

La Découverte de la Radioactivité

par

Monsieur Jean BECQUEREL

de l'Académie des Sciences

Professeur au Muséum National d'Histoire Naturelle

Examineur des élèves à l'Ecole Polytechnique

Conférence prononcée dans la matinée du Mardi 29 Octobre 1946,
au Muséum National d'Histoire Naturelle
sous la Présidence de Monsieur le Directeur du Muséum

DÉPUIS l'an dernier, l'humanité est entrée dans une ère nouvelle qu'on appelle déjà « l'âge atomique ». Il a été possible d'extraire, à grande échelle, de certains éléments lourds, une portion de l'énergie contenue dans les noyaux des atomes, et la source d'énergie constituée par les piles à uranium est riche en promesses pour l'avenir. C'est un événement aussi considérable que l'a été, dans les temps préhistoriques, la conquête du feu. L'énergie nucléaire pourra, dans un temps assez proche, être utilisée, non plus sous la forme d'un engin de destruction, mais pour les besoins de l'industrie et — s'il est permis de croire en la sagesse des hommes — pour l'amélioration pacifique de l'économie mondiale et le bien-être des peuples. L'humanité a le choix entre l'âge d'or qui s'offrira bientôt à elle, ou son suicide.

La conquête de l'énergie atomique n'est pas un événement isolé : elle est venue progressivement, comme suite naturelle d'une série de découvertes sur lesquelles la Physique et la Chimie nucléaires ont été édifiées. La première de ces découvertes est celle dont nous célébrons aujourd'hui le cinquantenaire : l'évolution a été rapide, puisque quarante-neuf années seulement se sont écoulées entre la manifestation initiale, totalement imprévue, de l'énergie nucléaire et sa première utilisation. M. le Duc de Broglie et M. Joliot, qui ont tant contribué aux progrès de la Physique moderne, vous diront les étapes parcourues dans ce domaine, où tout était inconnu il y a cinquante ans. Mon rôle se bornera à exposer la découverte de la Radioactivité, et à donner un aperçu de l'œuvre accomplie par Henri Becquerel dans la voie qu'il a inaugurée. C'est avec une grande émotion que je prends la parole dans cette cérémonie, car j'ai eu le privilège d'être témoin de l'admirable découverte, d'avoir suivi pas à pas les travaux de mon père, et enfin j'ai eu la chance d'avoir vécu assez longtemps pour connaître la réalisation des prodigieuses conséquences que les physiciens entrevoyaient mais qui n'étaient encore qu'un rêve il y a quelques années.

Pour bien comprendre la profonde révolution apportée par la découverte de la radioactivité, il faut remonter aux idées admises il y a cinquante ans sur la constitution de la matière. A cette époque, la théorie atomique était solidement établie; il était prouvé que toute matière est formée d'atomes, particules élémentaires qu'on avait classées en un peu moins d'une centaine de types différents, caractérisant chacun un élément chimique. Par l'union d'atomes de l'un ou de plusieurs de ces éléments sont formés les molécules des éléments ou des divers corps composés. Il était reconnu qu'au cours de toutes les transformations physiques ou chimiques, les atomes gardent leur individualité; cela ne signifie pas qu'ils ne subissent aucun changement : en fait, on connaissait la transformation d'un atome électriquement neutre en atome-ion porteur d'une charge électrique, possédant des propriétés différentes de celles de l'atome neutre; mais une telle modification qui se révèle comme temporaire et peu profonde, ne compromet en rien l'individualité de l'atome.

La conception atomique n'est pas, *a priori*, incompatible avec une idée qui date d'environ 25 siècles : les divers atomes pourraient, en dernière analyse, être formés par une matière universelle, ou par un nombre très restreint de constituants primordiaux, très solidement liés; ils ne différaient les uns des autres que par le nombre et le mode d'assemblage des constituants. En 1815, le médecin anglais Prout avait même émis l'hypothèse que tous les éléments pouvaient être constitués par la condensation progressive de l'hydrogène, le plus léger des corps : cette idée fut adoptée par Jean-Baptiste Dumas. Mais les mesures précises de Stas (1865) ont prouvé que les masses atomiques ne sont jamais rigoureusement des multiples entiers de la masse de l'atome d'hydrogène, et même que les écarts à des multiples entiers peuvent être quelconques. Ce résultat, qui est expliqué à l'heure actuelle, a paru à cette époque incompatible avec l'hypothèse de Prout, à cause du principe de la conservation de la masse. L'idée de Prout fut donc abandonnée (aujourd'hui nous savons que c'était à tort). D'autre part, devant le fait de la conservation des atomes dans toutes les transformations, on avait admis que les éléments étaient indépendants, et immuables.

Ainsi, il y a cinquante ans, il était reconnu comme dogme fondamental que les atomes d'un élément ne pouvaient d'aucune manière être convertis en ceux d'un autre élément; autrement dit que la transmutation de la matière, ce rêve des philosophes et cet espoir des alchimistes était impossible. En accord avec ce dogme, et s'appuyant aussi sur le principe de la conservation de l'énergie, les savants étaient tous bien convaincus qu'une émission d'énergie par la matière ne pouvait pas être spontanée.

Ces conceptions ont été anéanties par la découverte de la radioactivité, faite par Henri Becquerel le 1^{er} mars 1896. Je dois ajouter que mon père a trouvé une aide précieuse en son assistant, physicien d'une grande habileté expérimentale et d'un dévouement à toute épreuve; il se plaisait à dire que Louis Matouf était son « bras droit ».

L'histoire de la découverte de la radioactivité mérite d'être racontée en détail.

A la séance de l'Académie des Sciences du 20 janvier 1896, Henri Poincaré montra les premières radiographies envoyées par Röntgen. Henri Becquerel demanda aussitôt à son confrère quelle était exactement, dans l'ampoule productrice de rayons X, la région d'où émanaient ces rayons : Poincaré lui répondit que le nouveau rayonnement venait de la partie de la paroi de verre frappée par les rayons cathodiques. Henri Becquerel fit alors remarquer à Poincaré que dans cette région le verre était rendu fluorescent par les rayons cathodiques, et les deux savants furent immédiatement d'avis qu'il fallait chercher si certains corps, rendus fluorescents ou phosphorescents par la lumière, émettaient un rayonnement analogue aux rayons X. Henri Becquerel entreprit aussitôt les recherches.

Parmi les nombreuses substances phosphorescentes, son choix se porta sur les sels d'uranyle, non par hasard, mais pour les raisons suivantes : ces sels forment une classe à part parmi les corps phosphorescents; leurs spectres d'absorption et d'émission par phosphorescence, qui avaient fait l'objet de nombreux travaux au laboratoire de Physique du Muséum, présentent une structure remarquablement simple; de plus, alors que les autres substances rendues phosphorescentes par la lumière doivent cette propriété à la présence de matières étrangères, la phosphorescence des sels d'uranyle est une qualité qui leur appartient en propre. Le choix de ces substances a donc été inspiré par des travaux antérieurs : aussi Henri Becquerel, dans sa modestie, aimait-il à reporter le mérite de sa découverte sur son grand-père Antoine-César et sur son père Edmond : il disait que les travaux qui, depuis une soixantaine d'années, s'étaient succédés dans ce même laboratoire, formaient une chaîne qui devait fatalement, quand l'heure serait propice, aboutir à la radioactivité.

