

Pourquoi la découverte de la radioactivité naturelle ne pouvait échapper à Henri Becquerel



MICHEL BARQUINS

Comme bien d'autres événements scientifiques, la découverte de la radioactivité par Henri Becquerel est souvent présentée à tort comme le fruit du hasard.

Michel Barquins nous donne ici une nouvelle illustration de la fameuse phrase de Pasteur : « Le hasard ne favorise que les esprits déjà préparés. »

Au-delà, il montre que les idées aussi ont une généalogie. Sa démonstration est particulièrement claire dans le cas présent, puisque la généalogie intellectuelle d'Henri Becquerel recouvre sa généalogie familiale.

Antoine-Henri (dit Henri) Becquerel baigne dès sa naissance, en 1852, dans un univers scientifique enviable. En effet, son père (Alexandre-Edmond, dit Edmond), est un scientifique de grande renommée, professeur de physique appliquée au Conservatoire des arts et métiers, qui travaille avec son propre père, Antoine-César Becquerel (le grand-père de Henri), lequel occupe au Muséum d'histoire naturelle la chaire de physique appliquée aux sciences naturelles, depuis sa création en 1838 par Louis-Philippe. Cette prestigieuse dynastie de savants mérite que l'on s'y attarde quelque peu.

Antoine-César, le grand-père

Antoine-César, le premier de la lignée des Becquerel physiciens, naît le 7 mars 1788 à Chatillon-sur-Loing (aujourd'hui chef-lieu de canton du Loiret appelé Chatillon-Coligny depuis 1896) de l'union de Louis Hector Becquerel de la Chevrotière, royaliste convaincu, et d'Anne Philippe Cornier. Les deux prénoms associés de leur premier fils, Antoine-César, résulte du culte exacerbé de ses parents pour l'Antiquité (leur deuxième fils fut prénommé Antoine !). A la suite de brillantes études au lycée Henri IV sur la montagne Sainte-Geneviève à Paris, Antoine-César intègre l'École polytechnique en 1806. Sorti de cet établissement avec un bon rang en 1808, il part à l'École d'application de l'artillerie et du génie localisée à Metz. Mais, dès décembre 1809, il est appelé comme sous-lieutenant à participer à la campagne napoléonienne contre l'Espagne. Après s'être battu contre les Prussiens, les Autrichiens et les Russes, il se retrouve à 28 ans, marié à Aimé Cécile Darlu, fille de son correspondant à Paris

Michel Barquins est professeur à l'ETSL et directeur de recherche au CNRS (Laboratoire de physique et de mécanique des milieux hétérogènes).

pendant ses études, et scientifique dans l'âme ne sachant pas à quelle branche de la science il pourrait s'intéresser. Il commence par étudier la minéralogie. Ses observations et ses expériences l'amènent à découvrir en 1819 plusieurs formes nouvelles du carbonate de chaux. Il suit assidûment les travaux du réputé cristallographe français l'abbé René-Just Haüy et propose, en 1820, au grand dam de son maître, une loi universelle de la matière sur le dégagement d'électricité par des corps soumis à une pression mécanique. Ce fut le point de départ de ses nombreux travaux sur l'électricité auxquels il consacra un demi-siècle, à l'aide d'appareils qu'il invente pour mieux conduire ses recherches.

A titre d'exemples, Antoine-César énonce dès 1823 les lois fondamentales des phénomènes thermoélectriques. Il invente en 1825 le galvanomètre différentiel, destiné à comparer les conductibilités électriques de différents métaux et, en 1826, le thermomètre électrique, ancêtre du couple thermoélectrique actuel. En 1829, il explique l'origine chimique du fonctionnement de la pile du physicien italien Alessandro Volta (conçue en 1800¹) et invente la pile à deux liquides (appelée par lui « pile cloisonnée ») qui débite un courant constant (1829), invention qui sera indûment attribuée à l'Anglais John Frederic Daniell (1836). Ces travaux l'amènent dès 1833 à mesurer les phénomènes électriques naturels qui prennent naissance à l'intérieur des végétaux, des animaux, des diverses couches terrestres ou aériennes, etc. Il étudie la décomposition des roches, l'attaque par les acides, au travers de phénomènes électriques, de substances réputées insolubles. En 1835, il invente la pile à oxygène, renfermant de la potasse et de l'acide nitrique lui conférant une force électromotrice importante.

En 1838, il est élu président de l'Académie des sciences, dont il était membre depuis 1829, et devient professeur au Muséum, titulaire de la chaire de sciences physiques appliquées aux sciences naturelles, créée par décision de la Chambre des députés le 24 juillet 1838. Il s'installe avec sa famille au 57 de la rue Cuvier dans l'hôtel Debray à Paris et y aménage son laboratoire où lui-même, son fils Edmond (1820-1891), son

petit-fils Henri (1852-1906) et son arrière petit-fils Jean (1878-1953) travailleront.

C'est dans son laboratoire qu'il poursuit avec acharnement ses recherches, sans doute aidé par son fils Edmond. Citons principalement les travaux publiés en 1841 sur la température des tissus des êtres vivants et des sangs artériel et veineux (chez l'homme et les animaux), en 1844, sur l'existence de courants électriques entre des terrains de différentes natures. La même année, il met en œuvre des essais de télégraphie électrique que l'on connaît. En 1846, il met au point la première pile à chlorure d'argent ; en 1848, son intérêt se porte sur les manifestations électriques dans la contraction des muscles ; en 1850, il conçoit des procédés de dépôts épais de nickel et de cobalt sur d'autres métaux afin de les préserver de l'oxydation. Il en résulte un immédiat transfert de technologie dans l'industrie des métaux et de la passementerie. Son exceptionnelle puissance de travail fait qu'il publie de volumineux ouvrages tels que *Traité expérimental de l'électricité et du magnétisme*, *Éléments d'électrochimie*, *Traité de physique considérée dans ses rapports avec la chimie et les sciences naturelles*, *Des climats et de l'influence qu'exercent les sols boisés et non boisés*.

Il s'intéresse effectivement à la météorologie. Il fait ériger plusieurs stations météorologiques à Charme, village dont il est le maire, à Montargis, au domaine de la Jacqueminière appartenant à son fils Edmond, ainsi qu'au Jardin des plantes à Paris. Aidé par Edmond, il étudie les variations de température de l'air selon les saisons et en fonction de la distance plus ou moins proche d'un arbre. Ils mesurent en profondeur la température des sols herbeux et sablonneux. Les travaux effectués lui donneront l'occasion de publier l'ouvrage intitulé *Éléments de physique terrestre et de météorologie*.

