radioactifs possèdent un poids atomique élevé;

» 2^o Pourquoi ils dégagent de l'énergie, qui serait due à la contraction de leurs atomes.

» D'ailleurs beaucoup des phénomènes qu'ils présentent ne diffèrent pas de ceux offerts par le Soleil ainsi que par les rayons lumineux, calorifiques, actiniques et la décharge des corps électrisés. Pour ce qui concerne la radioactivité induite, plusieurs observations prouvent que l'air, la pluie et la neige fraîchement tombées, sont radioactifs;

il ne semble pas improbable que leur radioactivité soit due à l'action de la lumière solaire.

» On ne peut rien dire sur l'influence exercée par les champs magnétiques. En effet, elle diffère de celle exercée sur les rayons solaires, mais on doit remarquer que les conditions d'observation sont très différentes : dans le premier cas, le champ entoure le corps radioactif tout près de lui ; dans le second, il est bien loin de la source. Cependant, on prévoit que les corps radioactifs doivent modifier l'état magnétique, comme l'on a observé la variation du magnétisme terrestre provoqué par le Soleil.

» On pourrait objecter que, si les choses étaient ainsi, la radioactivité devrait disparaître, quand on a soumis les corps radioactifs à des températures très basses, comme celle de l'air liquide, alors qu'elle se montre invariable.

» Mais l'objection n'a pas plus de valeur que celle qu'on ferait en disant que l'énergie dégagée par le Soleil devrait diminuer d'une manière appréciable et même disparaître en peu d'années, puisqu'il est entouré par le froid espace sidéral. Cela serait arrivé depuis longtemps, si le Soleil était un corps brûlant. Enfin, ce fait que de petites quantités de radium dégagent des quantités remarquables d'énergie ne doit pas nous étonner. En effet, réfléchissons que, par les puissants moyens de désagrégation que nous possédons, nous ne sommes pas encore parvenus à séparer les élé-

ments constitutifs des atomes ; aussi, l'on doit conclure que l'énergie dégagée dans leur formation doit avoir été d'un ordre de grandeur plus élevé que ceux que l'on observe lorsque la contraction est due à des forces de gravitation, moléculaires ou atomiques.

» Les atomes des corps radioactifs, n'ayant pas encore pris leur arrangement définitif et étant au contraire dans l'état de formation, doivent donc émettre de grandes quantités d'énergie. »

Comme l'on voit, l'hypothèse ingénieuse de M. Filippo Ré tend à expliquer la formation de l'atome et la production d'énergie émise à cet effet. On peut lui donner pour suite l'hypothèse de M. Jean Perrin sur le système de l'atome.

L'hypothèse de M. Filippo Ré est celle de la constitution des mondes, celle de M. Jean Perrin est celle de la gravitation universelle.

On a calculé que la chaleur totale dégagée par le Soleil était égale à celle qu'émettrait un globe de même volume qui contiendrait un gramme de radium par mètre cube !

Résumé des hypothèses. — Les atomes ont été constitués à l'origine par des nébuleuses et sont maintenant des systèmes solaires éteints pour les corps que nous connaissons.

L'atome des corps radioactifs est encore à l'état de formation, c'est un système solaire en activité

dont la concentration et l'arrangement définitif dégagent une grande quantité de chaleur. Les particules qui constituent ces systèmes solaires pas encore bien assujettis et animés d'un mouvement de rotation très rapide forment des atomes, plus gros que les atomes éteints; les particules qui s'échappent sont les corpuscules cathodiques.

On a fait aussi l'hypothèse que l'espace était constamment traversé par des rayonnements inconnus, arrêtés à leur passage par les corps radioactifs à cause de leur fort poids atomique et transformés en énergie radioactive.

MM. Elster et Geitel ont trouvé que l'activité de l'uranium n'est pas changée au fond d'un puits de min^e de 850^m de profondeur; une couche de terre de cette épaisseur ne modifierait donc pas le rayonnement primaire hypothétique qui provoquerait la radioactivité de l'uranium.