PLANCHE 1

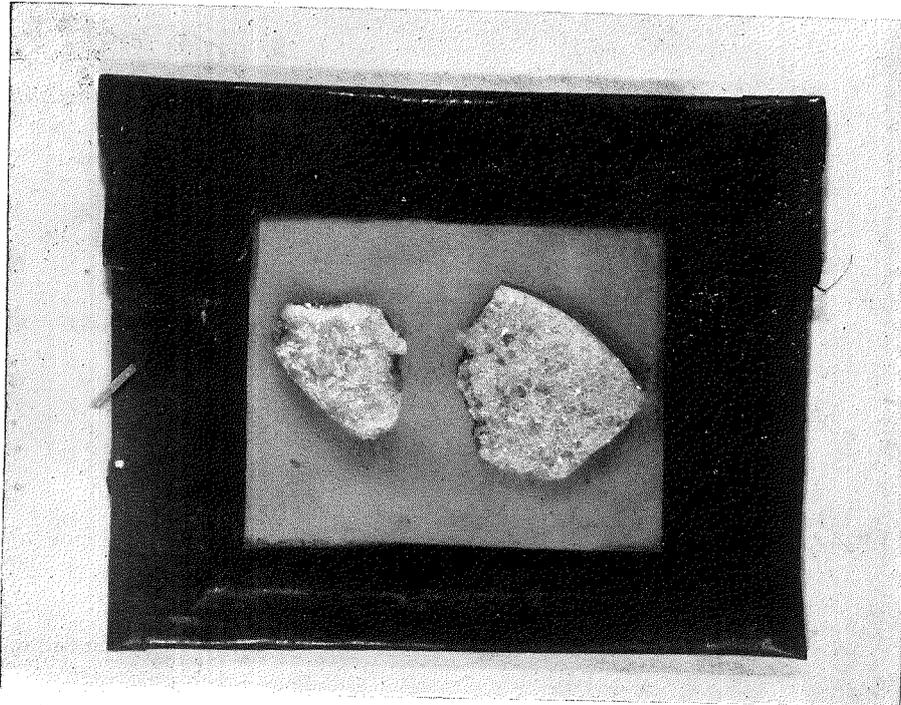


Fig. 1

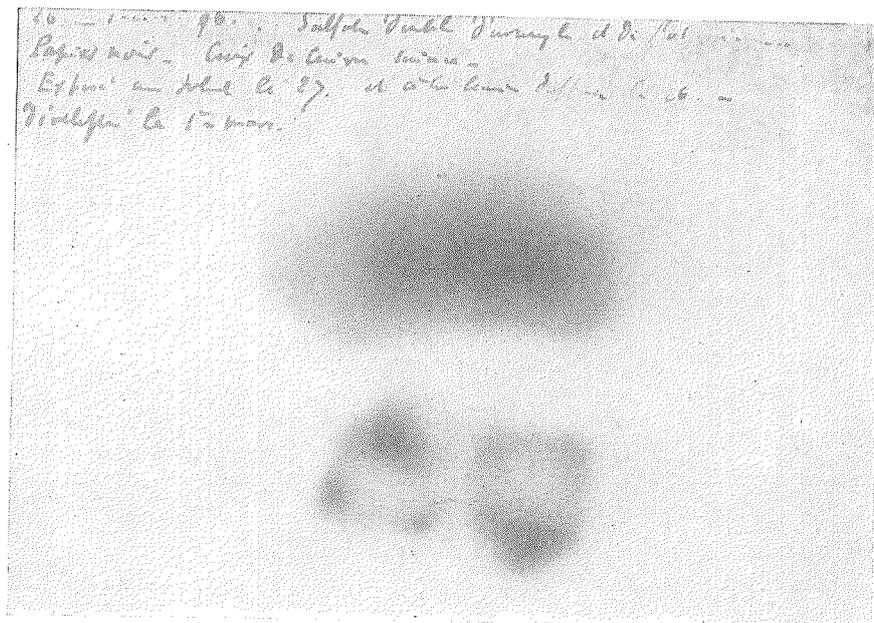


Fig. 2

Sur une plaque photographique enveloppée d'une double feuille de papier noir épais, deux lamelles de sulfate double d'uranium et de potassium furent déposées; entre l'une d'elles et le papier noir, une pièce d'argent fut placée. Croyant naturellement qu'une excitation par la lumière, nécessaire pour provoquer la phosphorescence, était également nécessaire pour donner naissance à tout autre rayonnement, Henri Becquerel exposa le tout au soleil. Après une pose de quelques heures, le développement de la plaque fit apparaître une légère impression figurant les silhouettes des lamelles, et l'ombre produite par la pièce métallique. L'expérience fut recommencée aussitôt en interposant, entre la plaque enveloppée et le sel d'uranium, une lame mince de verre, de 0,1 mm. d'épaisseur, pour exclure la possibilité d'une action chimique due à des vapeurs qui pourraient émaner de la substance échauffée par les rayons solaires; le résultat fut le même, avec une impression un peu plus faible. Ce furent les premiers résultats, communiqués à l'Académie des Sciences le 24 février 1896.

Ainsi, le sel d'uranium avait émis un rayonnement nouveau, traversant le papier noir et partiellement absorbé par une lame de verre. C'était le phénomène cherché. Mais ce n'était pas encore la grande découverte, car une influence excitatrice des rayons solaires avait été considérée comme nécessaire. *La découverte de la radioactivité date du jour où Henri Becquerel reconnut que l'exposition à la lumière n'était pour rien dans les effets observés.* Un dispositif avait été monté, surtout en vue d'étudier l'absorption des nouveaux rayons par diverses substances : une plaque photographique était placée dans un châssis opaque soit entièrement en toile ou papier noir, soit fermé d'un côté par une plaque d'aluminium (fig. 1, pl. I) A l'extérieur, quelques lamelles de sulfate double d'uranium et de potassium étaient fixées par des bandes de papier. Quelques expériences avaient été faites avec exposition au soleil, comme précédemment, et avaient montré une absorption partielle du rayonnement par des croix de cuivre de diverses épaisseurs placées sous les lamelles. Je donne maintenant un extrait de la note présentée à l'Académie, par Henri Becquerel, le 2 mars 1896 :

« J'insisterai particulièrement sur le fait suivant, qui me paraît tout à fait important et en dehors des phénomènes que l'on pouvait s'attendre à observer :
« les mêmes lamelles cristallines, placées en regard de plaques photographiques, dans
« les mêmes conditions et au travers des mêmes écrans, mais à l'abri de l'excitation
« des radiations incidentes et maintenues à l'obscurité, produisent encore les mêmes
« impressions photographiques. Voici comment j'ai été conduit à faire cette obser-
« vation : parmi les expériences qui précèdent, quelques-unes avaient été préparées
« le mercredi 26 et le jeudi 27 février, et comme ces jours-là le soleil ne s'est
« montré que d'une manière intermittente, j'avais conservé les expériences toutes
« préparées et rentré les châssis à l'obscurité dans le tiroir d'un meuble, en laissant
« en place les lamelles du sel d'uranium. Le soleil ne s'étant pas montré de nouveau
« les jours suivants, j'ai développé les plaques photographiques le dimanche 1^{er} mars,
« en m'attendant à trouver des images très faibles. Les silhouettes apparurent, au
« contraire, avec une grande intensité. Je pensai aussitôt que l'action avait dû
« continuer dans l'obscurité. »

Tout n'est pas dit dans cette note : j'ajouterai quelques détails qui montreront le soin méticuleux de l'expérimentateur. Le soleil ayant reparu le 1^{er} mars, la première intention d'Henri Becquerel fut de porter au soleil les châssis sortis du tiroir; après réflexion, il se ravisa et les emporta dans la chambre noire : les sels d'uranium avaient en effet été exposés pendant quelque temps à la lumière diffuse avant d'être mis à l'obscurité; il était alors préférable de changer les plaques, car avec les anciennes plaques les conditions expérimentales n'auraient pas été nettement définies; de plus il ne fallait pas négliger de voir si la lumière diffuse avait

donné un effet appréciable. Ayant retiré la plaque d'un des châssis, Henri Becquerel la glissa dans un bain de révélateur qui se trouvait tout préparé et fut stupéfait de constater que, pendant qu'il avait disposé une plaque neuve, le révélateur avait fait apparaître les silhouettes des lamelles avec une intensité beaucoup plus grande que dans les expériences antérieures. Sur ce cliché historique (fig. 2, pl. I), dont l'obtention a été la découverte de la radioactivité, on voit dessinées les formes des deux lamelles, ainsi que la radiographie d'une croix de cuivre mince placée sous l'une des deux lamelles : le rayonnement a partiellement traversé le métal; les annotations sont de la main d'Henri Becquerel. Je montre encore la radiographie d'une médaille d'aluminium (fig. 3, pl. II) obtenue du 16 au 20 mars : il a fallu une pose de quatre jours, à cause de l'épaisseur de la médaille.