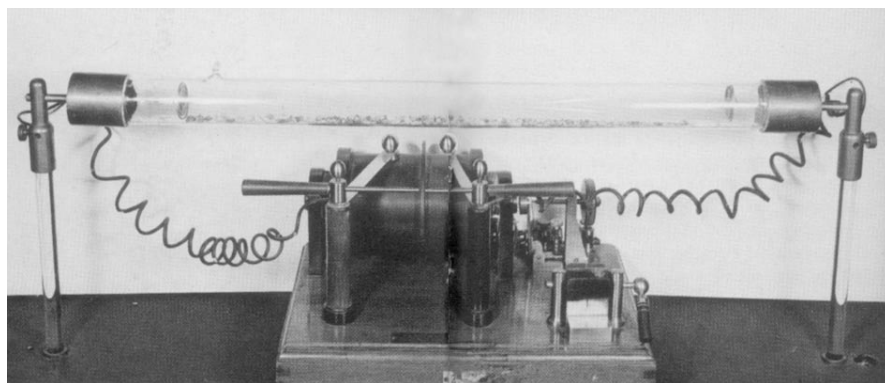
Passant d'un sujet à un autre, Antoine-César et Edmond publient ensemble en 1862 un important mémoire sur la galvanoplastie du nickel et du cobalt. En 1866, Antoine-César publie un document intéressant sur la conservation du fer et du blindage en cuivre des navires dans l'eau de mer. L'année suivante, à la suite d'une manipula-

tion maladroite, mettant en jeu une solution d'un sel de cuivre dans un tube scellé mais fendu, plongé dans une solution de monosulfure de sodium, il découvre fortuitement, en quelque sorte, le phénomène de l'électrocapillarité qui consiste en la cristallisation d'un élément métallique dans des espaces étroits tels que des fentes et des pores. L'ensemble des expériences est réuni dans son ouvrage *Des forces physico-chimiques et de leur intervention dans la production des phénomènes naturels*. Il s'intéressera à tout ce qui concerne l'électrocapillarité jusqu'à sa mort qui survient à Paris le 18 janvier 1878, à l'âge de 90 ans.

Edmond, le père

Antoine-César Becquerel eut trois enfants : le fils aîné Louis-Alfred, né en 1814, choisira la médecine, puis en 1819 naît une fille, Pauline Alexandrine Clotilde qui décéda précocement à l'âge de 22 ans, enfin vint Alexandre-Edmond (dit Edmond), le troisième enfant et futur illustre savant, qui naît le 24 mars 1820 à Paris dans l'actuel 8^e arrondissement (le 1^{er} à l'époque). Dès sa plus tendre enfance, il reçoit bien évidemment une éducation scientifique de très grande qualité. Excellent élève au lycée Bourbon (l'actuel Lycée Condorcet), il est admis en 1837 à l'École normale supérieure puis à l'École polytechnique l'année suivante. C'est à ce moment, sur la recommandation impérieuse de son père, qu'il renonce aux Grandes Ecoles, pour se consacrer aux études universitaires et à l'enseignement en devenant aide-préparateur de son père, récent titulaire de la chaire de physique appliquée aux sciences naturelles au Muséum.

Avec son père, dès 1839, Edmond étudie, en collaboration avec le physicien français Jean-Baptiste Biot, la phosphorescence produite par la lumière électrique. Le mémoire est signé Biot-Becquerel-Edmond Becquerel. Il en sera toujours ainsi chaque fois qu'ils publieront ensemble, ils signeront Becquerel et Edmond Becquerel, le patronyme étant réservé à Antoine-César. L'effet de la lumière en général intrigue Edmond et s'intéresse au daguerréotype, inventé en 1838, qui fait fureur



Expérience réalisée par Edmond Becquerel en 1857 avec un tube à pression gazeuse afin d'étudier la phosphorescence. Phosphorescence et luminescence sont des phénomènes physiques qui ont de tout temps préoccupé les Becquerel depuis Alexandre Edmond jusqu'à son petit-fils Jean, dernier de la lignée des Becquerel scientifiques.

à l'époque. Edmond découvre ainsi l'importance des actions chimiques provoquées par la lumière. En 1840, utilisant des plaques pour daguerréotype exposées à la lumière au travers d'écrans colorés transparents, il démontre que ces écrans absorbent de la lumière et que, de ce fait, cette lumière, flux d'énergie, prend dans le matériau qui l'absorbe la forme d'une énergie électrique, chimique ou encore lumineuse. Comme suite à l'obtention de son doctorat d'Etat ès sciences, il invente l'actinomètre électrochimique, appareil destiné à mesurer l'intensité d'une radiation lumineuse².

À l'image de son père, Edmond ne peut se cantonner dans un domaine scientifique précis et limité. En 1842, il visualise sur une plaque sensible les raies ultraviolettes du spectre solaire et réalise la première photographie de ce spectre. Trente années plus tard, s'intéressant aux composés d'uranium, il visualisera les raies infrarouges. La photographie des couleurs constitue une réelle passion et il entreprend une recherche méthodique dans ce domaine. Cela ne l'empêche pas, en 1843, d'utiliser le galvanomètre différentiel, inventé par son père, pour généraliser la loi de Joule aux liquides. En 1844, devançant le physicien et chimiste anglais Michael Faraday, il énonce la loi fondamentale de la décomposition électrolytique des sels à formule complexe, qui trouve une application industrielle immédiate dans l'électrometallurgie, en permettant d'établir la loi de proportionnalité entre la quantité de

matériau dissout et la quantité de courant nécessaire.

En 1846, il met en évidence l'influence de la chaleur sur la conductibilité électrique. A la suite de Faraday, qui vient de découvrir qu'un champ magnétique fait tourner le plan de polarisation de la lumière, Edmond Becquerel démontre que le pouvoir rotatoire est inversement proportionnel au carré de la longueur d'onde. Voilà donc Edmond s'intéressant au magnétisme. Après quelques années de calculs et de mesures, il établit que les corps subissent plus ou moins intensément l'influence d'un aimant, que celle-là soit attractive ou répulsive. Avec une colossale vision universelle, il conclut que l'énorme masse d'air qui entoure la planète Terre et qui est soumise à de permanentes variations de température et de pression, engendre des phénomènes intervenant dans le magnétisme du globe terrestre.

En 1850, il concourt et obtient la chaire de physique et de météorologie de l'Institut agronomique de Versailles jusqu'à la fermeture de l'établissement en 1852. Sa déception sera de courte durée car, à la fin de l'année 1852, il est nommé professeur de physique appliquée au Conservatoire des arts et métiers à Paris³. Entre-temps, Edmond épouse à Paris le 24 juin 1851 Aurélie Quénard qui lui donnera un fils l'année suivante : il est prénommé Antoine Henri (dit Henri) et fera beaucoup parler de lui ! Edmond et sa famille s'installe chez son père Antoine-César, rue Cuvier à Paris,

afin de poursuivre leur précieuse et complice collaboration.