M. et M^{me} Curie ont mesuré la radioactivité de l'uranium à midi et à minuit, pensant que si le rayonnement primaire hypothétique avait sa source dans le Soleil, il pourrait être en partie absorbé en traversant la Terre : aucune différence n'a été constatée. La même constance a été observée par le Capitaine Lafay, professeur à l'École Polytechnique. On ne peut conclure cependant, de ces expériences, que ce rayonnement hypothétique n'existe pas.

Les phénomènes d'électricité tellurique sont

influencés par les taches de la protubérance solaire et accompagnent les phénomènes sismiques. L'électricité que produit le Soleil est en quantité considérable. Y-a-t-il, dans ces forces de formes inconnues, celle qui produit la queue anormale des comètes opposée à la queue normale dirigée vers le Soleil? Bessel croit que cette queue est due à une force répulsive du Soleil, polarité électrique ou magnétique. Peut-être est-ce cette force qui est mise en évidence par les corps à poids atomiques très élevés agissant comme récepteurs?

Dans tout ce domaine d'hypothèses un peu confuses et que nous avons cherché à classer, nous nous garderons bien de tirer une conclusion scientifique précise, car nous courrions le risque de la voir demain démontrée inexacte, même peut-être absurde.

Nous sommes en présence d'étapes nouvelles dans la longue histoire de la Science; quand on vient d'en tourner une page, on s'aperçoit que le livre n'est pas commencé et que la vérité que l'on cherche s'éloigne à mesure qu'on croit enfin la tenir.

Avant de passer à des considérations d'ordre général nous allons relater l'essai de théorie fait par M. de Lapparent, membre de l'Institut, sur la propagation de la lumière, car elle découle des hypothèses dont nous avons parlé précédemment.

Essais d'une théorie de la propagation de la lumière. — Newton avait admis que la lumière était produite par l'émission de particules provenant du corps lumineux. C'est la *théorie de l'émission*, qui n'eut pas de détracteur jusqu'au commencement du XIX^e siècle; à ce moment Huygens fit prévaloir l'hypothèse du mouvement vibratoire; la lumière n'est plus une substance, mais un mode de mouvement, dans un milieu idéal appelé *éther* : c'est la *théorie des ondulations*.

Fresnel, à la suite de ses travaux sur l'interférence et la polarisation, confirme cette théorie, qui fut universellement admise; bien que l'accord ne fût pas parfait sur le mode du mouvement. L'éther est doué de propriétés contradictoires, puisqu'il est plus subtil que le gaz le plus délié et plus élastique que le solide doué du plus de cohésion. Fresnel conçoit la vibration comme perpendiculaire au plan de propagation; Neuman, au contraire, la conçoit dans ce plan! Maxwell, en rattachant les phénomènes lumineux à la production des courants électriques, eux-mêmes expliqués par le déplacement des électrons; M. Perrin, avec sa théorie de l'atome et son hypothèse sur la production des corpuscules cathodiques, font revivre la théorie de l'émission. De l'atmosphère coronale du Soleil, raréfiée et fortement électrisée, dans l'espace intersidéral également très raréfié, il peut se produire un transport de corpuscules capables

d'atteindre une grande vitesse; ces corpuscules étant chargés d'une forme d'énergie, analogue à celle que nous avons supposée aux corpuscules radioactifs.

M. de Lapparent a essayé de concilier la théorie de l'émission avec celle des ondulations; il l'a fait en une lettre qu'il nous a adressée il y a quelques mois, donnant son hypothèse d'instinct et laissant aux physiciens de l'avenir le soin de la confirmer ou de l'écarter.

« Pour concilier la périodicité inséparable des mouvements lumineux avec l'émission des corpuscules, il suffit, ce me semble, de se reporter à l'hypothèse de M. Jean Perrin. J'imagine que les corpuscules, qui se détachent après avoir tourné d'une vitesse vertigineuse, doivent décrire dans l'espace une hélice à tours extrêmement serrés et à diamètre très réduit. De la sorte, au lieu de faire vibrer l'éther qu'il faut douer de propriétés contradictoires, on aurait des vibrations hélicoïdales, pouvant différer pour chaque nature de vibration et par le pas de l'hélice, c'est-à-dire la période, et par le diamètre du cylindre, ce qui pourrait expliquer les phénomènes de dispersion.