De nouvelles expériences furent répétées avec de nombreux sels d'uranium, soigneusement maintenus dans l'obscurité. Puisque le nouveau phénomène s'était montré indépendant de la propriété que possèdent les sels uraniques d'émettre par phosphorescence de la lumière visible, Henri Becquerel essaya des sels uraneux, non phosphorescents : ceux-ci se sont également montrés actifs. Voici maintenant une observation fondamentale : les impressions obtenues dans des conditions identiques avec de nombreux sels d'uranium ont été d'autant plus intenses que la teneur en uranium du composé employé était plus grande; il était donc probable que le métal uranium aurait une « activité radiante » (1) plus forte que celle de ses composés. C'est bien ce qui fut constaté. *Henri Becquerel en conclut que la propriété nouvelle appartient à l'atome d'uranium; elle ne dépend pas de son état de combinaison, alors que toutes les autres propriétés changent d'un composé à l'autre. J'insiste sur l'importance de ce fait : il révèle que l'activité radiante est un effet plus profond que l'émission lumineuse; son origine doit être recherchée dans une région de l'atome que les actions chimiques ne touchent pas.*

Le nouveau rayonnement possédait donc deux propriétés inattendues et fort troublantes : sa spontanéité et son caractère atomique. Vu le principe de la conservation de l'énergie, la spontanéité était étrange : cependant elle ne contredisait pas forcément ce principe, la matière pouvant être, par elle-même, un réservoir d'énergie. Mais la spontanéité était en opposition avec le dogme de l'invariabilité de l'atome, car si l'atome perd de l'énergie, il doit se transformer. Aussi, pour éviter de rompre trop hâtivement avec les idées acquises, devait-on rechercher si la spontanéité n'était pas une apparence irréelle. L'idée la plus naturelle a été exprimée, sous toutes réserves d'ailleurs, par Henri Becquerel dans sa note du 2 mars : c'est l'hypothèse d'une phosphorescence par émission de radiations invisibles, dont la durée de persistance serait très grande. L'uranium, avant d'être mis à l'obscurité, aurait absorbé une quantité assez considérable d'énergie lumineuse, puis transformerait cette énergie et la restituerait lentement sous la forme des nouveaux rayons. Cependant, la provision d'énergie s'épuiserait à la longue, et une diminution de l'activité devrait peu à peu se manifester. Pour tenter d'élucider cette question, Henri Becquerel disposa plusieurs composés d'uranium dans une boîte en plomb épais, sur une feuille de papier noir tendue un peu au-dessus du fond de la boîte; une rainure latérale permettait de glisser sous la feuille de papier une plaque photographique fixée sur une lame de plomb, la gélatine tournée vers le papier; enfin cette première boîte fut enfermée dans une seconde boîte en plomb épais. Le changement des plaques se faisait dans l'obscurité, sans toucher aux substances actives. Tout agent agissant sur l'uranium aurait été forcé de traverser plusieurs millimètres de plomb. Les épreuves obtenues pendant sept ans ont montré que l'activité reste constante, et que la protection par le plomb ne diminue en rien l'intensité des effets.

(1) C'est le terme employé par Henri Becquerel. Le mot « radioactivité » adopté plus tard, est dû à Marie Curie.

PLANCHE II

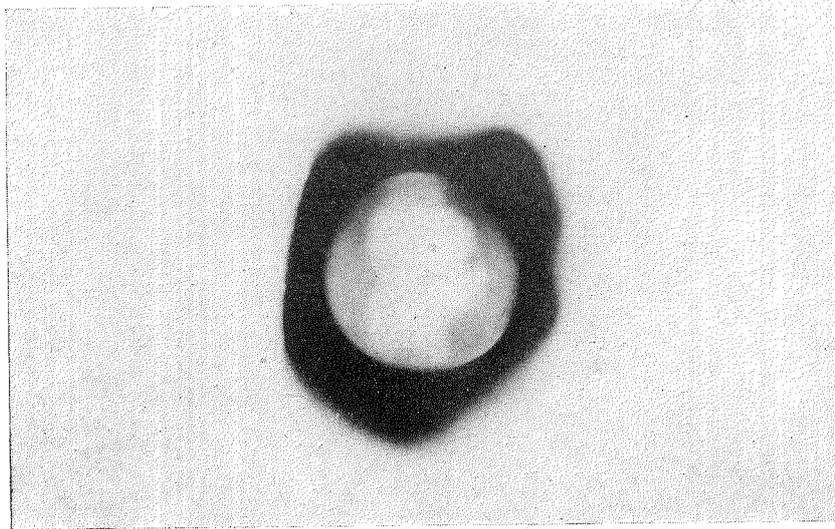


Fig. 3

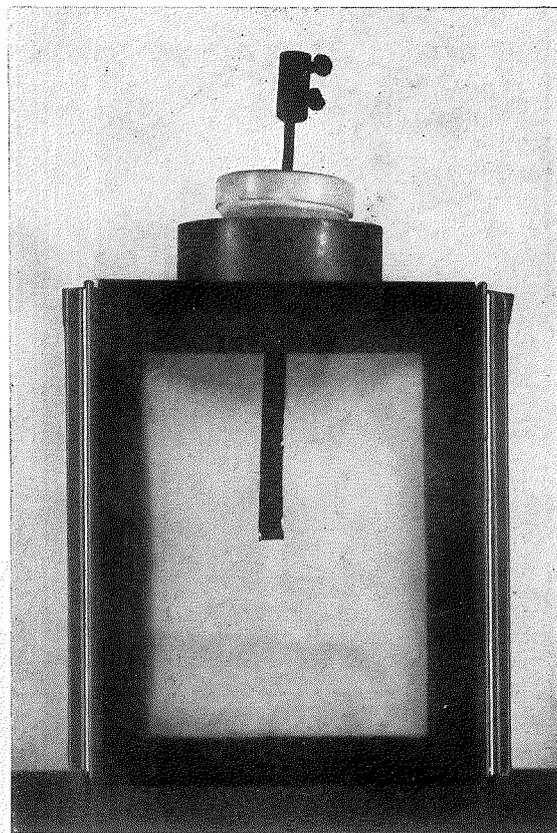


Fig. 4

Ce résultat rendait invraisemblable l'idée d'un emmagasinement d'énergie lumineuse, mais il pouvait être interprété par une autre hypothèse, qui avait été émise en 1899 par Marie Curie : l'espace serait traversé par une radiation très pénétrante, traversant sans affaiblissement sensible les boîtes de plomb, mais qui serait absorbée par les corps radioactifs; la radiation émise par ceux-ci serait un rayonnement secondaire provoqué par la radiation pénétrante. Nous savons aujourd'hui qu'une telle radiation existe (rayons cosmiques), mais qu'elle n'est pas la cause de la radioactivité. C'est seulement en 1903 que la connaissance de la nature matérielle d'une partie du rayonnement, la découverte de nouveaux éléments plus ou moins éphémères et de leur filiation, ont conduit Rutherford et Soddy à admettre la véritable spontanéité du rayonnement, et à donner la théorie de l'évolution radioactive. Cette évolution spontanée n'est plus aujourd'hui une hypothèse : c'est un fait dont personne ne peut douter.