Durant cette période, les travaux majeurs d'Edmond concernent la luminescence⁴, et plus particulièrement la phosphorescence. A l'époque, le mécanisme n'est pas parfaitement compris ; on pense que de l'énergie est capturée pendant une exposition à une source lumineuse et qu'elle est ensuite restituée au cours du temps, et cela plus ou moins rapidement. Phosphorescence et fluorescence sont des phénomènes physiques qui ont de tout temps préoccupé les Becquerel depuis Alexandre Edmond jusqu'à son petit-fils Jean⁵, dernier de la lignée des Becquerel scientifiques.

C'est en 1857 qu'Edmond Becquerel commence à publier certains de ses travaux sur les modes de préparation de matériaux phosphorescents tels que les sulfures de baryum, de strontium et de calcium qui doivent leur propriété à la présence d'impuretés. A titre d'exemple, une trace de manganèse dans le sulfure de calcium fournit des corps lumineux rouges et jaunes. En introduisant cette substance dans un tube à vide, dans lequel il produit une décharge électrique, il obtient une phosphorescence intense qui persiste pendant plusieurs heures. Pour mieux étudier ce phénomène il construit en 1858 un appareil de conception simple qu'il appelle phosphoscope et qui lui permet d'éclairer une substance pendant un instant plus ou moins long pour ensuite détecter, dans l'instant suivant, sa phosphorescence éventuelle. Il constate ainsi que chaque substance, qui possède cette propriété, émet un spectre lumineux qui lui est caractéristique et qui dépend de la composition chimique et de la température. Il met en évidence que la chaleur active la phosphorescence mais en réduit la durée, tout en modifiant la couleur de la lumière émise.

En 1869, Edmond publie un énorme ouvrage, en deux tomes, intitulé *La lumière, ses causes et ses effets*. Pour ce qui concerne l'étude de la phosphorescence, il se limite à partir de 1872 aux seuls composés d'uranium qui sont utilisés à la fabrication de verres jaunes aux reflets verts, à la décoration sur porcelaine et à rendre visibles des rayonnements de cour-

tes longueurs d'onde. Ces composés d'uranium, dont on a déjà constaté la toxicité sur les animaux, sont des oxydes issus de la pechblende extraite à Saint-Joachimsthal en Bohême, des phosphates tirés de l'uranite d'Autun en France et des vanadates contenus dans la carnotite extraite de deux mines des Etats-Unis d'Amérique localisées dans le Colorado et l'Utah.

L'uranium, auquel s'intéresse Edmond Becquerel, n'existe pas en tant que métal à l'état libre dans les minerais. Le chimiste et minéralogiste allemand Martin Heinrich Klaproth croit l'avoir isolé au sein de la pechblende en 1789, il l'appelle « uranite ». En fait, il faut attendre 1842 pour que le chimiste français Eugène Péligot démontre que l'uranite est un composé d'oxygène et d'un métal qu'il dénomme « uranium ». C'est donc trente ans plus tard qu'Edmond se lance dans l'étude des spectres d'émission des différents composés d'uranium. On comprend dès maintenant pourquoi Henri Becquerel, qui n'a que 20 ans en 1872, se préoccupera le moment venu des composés d'uranium et fera l'extraordinaire découverte qu'on lui connaît.

A la mort subite de son père Antoine-César, le 18 janvier 1878 à Paris, il lui succède comme professeur au Muséum d'histoire naturelle et devient président de l'Académie des sciences en 1880. En 1881, il est fait commandeur dans l'ordre de la Légion d'honneur, comme le fut son père en 1866. Esprit original, profond et inventif, Edmond Becquerel décède à Paris le 14 mai 1891, à l'âge de 71 ans.

Henri Becquerel, le découvreur de la radioactivité naturelle

Antoine Henri Becquerel naît le mercredi 15 décembre 1852 à Paris au domicile des Becquerel, 57 rue Cuvier. Dans le courant de sa cinquième année naît son frère André Paul dont on ne sait rien de particulier. Après de brillantes études au Lycée Louis-le-Grand, il entre à l'Ecole polytechnique le 1^{er} octobre 1872 puis, deux années plus tard, il rejoint son Ecole d'application,

l'Ecole des Ponts et Chaussées. Du fait de son environnement familial particulier, il entreprend des recherches au Muséum où enseigne son père Edmond. En 1875, il publie les résultats de ses travaux qui donneront naissance à la branche de la physique que l'on dénomme magnéto-optique. A la suite du lien existant entre l'électromagnétisme et l'optique, mis en évidence par Faraday, et après un nombre très important de mesures, il établit une loi de proportionnalité entre le pouvoir rotatoire magnétique et l'indice de réfraction du milieu considéré. Ce travail, très remarqué, lui vaut d'être nommé en juin 1876, répétiteur auxiliaire de physique à l'Ecole polytechnique. En poursuivant son étude, il s'aperçoit que la loi de proportionnalité n'est pas parfaite car elle ne s'applique pas rigoureusement pour des corps appartenant à des familles chimiques différentes. Il en déduit une influence magnétique des molécules et cela d'autant plus intensément que les substances sont d'autant plus magnétiques. Il montre ainsi que les substances magnétiques font tourner le plan de polarisation dans le sens inverse de celui des autres corps. De plus, les rotations ne varient pas avec l'inverse du carré de la longueur d'onde (comme l'avait établi son père Edmond) mais avec celui de la puissance quatrième. Il montre également que dans le cas des substances magnétiques dissoutes, les rotations sont proportionnelles au carré de la concentration.

Amoureux depuis longtemps de Lucie Marie Zoé Jamin, la fille de son professeur de physique à l'Ecole polytechnique, Jules Célestin Jamin, il l'épouse le 15 janvier 1877. De cette union naîtra le 17 février 1878 un fils, Jean (qui mourra sans descendance le 4 juillet 1953). Ce bonheur sera de courte durée, car son épouse, qui se remet difficilement de ses couches, décède le 16 mars suivant, à l'âge de 21 ans. Son malheur le plonge dans une activité hors du commun de recherche et d'enseignement. Il remplace, comme aide naturaliste, son père Edmond qui vient d'être nommé professeur en remplacement du grand-père, Antoine-César, récemment décédé.

Chercheur d'une puissance de travail considérable, Henri Becquerel est, de plus, un fin expéri-

mentateur. Son habileté lui permet de confectionner des petits appareillages, bien utiles pour mener à bien ses travaux, compte tenu de la pauvreté du laboratoire. Ses qualités, reconnues, font qu'il est nommé le 26 octobre 1882, répétiteur adjoint de physique à l'École polytechnique. Dans le même temps, il est fait chevalier dans l'ordre national de la Légion d'honneur. Il poursuit ses travaux sur la polarisation rotatoire magnétique, ainsi que sur les variations des spectres d'absorption de la lumière. Edmond, son père, qui visualisa des rayons ultraviolets en 1842 et des raies infrarouges du spectre solaire en 1872, avait constaté, dès 1873, qu'une substance phosphorescente perdait sa propriété lorsqu'elle était soumise à un rayonnement infrarouge. Henri trouve l'explication et découvre que ce rayonnement n'éteint la phosphorescence qu'après l'avoir fortement exacerbée, tout comme le provoque une élévation de température. La qualité de ses recherches lui permettent de soutenir sa thèse de doctorat d'Etat ès sciences physiques le 15 mars 1888.