» Cette idée m'est venue après la lecture d'un savant travail de M. Marn, inspecteur général des Ponts et Chaussées, sur *l'éther, principe universel des forces*. Il m'a semblé qu'il suffisait de trans-

porter cette propriété aux corpuscules eux-mêmes. »

Nous avons reproduit cette hypothèse qui nous semble intéressante, en la joignant aux précédentes; on voit que le Soleil serait en un état de transformation perpétuel comme les atomes des corps radioactifs. L'énergie dégagée est si considérable qu'il n'y a rien d'étonnant à ce que la chaleur solaire semble constante.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Nous avons reproduit beaucoup d'hypothèses. L'avenir nous dira la part de vérité qui s'y trouve.

Nous avons le droit de les faire toutes si elles remplissent les conditions que M. Dastre (1) indique d'une façon parfaite :

« On ne saurait exiger d'une hypothèse scientifique qu'elle représente d'ores et déjà la formule définitive et invariable de la vérité. Elle est seulement un moyen de la préparer; c'est une construction d'attente, un échafaudage provisoire indiquant plus ou moins vaguement la forme et les aspects du monument véritable. Elle doit remplir, pour être justifiée, des conditions précises, dont la première, naturellement, est de ne pas se

(1) DASTRE, *Revue des Deux Mondes*.

trouver en contradiction avec aucun fait positif, et la seconde, d'être féconde, c'est-à-dire de suggérer et faire découvrir des faits nouveaux ; d'expliquer et de coordonner des faits déjà connus et restés sans liens. Son utilité lui fait pardonner de n'être qu'une vue partielle de la vérité à laquelle l'esprit humain ne peut atteindre que par approximations successives. »

Pour M. Henri Poincaré, dans son Ouvrage *La Science et l'Hypothèse* :

« Il n'y a plus de science si nous ne faisons pas de généralisation, et toute généralisation est une hypothèse. L'expérience est la source unique de la vérité, elle seule peut nous donner la certitude. La Physique mathématique nous rend le service de généraliser.

» Nous découvrons à chaque instant des liens nouveaux entre les objets et des faits. Si l'ordre se fait, la Science tend vers l'unité et la simplicité ; mais si, devant le flot de nos richesses, nous ne pouvons plus classer, il faudra abandonner notre idéal et réduire la Science à l'enregistrement d'innombrables recettes. »

Sera-ce la faillite de la Science dont certains ont parlé, en voulant lui donner un autre sens. Nous ne le croyons pas : car, sans pouvoir préjuger de l'avenir, les résultats acquis dans ces dernières

années sont singulièrement encourageants; en démontrant l'identité entre la lumière, l'électricité et le magnétisme, on a établi l'unité de la force; si l'on admet l'unité de la matière, nous avons fait un nouveau progrès.

C'est dans cet esprit que le Président de l'Académie des Sciences, M. Maurice Levy, dans la séance publique annuelle du 17 décembre 1900, rappelait :

« Que c'est de l'idée cartésienne que sont sorties les théories fécondes de la lumière de Huygens, de Fresnel, de Maxwell avec toutes leurs conséquences : photographie, spectroscopie, rayons cathodiques, rayons X, rayons de Becquerel. De là sortirent aussi le principe de la conservation de l'énergie et celui de la conservation de la matière, de Lavoisier : seules vérités universelles.

» La Mécanique de Newton est insuffisante parce qu'elle sépare le pondérable de l'impondérable.