L'énergie considérable qu'un corps radioactif dégage au cours de son évolution a paru pendant plusieurs années un fait surprenant. L'étonnement n'a cessé que du jour où Einstein, en 1906, eût établi l'identité de la masse et de l'énergie : toute masse représente, à l'état latent, une énergie égale au produit de cette masse par le carré de la vitesse de la lumière, si bien qu'un gramme de matière *quelconque* représente une énergie totale de 25 millions de kilowatts-heure. Par comparaison avec l'énergie des réactions chimiques, l'énergie radioactive nous paraît énorme; elle n'est pourtant qu'une très faible partie de l'énergie totale que la matière représente.

Revenons aux travaux d'Henri Becquerel. Jusqu'à présent, il n'a été question que de résultats obtenus avec des plaques photographiques. Dès le début de ses recherches, le 7 mars 1896, Henri Becquerel a observé un autre effet très important : les rayons uraniques provoquent la décharge des corps électrisés, propriété qui avait été trouvée un mois auparavant par J.-J. Thomson pour les rayons X. Henri Becquerel ne tarda pas à reconnaître le rôle que joue l'air ou le gaz ambiant : le gaz est rendu conducteur de l'électricité — nous disons aujourd'hui qu'il est ionisé — et c'est par l'intermédiaire du gaz conducteur que les corps électrisés perdent leur charge.

Pour l'étude du rayonnement, en plus de la méthode photographique dont les résultats étaient surtout qualitatifs, Henri Becquerel a donc trouvé une méthode électrique, et celle-ci donne des résultats quantitatifs, car elle se prête à des mesures précises. Henri Becquerel s'est servi d'un simple électroscope à feuilles d'or, puis d'un électromètre à quadrants; d'importants perfectionnements ont été apportés par Pierre et Marie Curie, par Rutherford et d'autres physiciens, mais il ne faut pas oublier que c'est à Henri Becquerel qu'on doit la méthode électrique qui, sous une forme ou sous une autre, a toujours été employée plus tard pour la mesure des activités.

A l'aide d'un électroscope sensible, Henri Becquerel a d'abord confirmé le fait que l'activité de l'uranium est une propriété atomique; en effet, les composés d'uranium, à surfaces rayonnantes égales et placés à la même distance de l'électroscope, déchargent l'appareil d'autant plus vite que leur teneur en uranium est plus grande : les vitesses de déperdition, qu'on peut prendre pour mesures relatives des activités, sont proportionnelles à la teneur en uranium. Il a, de plus, montré que de larges variations de température, de 80° à — 190° C. ne modifient pas l'intensité du rayonnement.

Henri Becquerel a été conduit à observer, avec les rayons uraniques, les caractères fondamentaux du phénomène de l'ionisation et il a, presque en même temps que Thomson, montré l'existence du courant de saturation (à la même époque, J.-J. Thomson et Rutherford faisaient l'étude de l'ionisation, provoquée par les rayons X).

Je ne décrirai pas l'électroscope à feuilles d'or ou d'aluminium. Tout le monde connaît ce vieil appareil : la figure 4 (pl. II) est une photographie de celui dont s'est servi Henri Becquerel. Parmi les expériences par lesquelles il a mis en évidence le rôle des gaz ambiants, je choisis les suivantes :

1° Dans un tube aboutissant près de la boule de l'électroscope, on place, loin de l'appareil, un composé d'uranium. La déperdition de la charge de l'électroscope est lente, mais si, par un courant d'air, on amène sur la boule l'air qui est passé sur la substance, la décharge de l'électroscope devient beaucoup plus rapide, et elle est d'autant plus grande que le courant d'air est plus fort. L'air est donc le siège du phénomène qui provoque la déperdition de la charge de l'électroscope : cet air est devenu conducteur de l'électricité, sous l'action du rayonnement, au voisinage de l'uranium, et conserve sa propriété conductrice pendant quelques instants.

2° Une bille d'uranium métallique a été placée dans un tube et reliée par un fil conducteur à la boule de l'électroscope : on charge la bille d'uranium et par suite l'électroscope puisque celui-ci est électriquement lié à la bille. Sous l'influence de son propre rayonnement, la bille se décharge et les feuilles de l'électroscope se rapprochent. On constate que la déperdition est d'autant moindre que l'air, ou un gaz quelconque, contenu dans le tube, est plus raréfié et que si l'on fait le vide, elle se réduit à la perte de l'appareil due au défaut d'isolement (nous pouvons ajouter aujourd'hui : partiellement due aussi à une très légère conductibilité naturelle de l'air atmosphérique).

3° On peut graduer l'électroscope de manière à mesurer le débit d'électricité par unité de temps, c'est-à-dire le courant de décharge. Henri Becquerel a constaté que pour de faibles charges de l'électroscope, le courant est à peu près proportionnel au potentiel de la tige de l'électroscope; mais à mesure que le potentiel croît, le courant augmente de moins en moins vite et finit par rester constant. C'est bien ce que Thomson et Rutherford ont appelé courant de saturation. Voici l'explication : le champ électrique qui règne autour de la boule de l'électroscope ne peut extraire du gaz ionisé qu'une quantité limitée d'électricité : lorsque, dans un gaz, le rayonnement qui produit l'ionisation est maintenu constant, le courant dû au déplacement des ions dans un champ électrique tend, à mesure que le champ augmente, vers une limite qui correspond à l'équilibre entre le nombre d'ions enlevés par ce champ et le nombre d'ions qui se forment pendant le même temps.

Trois ans plus tard, Rutherford a vérifié et étendu les conclusions auxquelles Henri Becquerel avait été conduit. Le grand progrès apporté par les travaux de Rutherford fut l'identification des effets produits dans les gaz par le rayonnement de l'uranium, avec les effets d'ionisation provoqués par d'autres rayonnements, et l'application de la théorie de l'ionisation aux phénomènes de conductibilité qui en résultent. Lorsque, en 1898, Pierre et Marie Curie eurent découvert deux nouveaux corps, le polonium et le radium, considérablement plus actifs que l'uranium, l'étude des propriétés du rayonnement fut beaucoup facilitée. La recherche de la nature des rayons était une des préoccupations d'Henri Becquerel. Au début de 1899, Curie prêta à Henri Becquerel quelques centigrammes de sulfure de bismuth contenant du polonium, et de carbonate de baryum radifère. Ces produits ont révélé une différence profonde dans la nature du rayonnement émis par chacun d'eux. Les substances ont été mises dans de petits cylindres en papier, de 7 mm. de diamètre, fermés à leur base inférieure par une feuille d'aluminium battu ou par une lame très mince de mica; ces cylindres ont été déposés sur une plaque photographique. Le cliché (reproduit fig. 5, pl. III) montre, à gauche, les impressions produites par le rayonnement du radium : dans l'image du bas, les rayons ont traversé une feuille d'aluminium, dans celle du haut, une feuille de mica; le fait que les taches sont plus larges que les