L'étude des phénomènes de phosphorescence et des spectres d'absorption de la lumière ne va plus le quitter. Il donne la loi de distribution des bandes des spectres de phosphorescence des composés d'uranium (au nombre de sept ou huit, découvertes par son père). Il annonce que les bandes d'absorption des substances uraniques non phosphorescentes suivent la même loi de distribution. Ses recherches sur l'étude de l'absorption de la lumière dans de nombreux corps relevant des différents systèmes cristallographiques connus aujourd'hui, mènent à une méthode d'analyse spectrale nouvelle, permettant de distinguer les différents composants élémentaires d'un cristal sans compromettre son intégrité. Travail énorme et incontesté qui le conduit à l'honneur d'être reçu, le 27 mai 1889 à l'âge de 36 ans, membre de l'Académie des sciences où siège déjà son père Edmond.

Le 2 avril 1890, la mère de Henri décède, il doit donc s'occuper seul de son fils Jean, âgé de 12 ans, dont la santé est fragile. A la même époque, Henri rencontre Louise Désirée Lorieux habitant chez ses parents à Paris, de douze ans sa

cadette. Il l'épouse en août 1890. Elle est la bienvenue pour participer à l'éducation de Jean, au domicile des Becquerel, d'autant plus qu'Edmond décède quelque neuf mois plus tard, le 14 mai 1891, des suites d'une pneumonie grip-pale. Louise, Henri et Jean quittent alors la maison peu confortable du Muséum pour s'installer non loin de là, boulevard Saint-Germain. Par suite du décès de son père, les chaires de professeur de physique au Muséum d'histoire naturelle et au Conservatoire des arts et métiers sont vacantes. Dès 1891, il assumera ces deux fonctions en même temps que son poste de répétiteur à l'École polytechnique.

Henri, qui n'a pas cessé de travailler, publie avec le chimiste Henri Moissan un travail sur un certain type de fluorine qui contient du fluor à l'état libre. Dans le même temps, il décrit les évolutions des spectres de phosphorescence émis par des minéraux que l'on chauffe. Il constate que l'excitation de la phosphorescence par la lumière ou par la chaleur donne bien les mêmes bandes brillantes mais avec un ordre d'apparition et des intensités relatives différents. Il en conclut habilement que ces écarts sont caractéristiques des éléments constitutifs des substances étudiées. En plus de son intérêt permanent pour la phosphorescence, le magnétisme ou encore la chimie, il se passionne, comme ses ancêtres, pour la météorologie. On retrouvera un cahier où il nota chaque jour, jusqu'à sa mort en 1908, l'état du ciel et la température à 6 heures, 9 heures et 15 heures. En ces années 1890-1891, il étudie la vitesse de propagation de la gelée à l'intérieur d'une couche de neige recouvrant le sol. A cette occasion, il vérifie la théorie de Fourier sur la propagation de la chaleur dans les corps solides en mesurant la température dans le sol à différentes profondeurs. En 1894, la chaire de physique à l'École polytechnique se trouve vacante par suite de la maladie de son titulaire, Alfred Potier, académicien reconnu pour ces travaux en optique et en électricité. Henri postule et est nommé, non sans quelques remous, professeur de physique et prend ses fonctions le 27 janvier 1895, qu'il assurera jusqu'à sa mort en 1908.

Pendant quasiment vingt années,

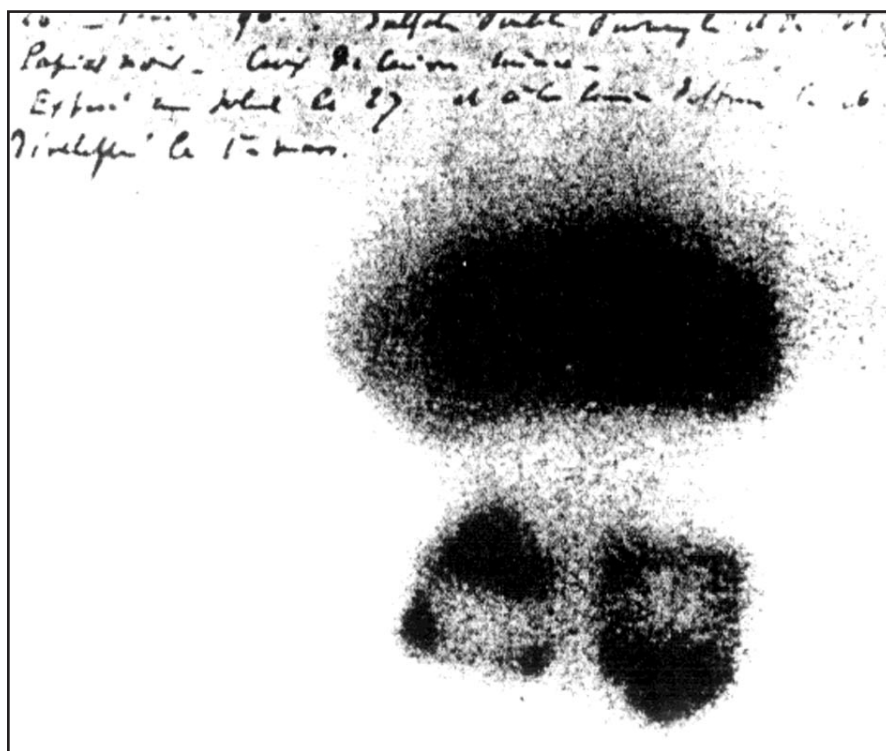
de 1875 à 1896, Henri Becquerel s'intéresse à la recherche pure, académique, sans chercher d'application immédiate. Il passe son temps à observer, mesurer et réfléchir alors que tout autour de lui, et dans tous les domaines, le monde technologique évolue très rapidement : mécanisation des machines agraires, utilisation d'engrais artificiels, bouleversement considérable dans le domaine des transports qui voit des locomotives atteindre des vitesses inimaginables jusqu'alors, invention de la bicyclette avec des pneumatiques, de l'automobile à essence, des tramways électriques, de l'avion Eole, de la télégraphie, du téléphone, du premier feu rouge fonctionnant au gaz de ville, création de la microbiologie d'où naissent les sérums préventifs antidiphtérique, antitétanique, antipesteux, anticharbonneux, anticholérique, préconisation de la pasteurisation du vin et de la bière, sans oublier l'invention de la margarine, du jean et du Coca-Cola. Pendant ce temps là, Henri Becquerel poursuit, en particulier au Muséum, des expériences sur la phosphorescence des composés d'uranium, qui peuvent paraître anodines, mais qui aboutiront à une découverte véritablement retentissante le 1^{er} mars 1896, c'était un dimanche.