» La Chimie de Lavoisier et le principe de l'énergie font de même. Il est vraisemblable que ces principes se fondront en un seul dans l'énoncé duquel entreront à la fois le pondérable et l'impondérable. »

Peut-être, un jour, pourrons-nous comprendre la théorie faite à la fin du XVIII^e siècle par le père jésuite Boscovich qui nie *la matérialité de la*

matière et ne voit dans les atomes que des centres de forces; à l'heure qu'il est, nous ne savons pas ce qu'est une force et nous commençons seulement à concevoir l'énergie. N'y aurait-il que l'énergie, et la matière ne serait-elle que l'énergie détruite? Nous entrons là dans un domaine purement métaphysique, où nous nous garderons bien de nous engager. Notre esprit conçoit des hypothèses pour expliquer des faits que l'expérience nous révèle, mais notre mode d'investigation est bien imparfait, les fenêtres par lesquelles nous regardons sur la nature sont singulièrement étroites, notre oreille ne perçoit que certains sons, notre œil ne voit que certaines radiations, notre infériorité n'est pas moins grande pour les autres sens.

Si la Terre était entourée de nuages, de façon permanente, nous ne pourrions nous figurer ses mouvements, et cependant nous pourrions voir l'expérience du pendule de Foucault; nous distinguerions des saisons, des jours, des nuits. Les relations qui nous unissent avec le monde sont si faibles que nous sommes plongés dans une obscurité presque complète.

Nos instruments se perfectionneront, nos moyens d'investigation augmenteront; mais nous continuerons à voir quelques points seulement sur lesquels notre esprit établira des lois, bâtira des hypothèses chancelantes comme l'est l'œuvre de

l'homme; mais, peu importe, la recherche de la vérité n'en restera pas moins l'idéal vers lequel tendra indéfiniment l'effort de l'homme, idéal fuyant toujours vers l'infini.

Nous ne connaissons jamais que des causes secondes, comme l'ont dit Claude Bernard et Pasteur.

L'ultima ratio restera toujours une éternelle inconnue.

En terminant cet Ouvrage nous citerons cette page de lord Kelvin (1) qui nous semble résumer d'une façon parfaite cette philosophie spiritualiste qui imprègne toute la Science anglaise et que nous trouvons singulièrement plus attachante que ce froid matérialisme qui semble l'apanage de notre pays :

« Je ne puis admettre, dit-il, que, quant à l'origine de la vie, la Science n'affirme ni ne nie l'existence d'un pouvoir créateur. Au contraire, la Science affirme l'existence de ce pouvoir. Ce n'est pas dans une matière morte que nous vivons et en pareils éléments que notre être consiste, mais dans le pouvoir créateur et directeur que la Science nous oblige à accepter comme un article de foi. Nous ne pouvons nous dérober à cette conclusion quand nous étudions la physique et la dynamique des

(1) Lord KELVIN, *XIX^e Century*, juin 1903 (traduction du *Cosmos*).

êtres vivants et de la nature morte qui les entoure.

» Les physiologistes modernes arrivent une fois de plus à proclamer fermement qu'il y a quelque chose en dehors de la simple gravitation et des forces physiques et chimiques. Ce quelque chose est un principe vital. La Science met devant nous un objet inconnu ; en pensant à cet objet, nous devenons tous des agnostiques. Nous ne connaissons Dieu que dans ses œuvres, mais nous sommes forcés par la Science de croire avec une parfaite confiance à des influences autres que des forces physiques, dynamiques ou électriques.

» Cicéron, que quelques personnes considèrent comme ayant été l'éditeur de Lucrèce, nie que les hommes, les plantes et les animaux pussent sortir d'un concours fortuit d'atomes. Il n'y a pas de terme moyen entre la croyance scientifique absolue dans un pouvoir créateur et l'acceptation de la théorie d'un concours fortuit d'atomes. Pouvez-vous imaginer un nombre d'atomes se donnant rendez-vous pour fabriquer un cristal, un brin de mousse, un microbe, un animal ? L'expression de Cicéron, concours fortuit d'atomes, n'est pas mal appropriée à la production d'un cristal, mais les hommes de science modernes sont d'accord avec lui en condamnant, comme tout à fait absurde, l'idée que ce concours fortuit a pu être la source de l'augmentation des dimensions du cristal, ou dans la continuation des combinaisons molécu-

laires se présentant dans les corps des êtres vivants.