PLANCHE III

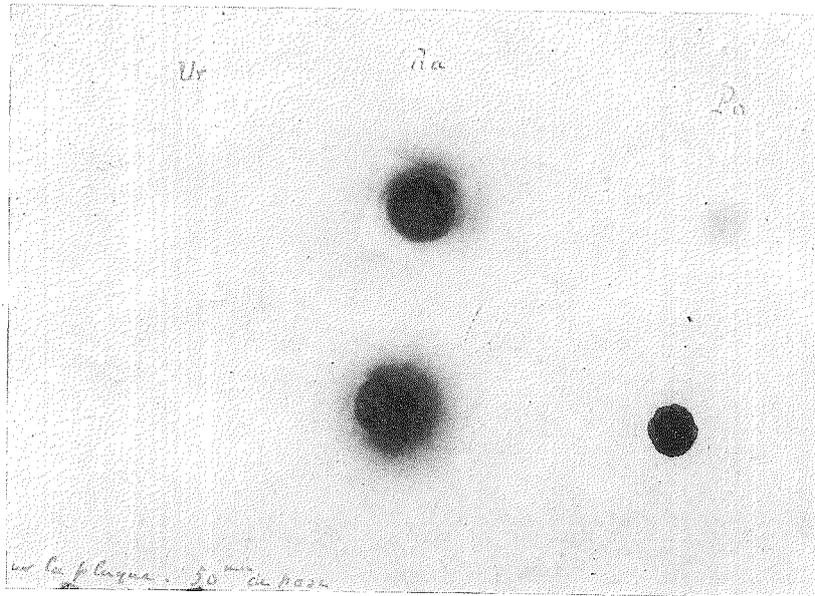


Fig. 5

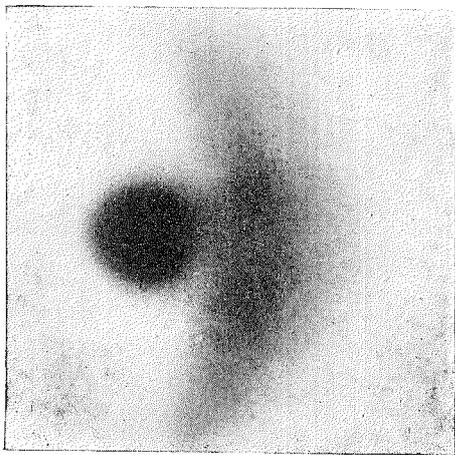


Fig. 6

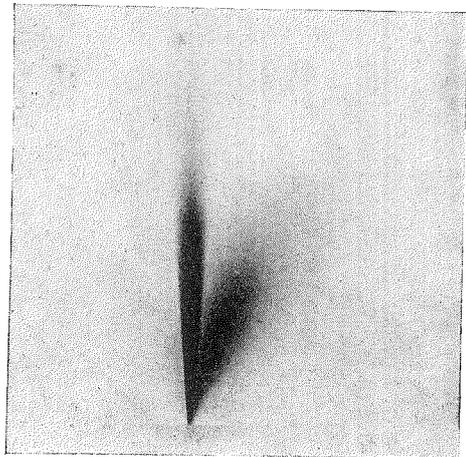


Fig. 7

cylindres montre que les parois en papier des cylindres ont été traversées par une partie du rayonnement.

Dans la partie droite du cliché, se trouvent les impressions produites par le rayonnement du polonium : ici rien n'est sorti des parois latérales des cylindres, dont on voit les contours nettement délimités; à travers l'aluminium, l'impression est forte, mais à travers le mica elle est très faible.

Ainsi, les rayons du polonium sont peu pénétrants : ils ne traversent pas une feuille de papier; ils ont été appelés plus tard rayons α . Le rayonnement du radium contient des rayons beaucoup plus pénétrants, désignés par rayons β . L'excitation de la phosphorescence de divers corps permet encore de distinguer ces deux sortes de rayons : Henri Becquerel reconnut, en observant la phosphorescence provoquée par le rayonnement de préparations radifères, que ces substances émettent, non pas seulement des rayons pénétrants, mais aussi des rayons très absorbables qui, comme ceux du polonium, ne traversent pas une feuille de papier. Les rayons α du polonium et ceux du radium sont les plus actifs pour exciter la phosphorescence de la blende hexagonale et du diamant; les rayons β produisent leur maximum d'effet sur les sels d'uranyle.

Une méthode beaucoup meilleure pour analyser le rayonnement est l'étude de l'action d'un champ magnétique et de celle d'un champ électrique. Vers la fin de 1899, Giesel, puis Meyer et von Schweidler observèrent que le rayonnement de préparations actives était dévié par un champ magnétique. A la même époque, et sans avoir eu connaissance des expériences des savants étrangers, Henri Becquerel fit la même observation sur le rayonnement du radium. Le cliché reproduit figure 6 (pl. III) a été obtenu de la manière suivante : sur une plaque photographique enveloppée de papier noir et placé horizontalement entre deux pôles d'aimant, on dépose quelques grains de matière active; le développement de la plaque après quelques instants de pose montre que, à côté de la tache qui marque la position de la source radioactive, il s'est produit une impression intense due au rayonnement rejeté par le champ magnétique et ramené sur la plaque, d'un seul côté. Ce sont les rayons β qui sont ainsi déviés, puisque les rayons α ont été arrêtés par la feuille de papier qui enveloppe la plaque.

Presque aussitôt, Henri Becquerel reconnut que les rayons α du polonium ne sont pas déviés d'une façon appréciable dans les conditions de l'expérience précédente. Pierre et Marie Curie, étudiant le rayonnement du radium à l'aide d'un électromètre, observèrent la présence simultanée des deux espèces de rayons déviables et non déviables par un champ magnétique; de son côté, Henri Becquerel fit la même constatation par la méthode photographique : il obtint les traces des rayons sur une plaque photographique en plaçant une petite quantité d'un sel de radium au fond d'une rainure profonde creusée dans un bloc de plomb, produisant un champ magnétique parallèle à la rainure, et coupant les faisceaux de rayons par une plaque presque normale au champ, sur laquelle les rayons tombent sous une incidence presque rasante; le résultat (fig. 7, pl. III) est frappant : on ne saurait montrer plus clairement la séparation des rayons α et β . Ce sont les rayons α non déviables qui donnent l'action photographique (et d'ailleurs aussi l'ionisation) la plus intense; il suffit de placer une feuille de papier sur la rainure pour les absorber alors que le faisceau β subsiste. Henri Becquerel reconnut aussi que le thorium, dont la radioactivité avait été découverte par Marie Curie ainsi que par Schmidt, donne les deux sortes de rayons, mais les rayons α de l'uranium, très faibles, n'ont pas produit d'action photographique dans ses expériences et lui ont échappé.

Revenons au cliché obtenu avec le radium; l'épanouissement du faisceau α non dévié, progressivement croissant avec la distance à la rainure est dû à la largeur

de celle-ci, mais il est visible que l'étalement beaucoup plus grand du faisceau β dévié révèle sa non-homogénéité : ce faisceau dispersé par le champ magnétique est formé d'un ensemble continu de rayons également déviés, qui sont aussi inégalement pénétrants car on constate que les parties les moins déviées traversent facilement divers écrans (papier, feuille de mica, feuille métallique), tandis que les parties les plus déviées sont beaucoup plus absorbables. Henri Becquerel a obtenu de véritables spectres d'absorption. Par exemple : dans un champ magnétique uniforme et horizontal, on place parallèlement au champ une plaque photographique non enveloppée de papier, puis on dispose sur la plaque une petite cuve de plomb contenant quelques grains de baryum radifère et formant une source de très petit diamètre. Le champ magnétique ramène le rayonnement sur la plaque, qui est impressionnée d'un seul côté. De ce côté, on a placé des petites bandes de substances diverses; on constate

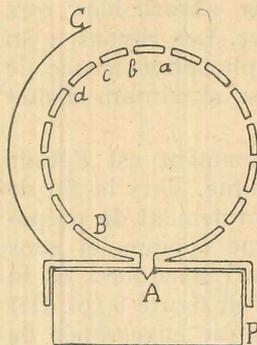


Fig. 9

que dans l'impression diffuse qui figure une sorte de spectre, il y a des rayons inégalement pénétrants qui donnent, sous chaque écran, des impressions dont les limites sont différentes. Le cliché représenté figure 8 (pl. IV) a été obtenu avec les écrans suivants : en bas une bande de papier noir, au-dessus une bande d'aluminium de 0,1 mm. d'épaisseur, enfin une lame de platine de 0,03 mm. qui est à peu près opaque.