Revenons quelques semaines en arrière, aux séances publiques de l'Académie des sciences, dont Henri Becquerel était un membre assidu, et plus particulièrement à celle du lundi 20 janvier 1896. En accord avec le président de l'Académie, Alfred Cornu, et de ses deux secrétaires perpétuels, Joseph Bertrand et Marcelin Berthelot, le mathématicien Henri Poincaré présente la découverte fortuite des rayons x (x-Strahlen) effectuée en novembre 1895 par Wilhelm Conrad Röntgen, professeur à l'université de Würzburg en Allemagne. Il fait circuler des photographies obtenues par le physicien allemand ainsi que celle réalisée par les docteurs Oudin et Barthélémy qui représente les os d'une main. Cette découverte de Röntgen, de portée considérable, lui vaudra le premier prix Nobel de physique en 1901. A la fin de la séance, Henri Becquerel, spécialiste comme son père des phénomènes de luminescence (fluorescence et phosphorescence), s'informe auprès

de son collègue Henri Poincaré de la localisation de la zone du tube de Crookes-Hittorf qui émet les rayons de Röntgen. Ils tombent d'accord sur le fait qu'il s'agit de la partie frappée par les rayons cathodiques (faisceau d'électrons) qui fait que le verre devient fluorescent et ils se posent naturellement la question de savoir si d'autres corps que le verre, rendus fluorescents, n'émettent pas eux aussi un rayonnement invisible et pénétrant tels que les rayons X. Cette idée va germer dans l'esprit de Becquerel, qui pense bien évidemment aux composés d'uranium qui ont déjà fait l'objet de tant d'études.

En début de matinée, le 24 février 1896, dans son laboratoire du Muséum, rue Cuvier, il réalise, comme suite à ses discussions avec Henri Poincaré, l'expérience suivante⁶ : il enveloppe à l'aide de deux feuilles épaisses de papier noir une plaque photographique Lumière, au gélatino-bromure d'argent, afin que la plaque ne se voile pas aux rayons du soleil. Il pose sur cet assemblage deux lamelles de sulfate double d'uranium et de potassium [SO₄(UO)K, H₂O], qu'il avait préparé quinze ans plus tôt avec son père. Ce sulfate, connu pour sa propriété de phosphorescence après exposition aux rayons solaires, est inaltérable à l'air. Il lui avait fallu préalablement récupérer ces lamelles qu'il avait prêtées à son confrère de l'Académie des sciences Gabriel Lippmann, qui cherchait à obtenir une photographie interférentielle. Henri Becquerel ajoute dans sa Note⁷ : « Si l'on interpose entre la substance phosphorescente et le papier une pièce de monnaie, ou un écran métallique percé d'un dessin à jour, on voit l'image de ces objets apparaître sur le cliché », l'ensemble ayant été préalablement exposé au soleil avant développement de la plaque photographique. La lumière étant nécessaire pour provoquer la phosphorescence, il pense donc qu'elle l'est également pour provoquer tout autre rayonnement.

Dans la même Note, il précise ensuite qu'il recommence l'expérience après avoir remplacé la pièce de monnaie par une lamelle de verre, « ce qui exclut la possibilité d'une action chimique due à des vapeurs qui pourraient émaner de la substance chauffée par les rayons solaires » ; à



Becquerel découvre que ces plaques abandonnées dans un tiroir font apparaître dans le révélateur les images des lamelles de sels d'uranium et des croix en cuivre avec une intensité beaucoup plus grande que dans les expériences antérieures.

nouveau une impression de la plaque est visible mais plus légèrement que précédemment. Il en conclut à la fois qu'un rayonnement nouveau est émis par les composés d'uranium, capable de traverser le papier noir opaque et qu'il est absorbé partiellement par la lamelle de verre, avant réduction des sels d'argent. Henri Becquerel est ainsi en mesure d'annoncer à l'Académie des sciences sa découverte à la séance du 24 février 1896.

Les jours suivants, il améliore son montage en remplaçant le papier noir par des châssis opaques en toile noire dans lesquels sont enfermées les plaques photographiques. Il place des lames de cuivre en forme de croix d'épaisseurs variées entre les châssis et les lamelles de sulfate double d'uranium et de potassium. L'exposition au soleil produit sur la plaque des traces légères des lamelles et des croix⁷, une lame de cuivre de moindre épaisseur affaiblissant moins l'intensité des radiations actives. Il précise dans cette même Note que si la phosphorescence n'est plus provoquée par des rayons solaires directs mais « par les radiations

solaires réfléchies sur le miroir métallique d'un héliostat, puis réfractées par un prisme et une lentilles de quartz », elle donne lieu aux mêmes phénomènes.

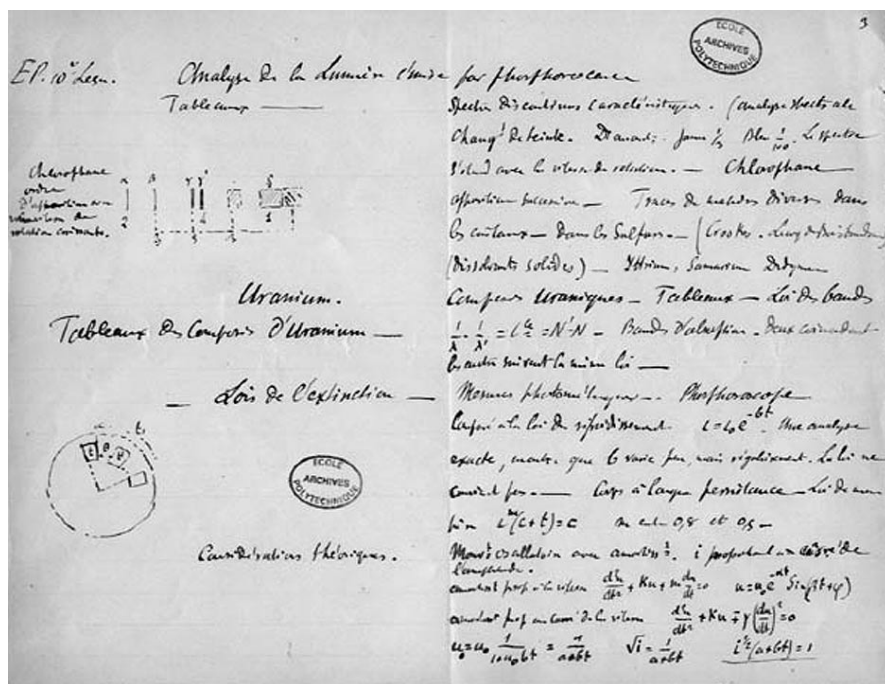
La réalisation d'autres expériences est perturbée par les apparitions trop intermittentes du soleil. Les châssis, avec en place les croix de cuivre et les lamelles de composés d'uranium, sont ainsi rangés dans un tiroir dans l'attente de jours meilleurs. Le dimanche 1^{er} mars 1896, le soleil s'installe pour de bon, il est donc temps de reprendre les expériences. Il retrouve les châssis préparés les mercredi 26 et jeudi 27 février, mais, dans un souci de rigueur, il décide de remplacer les plaques afin de se placer dans les mêmes conditions qu'auparavant, à savoir un temps d'exposition au soleil de quatre heures. Les choses auraient pu en rester là, mais ...