» Ici la pensée scientifique est obligée d'accepter l'idée d'un pouvoir créateur. Il y a 40 ans, je demandais à Liebig, pendant une promenade dans la campagne, s'il croyait que le gazon et les fleurs poussaient par l'action des forces chimiques. Il me répondit : « Pas plus que je ne crois que les forces chimiques puissent traduire un livre de botanique décrivant les phénomènes de la végétation ; chaque action d'une volonté libre est un miracle pour les sciences chimiques, physiques et mathématiques. »

» Ne soyons pas effrayés d'être libres penseurs. Mais, si notre pensée est assez forte, nous serons forcés par la Science à croire en Dieu, ce qui est le fondement de toute religion, et nous verrons que la Science n'est pas hostile à la religion, loin de là ; elle doit être considérée comme son auxiliaire. »

FIN.

TABLE DES MATIÈRES.

	Pages.
PRÉFACE.....	V
INTRODUCTION.....	I

CHAPITRE I.

<i>Historique. Découverte, recherches.....</i>	4
Rayons de Becquerel. Radioactivité.....	6
Mesure de l'intensité du rayonnement d'un corps radio-actif.....	8
Champs faibles.....	16
Champs forts.....	17

CHAPITRE II.

<i>Découverte de nouvelles substances radioactives : Polonium, Radium, Actinium.....</i>	21
Spectre du radium.....	28
Détermination d'un poids atomique.....	39

CHAPITRE III.

<i>Étude et nature du rayonnement.....</i>	33
Composition du rayonnement.....	34
Rayons α	34
Rayons β	35
Rayons γ	36
Action du champ magnétique.....	36

	Pages.
Charge électrique des rayons	41
Énergie de radiation.....	44
Absorption des rayons.....	46
Absorption élective.....	51
Rayons secondaires.....	53
Spinthariscopes de Crookes.....	53

CHAPITRE IV.

<i>Effets physiques et chimiques des rayons de Becquerel.....</i>	55
Phénomènes lumineux	55
Fluorescence.....	55
Luminescence.....	56
Phénomènes radiographiques.....	58
Phénomènes calorifiques.....	61
Phénomènes électriques	64
Action ionisante des rayons du radium sur les diélectriques liquides.....	65
Effets et applications de l'action ionisante.....	67
Électroscope pour l'étude des corps radioactifs	68
Action du radium sur la conductibilité électrique du sélénium.....	71
Phénomènes chimiques	71
Phénomènes de thermoluminescence.....	74

CHAPITRE V.

<i>Action physiologique et médicale des rayons du radium.....</i>	76
Radiothérapie	77
Ampoules molles, très molles.....	78
Ampoules demi-molles, dures, très dures.....	79
Rayons α	80
Rayons β , γ	81
Action sur une peau saine	83
Exposition forte et unique.....	83

TABLE DES MATIÈRES.

169

	Pages.
Exposition forte et répétée.....	83
Exposition faible et longue.....	84
Modifications anatomiques.....	87
Modifications physiologiques.....	88
Emploi du radium en Thérapeutique.....	89
Travaux du D ^r Danlos sur le lupus.....	90
Phénomènes consécutifs à l'application du radium sur le lupus.....	93
Accidents consécutifs au traitement par le radium.....	96
Résultats obtenus par le D ^r Danlos.....	100
Traitement par la méthode des séances courtes et répétées.	101
Traitement du cancer.....	102
Emploi thérapeutique du radium à faible activité.....	107
Action du radium sur l'œil.....	110
Action du radium sur les microbes.....	110
Action du radium sur les animaux.....	112
Influence du radium sur les animaux en voie de crois- sance.....	115

CHAPITRE VI.