Henri Becquerel a fait une analyse plus complète du rayonnement β par la méthode suivante (fig. 9) : quelques grains d'un sel de radium sont placés au fond d'une rainure étroite et profonde A entaillée dans un petit bloc de plomb P; on recouvre la rainure d'une feuille de papier noir pour arrêter les rayons α ainsi que la lumière émise par le sel, qui est phosphorescente sous l'action de ses propres rayons. Les rayons β sortent de la rainure en formant un faisceau très étroit. Sur une plaque

photographique normale à la rainure, le faisceau donne une trace linéaire. Plaçons maintenant ce dispositif entre de larges pôles d'aimant, entre lesquels règne un champ magnétique sensiblement uniforme, et disposons la rainure parallèlement aux lignes de force de ce champ; le faisceau de rayons β est dévié d'un seul côté et dispersé. Faisons tomber ce faisceau sur un écran de plomb B cylindrique, percé de fentes a, b, c; les fentes sont parallèles à la rainure A d'où émanent les rayons; de chaque fente sort une portion du rayonnement, et les rayons tombent sur un écran cylindrique C formé par une feuille d'aluminium de $1/10^e$ de millimètre d'épaisseur. La figure 10 (pl. IV) est une photographie de l'écran de plomb crénelé et de la feuille d'aluminium et la figure 11 (pl. V) est la reproduction du cliché obtenu dans un champ de 860 gauss : on voit que les rayons les moins déviés, ceux qui sortent des fentes du haut, traversent aisément la lame d'aluminium; au contraire, les rayons très déviés, dans le bas, sont arrêtés par l'aluminium. Les rayons intermédiaires montrent un effet important : l'impression est plus intense derrière l'écran d'aluminium qui semble renforcer le rayonnement; ce résultat est dû au fait que les rayons absorbés par l'écran d'aluminium provoquent un rayonnement secondaire émané de cet écran; ces rayons secondaires ont une action photographique plus grande que celle des rayons primaires, parce qu'ils sont moins pénétrants et par suite plus absorbés par la couche sensible.

Les rayons non déviés qu'on voit sortir des deux fentes supérieures constituent une troisième espèce de rayons, les rayons γ . Ces rayons, qui sont de même nature que les rayons X, sont très pénétrants et ne produisent qu'une faible impression sur les plaques. Les rayons γ ont été mis en évidence en 1900 par Villard, mais quelques mois auparavant, Henri Becquerel avait déjà signalé que sur une plaque photographique placée sous une cuve de plomb renfermant un sel de radium, il se produit

PLANCHE IV

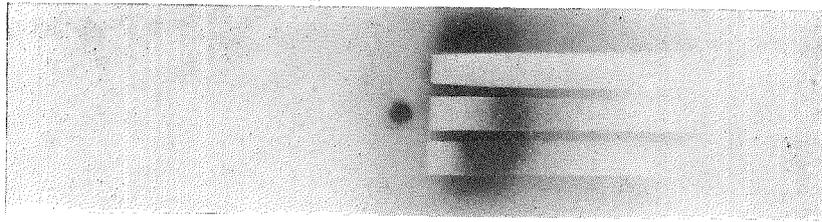


Fig. 8

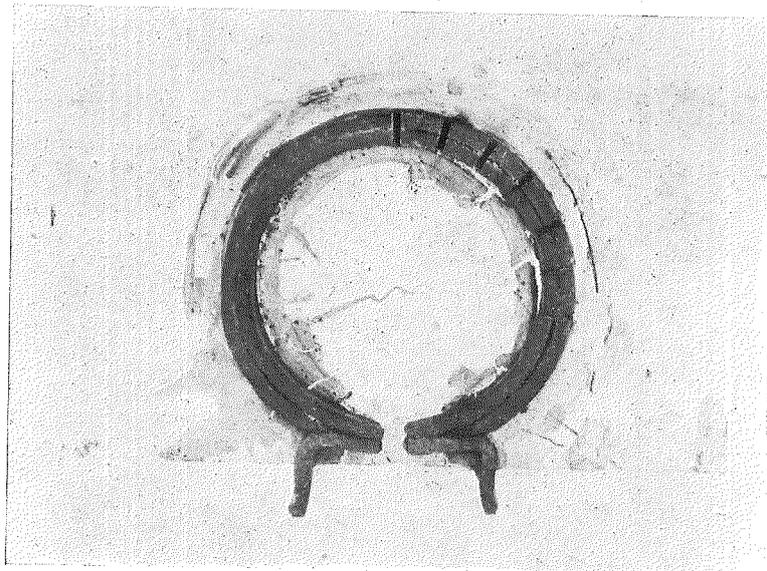


Fig. 10

une impression très intense, révélant la pénétrabilité de certains rayons à travers le plomb : cette impression est due, non pas aux rayons γ eux-mêmes, mais aux rayons secondaires auxquels ils donnent naissance dans le plomb.

Avec ce même dispositif, si l'on place, sur le trajet des rayons β émanés d'une des fentes, un nouvel écran de plomb percé d'une petite ouverture, il sort de celle-ci un rayon pur : on constate que sa trajectoire est circulaire, comme la théorie le fait prévoir pour la trajectoire d'une particule électrisée dans un champ magnétique uniforme. Le sens de la déviation par rapport au sens du champ correspond à un mouvement de charges négatives. D'ailleurs, Pierre et Marie Curie ont établi, par une magnifique expérience, que les rayons β transportent de l'électricité négative. Les mesures faites par Henri Becquerel ont donné, pour le produit du rayon de la trajectoire par l'intensité du champ, des valeurs du même ordre de grandeur que pour les rayons cathodiques, du moins pour les rayons les plus déviables du radium.

L'identité de nature entre les corpuscules formant les rayons β et les corpuscules cathodiques était bien probable, d'après ces premiers résultats. Cependant, pour avoir la preuve, il fallait encore constater et mesurer la déviation due à un champ électrostatique. En faisant passer un pinceau étroit de rayons β entre les deux plateaux d'un condensateur, et mesurant sur une plaque photographique le déplacement de l'ombre du bord d'un écran lorsqu'on inverse le sens du champ électrique, Henri Becquerel a donné les premières mesures de la déviation électrique. Les résultats, joints à ceux obtenus pour les déviations dans un champ magnétique permirent, comme pour les rayons cathodiques, de calculer la vitesse et le rapport entre la charge et la masse des particules. Mais, le faisceau de rayons β n'étant pas homogène, il y avait une difficulté : il fallait mesurer la déviation électrique et la déviation magnétique d'une même radiation. Pour identifier une même radiation dans les deux expériences de déviation, Henri Becquerel choisit les radiations les plus déviées ayant traversé tel ou tel écran. Les mesures ont révélé des vitesses beaucoup plus grandes que celles des particules cathodiques (par exemple les $3/4$ de la vitesse de la lumière dans l'une des expériences), mais la valeur du rapport entre la charge et la masse des particules a été, dans toutes les mesures, trouvée sensiblement la même que pour les corpuscules cathodiques. On pouvait donc considérer comme établi que les particules formant les rayons β sont des électrons.