... Henri Becquerel est un expérimentateur aux qualités exceptionnelles : au lieu de jeter les plaques remplacées, il décide de les développer. C'est là qu'il découvre que ces plaques abandonnées dans un tiroir font apparaître dans le

révélateur les images des lamelles de sels d'uranium et des croix en cuivre avec une intensité beaucoup plus grande que dans les expériences antérieures. Sa première réaction est de croire que l'action initiale de la lumière, de faible ampleur du fait du manque de soleil, s'est poursuivie à l'abri de toute lumière excitatrice. Mais l'intensité est trop importante, il s'agit donc d'autre chose.

Pour en avoir le cœur net, il recommence ses expériences dans la chambre noire : une lamelle convexe de sel d'uranium est posée sur la face sensible d'une plaque photographique, ne la touchant qu'en quelques points et, à côté, la lamelle est séparée de la plaque photographique par une lame mince de verre. Le tout est enfermé dans une boîte de carton opaque et entreposé dans un tiroir pendant cinq heures. Les résultats du développement des plaques photographiques lui font écrire dans sa deuxième Note : « Les mêmes lamelles cristallines (sulfate double de potassium et d'uranium), 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. » Il constate de plus que l'action du sulfate double sur les sels d'argent est légèrement plus prononcée pour les points directement en contact avec la gélatine que pour ceux s'écartant d'environ un millimètre, du fait de la convexité de la lamelle. De même, il apparaît que la présence de la lame mince de verre affaiblit très légèrement le noircissement de la plaque photographique. Il en conclut que tout se passe comme si la phosphorescence était possible dans l'obscurité.

Le lundi 2 mars, à l'Académie des sciences, il décrit les expériences qui font l'objet de sa deuxième Note et propose, sans trop y croire, l'hypothèse que les effets des radiations qu'il vient de mettre en évidence ont une grande analogie avec ceux des radiations étudiées par les allemands Philipp Lenard et Conrad Röntgen. « Il s'agirait de radiations invisibles émises par phosphorescence et dont la durée de persistance serait infiniment plus grande que la durée de persistance des radiations lumineuses émises par ces corps. »



Henri Becquerel découvre la radioactivité le 1^{er} mars 1896. Deux ans après, il y fait brièvement allusion dans le texte imprimé du cours de physique qu'il enseigne à l'Ecole polytechnique depuis 1876. Ses manuscrits préparatoires à ce cours comportent notamment une liasse datée de 1893, dans laquelle ce feuillet intitulé « E.P. 10^{ème} leçon. Analyse de la lumière émise par phosphorescence » fait mention de l'« Uranium » et des « composés uraniques ».

Il préfère conclure que l'atome d'uranium présente une propriété particulière qu'il appelle « activité radiante » et avoue ignorer tout de ce nouveau rayonnement. Becquerel venait de découvrir ce que, deux ans plus tard, Marie Curie dénommera la radioactivité.

Conditionné par le travail qu'il avait mené avec son père Edmond, Henri Becquerel reste persuadé que cette activité radiante résulte du mécanisme de phosphorescence de longue durée émise par les composés d'uranium. En vue de se conformer aux idées de l'époque, en particulier à l'invariabilité de l'atome, ce qui signifie que toute émission spontanée d'énergie impose la transformation de l'atome, il suppose que l'uranium constitutif du sulfate double d'uranium et de potassium, avant d'être mis dans l'obscurité, a emmagasiné une très grande quantité d'énergie qu'il restitue sous la forme d'un nouveau rayonnement, dont l'émission doit s'épuiser au cours du temps.

Dans les jours qui suivent ce 2 mars 1896, Becquerel étudie le comportement d'autres compo-

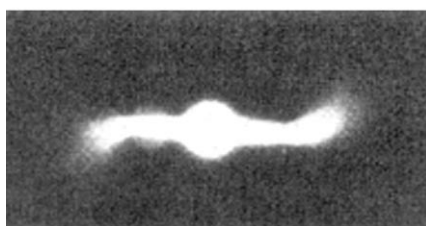
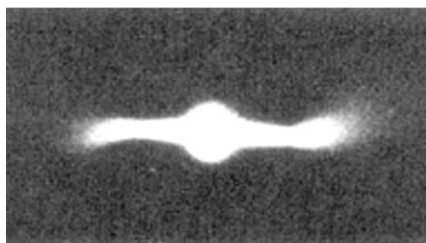
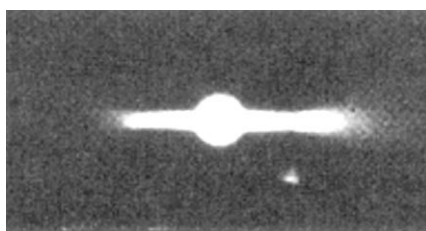
sés d'uranium. Il constate que le rayonnement émis est de même nature que précédemment, que son intensité varie dans le même sens que la concentration en uranium, et que l'activité radiante ne diminue pas au cours du temps. C'est le 7 mars qu'il découvre que le rayonnement uranique, ou les « rayons de Becquerel » comme disent amicalement ses collègues, provoque la décharge des corps électrisés, de la même manière que les rayons X, comme l'a montré un mois auparavant le physicien anglais Joseph John Thomson. L'air ambiant est rendu conducteur de l'électricité (on parle aujourd'hui de gaz ionisé) par l'activité radiante de l'uranium et les rayons X, de sorte que les corps électrisés perdent leur charge.

A partir du 9 mars 1896, l'utilisation intensive de l'électroscope à feuilles d'or mis au point par M. Hurmuzescu, que lui prête l'astronome français Henri Deslandres, camarade de classe au Lycée Louis-le-Grand, lui permet de passer du qualitatif au quantitatif en mesurant l'énergie des rayonnements émis. Il dé-

montre clairement que les énergies sont directement proportionnelles à la concentration en uranium dans le sel testé, résultat qu'il annonce le lundi 23 mars à l'Académie des sciences. Il reste une inconnue d'importance : l'origine du rayonnement. Becquerel entreprend alors des expériences minutieuses qu'il expose à l'Académie le 18 mai, indiquant que les sels d'uranium, qu'ils soient ou non phosphorescents, cristallisés, fondus ou encore dissous, donnent des résultats comparables.