<i>La Radioactivité induite</i>	117
Radioactivité induite à l'air libre.....	117
Radioactivité produite par d'autres causes.....	122
Radioactivité en enceinte fermée.....	123
Radioactivité induite permanente.....	130
Désactivation en enceinte close.....	130
Eau radioactive.....	131
Radioactivité communiquée à une substance en dissolu- tion avec le radium.....	133
Théorie de la radioactivité induite.....	135

CHAPITRE VII.

<i>Variations d'activité des sels de radium</i>	138
Influence de la dissolution.....	138
Influence de la chaleur.....	141

CHAPITRE VIII.

	Pages.
<i>Hypothèses sur la nature et sur les causes du phénomène. Considérations générales</i>	146
Hypothèse de l'émanation.....	146
Électrons et émission cathodique.....	148
Système de l'atome. Production des corpuscules balistiques.....	151
Formation de l'atome. Production de l'énergie.....	152
Résumé des hypothèses	155
Essais d'une théorie de la propagation de la lumière....	158
Considérations générales.....	160

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

LE RADIUM

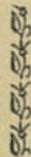
 LA RADIOACTIVITÉ
et les
SCIENCES QUI S'Y RATTACHENT

PUBLICATION MENSUELLE
ILLUSTRÉE

Directeur :  Rédacteur en Chef :
Henri FARJAS  Jacques DANNE
Ingénieur civil  Préparateur de M. CURIE

Recherche des Minerais 
contenant des substances radioactives

EXTRACTION  ÉTUDE DES PROPRIÉTÉS
APPLICATIONS  REVUE DES TRAVAUX

Prix du numéro :  ABONNEMENT UN AN :
50 France. 5 francs
centimes. Union postale, 7 francs

ADMINISTRATION :

36, rue de l'Arcade, PARIS

NOTA. On s'abonne sans frais dans tous les bureaux de poste.

34360 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, quai des Grands-Augustins, 55.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLAR

QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 55, A PARIS (6^e).

BLONDLOT (R.), Correspondant de l'Institut, Professeur à de Nancy. — *Rayons « N »* *Recueil des Communications faites à l'Académie des Sciences*, avec des NOTES COMPLÉMENTAIRES et une introduction. — **POUR LA CONSTRUCTION DES ÉCRANS PHOSPHORESCENTS.** In-16 (11 x 17) 169 pages, avec 3 figures, 2 planches et un écran phosphorescent. 1904.....

BECQUEREL (Henri), Membre de l'Institut. — *Recherches sur la nouvelle propriété de la matière: activité radiante spontanée et radioactivité de la matière.* (*Mémoire de l'Académie des Sciences*, Tome XLVI). In-4 (28 x 23) de 364 pages, avec 3 pl.: 1904.....

JANET (P.), Directeur du Laboratoire central de l'École Supérieure d'Electricité, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris. — *Leçons d'Electrotechnique générale professées à l'École Supérieure d'Electricité.* 2^e édition revue et augmentée. In-8 grand in-8 se vendant séparément :

TOME I. *Généralités. Courants continus.* Volume de XII-169 pages, avec 166 figures; 1904.....

TOME II..... (Sommaire)

JANET (Paul). — *Premiers principes d'Electricité industrielle. Accumulateurs. Dynamos. Transformateurs.* 5^e édition. In-8 169 fig.: 1903. (*Ouvrage couronné par l'Académie des Sciences*)

LODGE (O.), Professeur à l'University College, à Liverpool. — *Leçons modernes de l'Electricité. Essai d'une théorie nouvelle de l'Electricité.* (Traduction de l'anglais et annoté par E. Meylan, Ingénieur civil). In-8 169 pages, avec 169 figures; 1891.....

PELLAT (H.), Professeur à la Faculté des Sciences de Paris. — *Cours de la Faculté des Sciences de Paris. Electricité.* 3 volumes grand in-8 se vendant séparément.

TOME I: *Électrostatique. Lois d'Ohm. Thermodynamique.* 169 pages, avec 169 figures; 1901.....

TOME II: *Électrodynamique. Magnétisme. Induction électromagnétique.* avec 221 figures; 1903.....

TOME III: *Électrolyse. Électrocapillarité, etc.*

34360 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, quai des