Cependant, dans ces expériences, l'identification de deux rayons dans les deux expériences séparées de déviation électrique et de déviation magnétique était difficile. Une méthode plus précise était nécessaire pour vérifier une prévision théorique importante : la variation de la masse de l'électron en fonction de sa vitesse. Henri Becquerel eut l'idée de faire agir simultanément un champ électrique et un champ magnétique parallèles : les deux déviations se produisent dans deux directions rectangulaires, de sorte que chaque rayon pur, ayant une déviation électrique unique et une déviation magnétique unique, doit impressionner un seul point sur une plaque photographique placée normalement à la direction initiale du faisceau ; l'ensemble des rayons du faisceau non homogène, dont les particules n'ont pas toutes les mêmes vitesses, doit donner sur la plaque une courbe à chaque point de laquelle correspond un rayon pur, pour lequel on peut déterminer les déviations électrique et magnétique et en déduire les valeurs de la vitesse et du rapport entre la charge et la masse. Mais l'insuffisance des ressources du laboratoire n'avait pas encore permis à Henri Becquerel de mener à bien cette expérience, lorsque Kaufmann la réalisa avec succès.

Je tiens à souligner que cette méthode d'analyse d'un rayonnement formé de particules électrisées, dont le principe est dû à Henri Becquerel, est celle qui a été employée quelques années plus tard par J.-J. Thomson, dans ses célèbres travaux sur les rayons d'électricité positive.

Il est dû aussi à Henri Becquerel une étude des rayons secondaires émis quand le rayonnement d'un corps radioactif est absorbé par un écran. Nous avons déjà vu, sur un des clichés qui ont été projetés, l'émission de rayons secondaires par un écran en aluminium et nous avons dit quelques mots sur les rayons secondaires provoqués dans le plomb par l'absorption des rayons γ . La déviabilité des rayons secondaires par un champ magnétique a montré qu'il s'agit encore d'électrons : ceux-ci sont arrachés à la matière frappée par les rayons primaires.

Il me reste à indiquer la contribution apportée par Henri Becquerel à l'étude des rayons α . En janvier 1903, Rutherford a annoncé que ces rayons sont faiblement déviables par un champ magnétique intense, et que le sens de la déviation indique un flux de particules chargées d'électricité positive. Aussitôt, Henri Becquerel a réalisé l'expérience suivante :

La matière active est placée dans une rainure linéaire creusée dans un bloc de plomb. A 8 ou 10 mm. au-dessus de cette source est disposé un écran percé d'une fente fine parallèle à la rainure. Une plaque photographique est mise dans une position inclinée comme le représente la figure 12; cette plaque repose sur le plan horizontal qui contient la fente, l'arrête de contact de la plaque étant normale à la fente. Le faisceau de rayons α , plan, donne une trace rectiligne sur la plaque; mais si l'on produit un champ magnétique parallèle à la fente, le faisceau devient cylindrique et coupe la plaque suivant une courbe : par inversion du champ, on a un second arc symétrique du premier. Voici le résultat dans un champ de 20.700 gauss (fig. 13, pl. V).

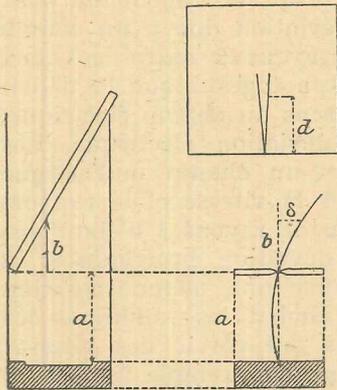


Fig. 12

Le fait nouveau est l'absence de dispersion appréciable, du moins de dispersion qui soit de l'ordre de grandeur de la déviation. Tout au moins en première approximation, les particules α sont monocinétiques, contrairement à ce qui a lieu pour les rayons β : c'est seulement beaucoup plus tard qu'il fut reconnu que

pour la plupart des corps émettant des rayons α , il existe plusieurs groupes auxquels correspondent des vitesses très voisines.

Dès 1900, une étude faite par Marie Curie sur le pouvoir pénétrant des rayons α l'avait conduite à considérer ces rayons comme formés de particules matérielles projetées avec grande vitesse et perdant leur énergie en traversant la matière. En 1905, Rutherford a montré que les particules α (qu'on avait alors identifiées avec des ions d'hélium) deviennent, après leur passage à travers une feuille très mince d'aluminium, plus déviables par un champ magnétique, sans subir de diffusion appréciable, ce qui prouve que l'effet principal produit par la feuille est un simple ralentissement des particules. Le cliché représente figure 14 (pl. V), obtenu par Henri Becquerel avec le dispositif qui a été indiqué plus haut, confirme, par une comparaison directe, le résultat de Rutherford : l'image de gauche est produite par des rayons ayant traversé une feuille d'aluminium de 0,015 mm. d'épaisseur : elle est aussi nette que celle de droite pour laquelle il n'y a pas d'écran; à une même distance de l'origine l'écart des deux courbes symétriques, qui donne la mesure de la déviation magnétique, est légèrement plus grand à gauche qu'à droite (c'est d'ailleurs difficile à voir sans faire de mesures micrométriques).

Nous avons parlé de rayons α et de rayons β émis par une préparation contenant un sel de radium. Ici, il faut éviter une confusion : il a été reconnu plus tard que le noyau de l'élément radium se transforme par émission d'une particule α et n'émet pas d'électron; les rayons β qu'on trouve dans les préparations radifères