Avec l'aide du chimiste français Henri Moissan, inventeur du four à arc industriel qui permettait à l'époque la fusion de plusieurs oxydes métalliques, il dispose de quelques échantillons d'uranium pur qui présente un rayonnement plus intense. Il attend que Moissan (futur prix Nobel de chimie en 1906) ait publié ses propres travaux sur la préparation et les propriétés de l'uranium⁸ pour présenter ensemble à l'Académie, le lundi 23 novembre 1896⁹, leurs propres résultats. Becquerel insiste, lors de cet exposé, sur l'émission par l'uranium de radiations actives qu'il appelle « rayons uraniques » issus d'une phosphorescence invisible et empruntant leur énergie à une source inconnue. Le 12 avril 1897 il indique, dans une *Note* aux Comptes rendus de l'Académie des sciences que l'intensité du rayonnement de l'uranium est restée constante pendant plus d'une année. Ce qui n'est pas étonnant aujourd'hui puisque le constituant principal de l'uranium naturel est l'isotope 238 (avec une teneur de 99,3 %) dont la période, égale à l'âge de la Terre, vaut 4,5 milliards d'années.

Becquerel met alors provisoirement en sommeil son étude des rayons uraniques, pensant avoir épuisé le sujet. Il existe également une autre raison. En effet, Henri Becquerel, pendant cette folle année 1896, s'est toujours tenu au courant des travaux de ses collègues français et étrangers, en particulier de ceux du physicien néerlandais Pieter Zeeman (futur prix Nobel de physique en 1902, avec son compatriote Hendrik Antoon Lorentz) qui découvrit en 1896 l'effet qui porte son nom. L'effet Zeeman traduit les variations de fréquence et la décomposition des raies spectrales émises par les atomes sous l'action d'un champ magnétique. Cette interaction entre



En 1899, Becquerel montre qu'un champ magnétique dévie les rayons de radium. En haut, les rayons s'échappent par les deux ouvertures du tube de radium. Au milieu, le tube se trouve sur une surface électromagnétique et, en dessous, avec un aimant puissant.

la lumière et le champ magnétique avait toujours passionné Becquerel, perpétuellement préoccupé par la constitution de la matière. Il se consacre ainsi à l'étude de l'effet Zeeman qu'il prétend n'avoir pu découvrir lui-même, faute d'un équipement assez peu performant (électro-aimant pas assez puissant et spectroscopes non suffisamment dispersifs). Les laboratoires français étaient en effet caractérisés à l'époque, et cela jusqu'à la Deuxième Guerre mondiale, par un extrême dénuement.

C'est Lorentz qui élabore la théorie de l'effet Zeeman, expliquant que les mouvements lumineux proviennent des déplacements des corpuscules électrisés semblables à ceux présents dans les rayons cathodiques, c'est-à-dire les électrons. Becquerel entreprend, avec opiniâtreté, de très nombreuses expériences qui lui permettent, en particulier, de mettre en

évidence en 1899, pour la vapeur de sodium, que la rotation magnétique observée près des bandes d'absorption est une conséquence directe de l'effet Zeeman.

Pendant ce temps, Pierre et Marie Curie travaillent d'arrache-pied. Depuis la fin de l'année 1897, ils recherchent s'il existe d'autres matériaux doués de la même propriété que l'uranium d'émettre spontanément des radiations. Ils sont ainsi amenés à constater qu'un minerai de pechblende (oxyde d'urane) émet le même rayonnement que l'uranium et présente une activité quatre fois plus forte que celle du métal : le minerai contient donc un constituant plus actif que l'uranium. Ces premiers résultats sont présentés à l'Académie des sciences le 18 avril 1898, et c'est précisément pour qualifier cette propriété que présentent certains éléments chimiques lourds d'émettre un rayonnement que Marie Curie propose le nom de « radioactivité ».

C'est après un travail exténuant de séparation chimique que vont être découverts deux nouveaux éléments. Le 18 juillet 1898, les Curie annoncent la découverte d'un élément présentant des propriétés chimiques voisines de celle du bismuth, il est appelé polonium, pour faire référence au pays natal de Marie Skłodowska, épouse Curie. On sait aujourd'hui qu'il s'agit de l'isotope 210, de période 138 jours. Aidés par le chimiste français Gustave Bémont, les Curie découvrent au sein de la pechblende un autre corps radioactif dont les propriétés chimiques sont proches de celles du baryum. On lui donne le nom de radium et sa découverte est annoncée dans une *Note* à l'Académie des sciences datée du 26 décembre 1898. Il s'agit de l'isotope 226 du radium dont la période est de l'ordre de 1 600 ans.

Au mois de mars 1899, aidé par son assistant Louis Matout, Henri Becquerel reprend ses expériences sur le rayonnement des matériaux radioactifs. A cette époque, les recherches en France, comme à l'étranger vont prendre trois directions principales :

1. La découverte d'autres corps radioactifs. C'est le cas du chimiste français André Debierne qui découvre dans un résidu de pechblende l'élément appelé « actinium ».

2. L'étude de la nature et des pro-

↳ priétés des rayonnements émis.

3. Comprendre le phénomène de la radioactivité afin d'en connaître les causes.

Pour qu'Henri Becquerel reprenne ses études, Pierre Curie lui remet quelques centigrammes de sulfure de bismuth contenant du polonium et également quelques centigrammes de carbonate de baryum contenant du radium. Becquerel met ainsi en évidence que ces substances émettent des rayonnements de nature différente. A la séance du lundi 27 mars 1899, à l'Académie des sciences, Becquerel présente ses résultats et évoque les travaux d'un jeune physicien anglais d'origine néo-zélandaise, Ernest Rutherford, qui vient d'achever sa thèse à Cambridge sous la direction de Joseph John Thomson, travaux qui portent sur la découverte de deux rayonnements différents, l'un très absorbable, qu'il appelle α et l'autre plus pénétrant qu'il nomme β . Ses dénominations mettront un certain temps à être acceptées, on leur préfère en France l'appellation rayonnement « non déviable » pour le premier, car on ne parvient pas à dévier ces rayons très absorbables par un champ magnétique et par un champ électrique. On parle de rayonnement « déviable » pour celui qui est le plus pénétrant et qui peut être facilement courbé dans un champ magnétique. On constate aussi qu'il est de même nature que les rayons cathodiques (électrons) mais de plus grande énergie.