PLANCHE V

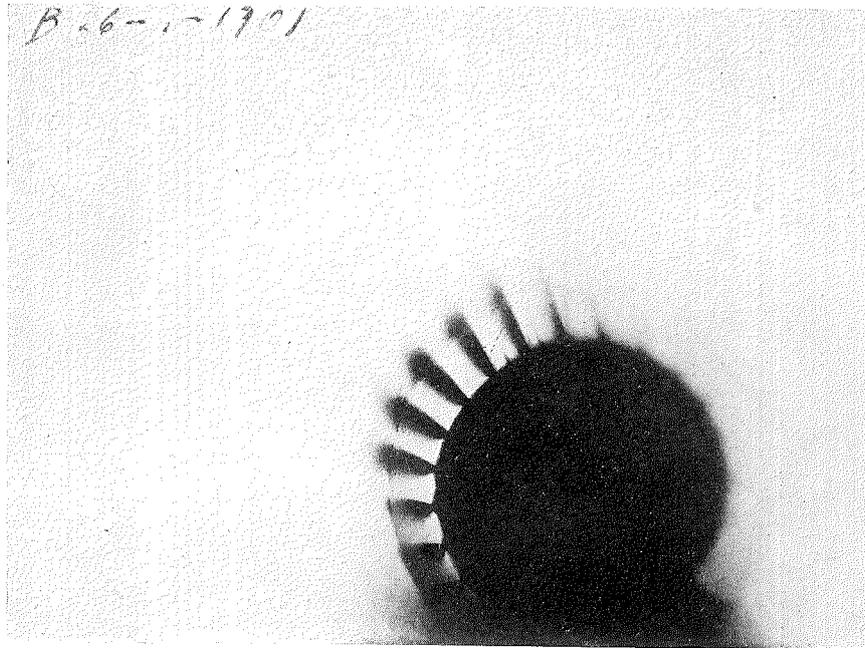


Fig. 11

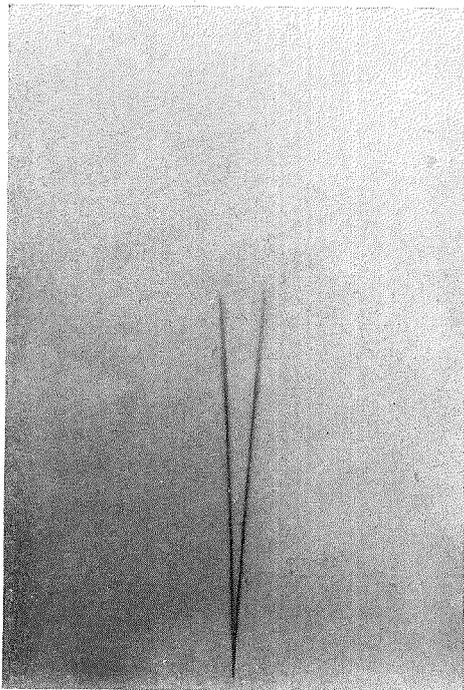


Fig. 13

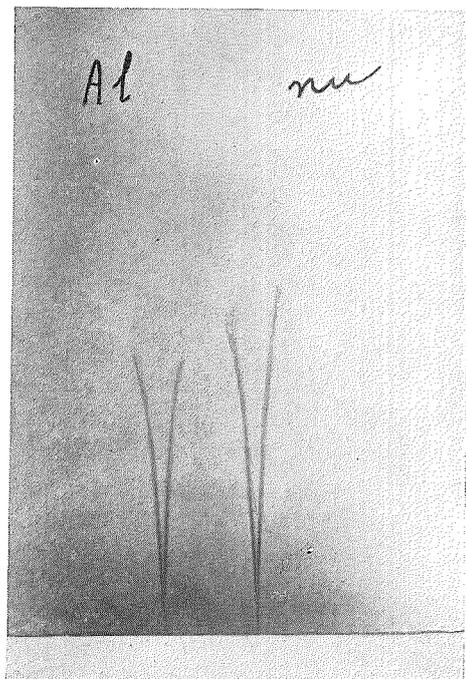


Fig. 14

viennent de produits de transformation, ainsi que de l'enveloppe électronique qui entoure le noyau de radium. De même, l'uranium émet seulement des rayons α très faibles, qui ont échappé aux premières observations; les rayons qui ont été découverts par Henri Becquerel sont des rayons β provenant de produits de transformation qui ont été identifiés chimiquement plus tard et qu'on a désignés par UrX_1 , UrX_2 , UrZ ; mais comme, dans un sel d'uranium, ces produits sont en équilibre radioactif et en proportion constante avec l'uranium qui les engendre, les conclusions données au début concernant le caractère atomique de la radioactivité restent exactes.

Dans l'exposé que je viens de faire, j'ai donné quelques indications sur les dispositifs employés : j'ai voulu, en effet, appeler l'attention sur la rare habileté dont Henri Becquerel a fait preuve. Faute d'appareils que le laboratoire ne pouvait pas acquérir, les crédits *annuels* n'étant que de 2.090 francs, Henri Becquerel faisait lui-même les montages qu'il imaginait, ou les faisait exécuter par Matout.

Voici une figure (fig. 15) qui va sans doute faire sourire les physiciens : elle représente les pièces polaires du vieil électro-aimant avec lequel Henri Becquerel a obtenu ses plus importants résultats sur la déviation des rayons β dans un champ magnétique. Cependant, un peu plus tard, le laboratoire a pu avoir un petit électro-aimant moderne, système Weiss.

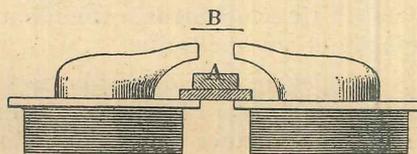


Fig 15

Quant aux locaux, jusqu'à ces dernières années, le laboratoire est resté dans les anciennes écuries de Gay-Lussac et la Maison de Cuvier, qui avaient été données comme laboratoire provisoire lors de la fondation de la chaire de Physique, en 1838. Il faut dire qu'au début de leurs recherches, Pierre et Marie Curie étaient encore plus mal installés.

Je me souviens qu'il y a une quinzaine d'années, à la tribune de la Chambre, un ministre a déclaré que de grandes découvertes ont été faites dans des laboratoires misérables, et que par conséquent les savants n'ont pas besoin d'argent. Cette boutade contient une légère part de vérité, en ce sens que le manque de ressources développe l'ingéniosité. Il est tout de même bien évident que, dans la voie qu'il venait d'ouvrir, Henri Becquerel aurait progressé encore plus vite s'il avait eu un laboratoire bien outillé.

Aujourd'hui, en France, les conditions de travail, sont heureusement en voie d'amélioration, et c'est une nécessité car le développement de la science est tel qu'on ne peut plus se contenter de moyens de fortune. Les laboratoires de physique atomique doivent même tendre à se transformer en usines.

C'est en examinant l'ensemble des progrès accomplis en Physique depuis cinquante ans qu'on se rend compte de l'immense portée de la découverte de la radioactivité. M. le Duc de Broglie devant exposer, cet après-midi, les conséquences de cette découverte, je me bornerai à quelques remarques. La radioactivité a été l'origine de nos connaissances sur la structure des atomes : en effet, l'isolement, par Pierre et Marie Curie, de nouveaux radioéléments, l'étude du rayonnement, la découverte par Rutherford et Soddy de l'évolution radioactive, le sondage des atomes à l'aide des rayons α dû à Rutherford et à ses collaborateurs, ont conduit à la découverte des noyaux atomiques, et à un modèle d'atome imposé par les faits. C'est en appliquant à ce modèle une extension de la théorie quantique, que Bohr a donné sa célèbre théorie, qui a permis tout le développement de la physique atomique : constitution des couches électroniques qui entourent le noyau, compréhension de la plupart des propriétés physiques et chimiques des atomes.

Il est bien certain que d'autres grandes découvertes et d'admirables théories ont été indispensables au développement de la Physique : théorie des quanta (Planck), découverte des photons (Einstein), théorie de la relativité (Einstein), mécanique ondulatoire (Louis de Broglie). Je veux simplement faire remarquer que si la radioactivité avait été ignorée, il est bien probable que nos connaissances sur les atomes seraient restées rudimentaires.

C'est encore l'existence des transformations radioactives qui, en apportant la preuve que les atomes ne sont pas immuables, a provoqué un retour vers la recherche de la transmutation des éléments. Nous remarquons, de plus, que la radioactivité est intervenue aussi dans le procédé d'attaque des éléments, puisque c'est en bombardant les noyaux atomiques par des particules α que Rutherford, en 1919, a réalisé les premières transmutations.

Dans le domaine des transmutations, les progrès ont été rapides, et se sont surtout accélérés depuis la découverte du neutron, suivie de près par la découverte, due à M. et M^{me} Joliot, de la radioactivité artificielle. Des centaines de radioéléments qui n'existent pas dans la nature, peuvent être créés par transmutations. M. le Professeur Strohl vous parlera des applications de certains d'entre eux en biologie et en médecine.

Voici ce que je disais, il y a moins de trois ans, en février 1944, dans une Conférence faite à l'Ecole Polytechnique : « Bien que, jusqu'à présent, les quantités de « matière obtenues par transmutation soient très faibles, déjà les moyens d'attaque « sont hors de proportion avec ceux dont Rutherford se servait il y a vingt-cinq ans, « et il est permis de penser qu'on réussira à passer à des réalisations d'un autre « ordre de grandeur. » Je conclusais : « Il n'est pas invraisemblable de croire qu'un « jour viendra où l'homme saura régler les transformations de la matière et disposer « à son gré d'une partie de l'énergie qu'elle contient : il aura alors une puissance « divine; espérons qu'il aura la sagesse de ne s'en servir que pour le progrès de « la civilisation. »

Ces paroles auraient pu convenir quelques années plus tôt; mais en 1944, le jour attendu était déjà arrivé. Je l'ignorais : les travaux faits pour les besoins de la guerre avaient progressé avec une rapidité prodigieuse, et le secret était bien gardé. Quant au vœu que je formulais au sujet de l'utilisation de l'énergie nucléaire, je le renouvelle aujourd'hui : plus que jamais, il est d'actualité.