En mars 1900, Pierre et Marie Curie mettent en évidence que la charge électrique des rayons déviables est négative et Henri Becquerel, quelques jours plus tard, déclare que ces rayons transportent de la matière. Il faudra attendre 1902 pour que Rutherford réussisse à dévier le rayonnement α et démontrer par là même qu'il s'agit de rayons corpusculaires qui sont plus lourds que l'électron et qui sont porteurs d'une charge positive, tout comme les rayons mis en évidence par l'allemand Eugen Goldstein dans les tubes à décharge. Rutherford montrera en 1909, avec son compatriote Thomas Royds, qu'il s'agit de noyaux d'hélium.

En novembre 1899, les Curie avaient mis en évidence la propriété particulière du radium de rendre radioactifs des métaux tels que le zinc, l'aluminium, le plomb, le bismuth

et même une feuille de papier, qui sont exposés au rayonnement émis par le radium. Pierre et Marie Curie parlaient alors de « radioactivité induite » par le radium qui persiste pendant des durées assez longues. Les choses vont vite. Il existe une belle émulation entre les Français Henri Becquerel, Pierre et Marie Curie, Paul Ulrich Villard – lequel découvre en avril 1900 qu'une composante non déviable du rayonnement du radium se comporte comme les rayons x (ce seront les rayons γ) – et les collègues étrangers. Ainsi, Ernest Rutherford trouve que des sels de thorium émettent une espèce de « vapeur » radioactive (il s'agit du gaz appelé thoron, qu'il réussit à liquéfier avec son compatriote Frederick Soddy) qui laisse un dépôt lui-même radioactif. De même, l'allemand Fritz Giesel qui mène parallèlement et indépendamment de Becquerel une étude sur le rayonnement du radium, en faisant agir un champ magnétique, montre sur une plaque photographique les traces nettement distinctes de deux rayonnements dont les pouvoirs pénétrants sont différents.

En juillet 1900, Becquerel constate que ses tentatives de purification de l'uranium conduisent à un produit de moins en moins actif, ce qui lui pose bien évidemment problème. Il en déduit que l'uranium présente éventuellement une activité qui lui est propre, ou qu'il est inactif à l'état pur, son activité provenant de l'intervention d'une impureté qu'il élimine progressivement dans l'opération de purification. Il faut savoir que la même mésaventure était arrivée deux mois plus tôt à son collègue anglais Williams Crookes qui, lui, avait séparé l'impureté très active. Il l'appela, faute de mieux, « uranium x », dont on sait de nos jours qu'il s'agit du thorium 234, premier descendant de l'uranium 238 par désintégration α . De son côté, Becquerel fut rassuré que son uranium avait récupéré toute son activité initiale.

Compte tenu de la période extrêmement longue de l'isotope 238 de l'uranium (4,5 milliards d'années) devant celle très courte, comparativement, de l'isotope 234 du thorium (24 jours), ces deux isotopes sont en équilibre radioactif, c'est-à-dire qu'ils ont la même activité.

En d'autres termes, ils émettent la même quantité de rayons par unité de temps avec la différence notable que l'uranium 238 émet des α très absorbables tandis que le thorium 234 émet des β très pénétrants. De ce fait, les rayons uraniques découverts par Henri Becquerel savèrent, quatre ans plus tard, être les rayons β de l'uranium $x1$ (thorium 234) et aussi ceux de l'uranium $x2$ (protactinium 234, de période de l'ordre de la minute) et non pas les rayons α de l'uranium 238. C'est la raison pour laquelle on peut affirmer aujourd'hui que c'est seulement au début du xx^e siècle que Becquerel comprend le phénomène de radioactivité qu'il découvre presque fortuitement le 1^{er} mars 1896, et abandonne l'idée première de l'existence d'une phosphorescence invisible. Il faudra attendre 1902 pour que les deux compatriotes anglais Ernest Rutherford et Frederick Soddy montrent à Montréal que la radioactivité est l'expression de la transmutation spontanée d'un élément chimique en un autre.

Le 3 avril 1901, Henri Becquerel fait à son corps défendant l'expérience de la nocivité de l'action des rayonnements du radium sur le corps humain. Se rendant à une conférence qu'il doit présenter, il emporte avec lui dans la poche de son gilet un tube en verre scellé contenant quelques décigrammes d'un sel de radium très actif, que lui a remis pour l'occasion Pierre Curie. Il estimera après coup, la durée du port du tube à six heures. C'est après une quinzaine de jours que Becquerel découvre une inflammation importante de sa peau à l'emplacement de la poche de son gilet. La plaie ne se refermera que sept semaines après l'irradiation laissant une cicatrice indélébile. Il semble que Pierre Curie ait entrepris, volontairement, la même expérience, qui eut bien évidemment les mêmes effets. En fait, les brûlures constatées n'étonnent pas les médecins qui connaissent déjà les effets semblables produits par les rayons x . A partir de 1901, dans tous les pays, le monde scientifique s'intéresse aux conséquences biologiques et médicales de la radioactivité. Louis Matout, le préparateur de Becquerel, met en évidence l'altération de la germination des graines par les radiations émises par le radium.

Dès cette époque, Henri Becquerel parcourt l'Europe pour y présenter des conférences. Il emporte avec lui quelques décigrammes de sel de radium pour réaliser ses démonstrations, en prenant bien garde de transporter son trésor dans un tube de plomb. Ces voyages le conduisent ainsi à Rotterdam, Londres, Cambridge, Manchester. Malgré ses nombreux déplacements, il poursuit son travail de recherche et découvre, en particulier, l'action d'un champ électrique sur le rayonnement émis par le radium. Après la mise en évidence par Rutherford, en janvier 1903, de la déviation des rayons α par un champ magnétique puissant, Becquerel montre clairement, à l'aide de moyens rudimentaires, que ces rayonnements ont tous la même vitesse contrairement aux rayons β . C'est en août 1903 que Becquerel décide de faire le point sur l'état de l'art de la radioactivité dans un ouvrage intitulé *Recherches sur une propriété nouvelle de la matière : activité radiante spontanée de la matière*. La qualité des travaux de l'équipe française composée de Marie et Pierre Curie et de Henri Becquerel fait qu'il leur est décerné

le 14 novembre 1903 le prix Nobel de physique, dont une moitié revient aux Curie, à parts égales, et l'autre à Becquerel. Les Curie se déclarant souffrants, Henri Becquerel fera le voyage à Stockholm avec le ministre français des Affaires étrangères, pour la remise du prix le 10 décembre.

Le prix Nobel projette Henri Becquerel sur le devant de la scène internationale dans le domaine scientifique. Telle une grande vedette de variétés, sa notoriété atteint même les milieux populaires français. Il reconnaît bien volontiers que sa découverte de l'activité « radiante » spontanée s'est effectuée dans des circonstances particulières et quelque peu accidentelles, à savoir qu'il a développé, le 1^{er} mars 1896, des plaques photographiques sans en attendre grand chose et certainement pas l'apparition du phénomène nouveau et très prometteur que l'on connaît. Très actif, Becquerel mène de front ses travaux de recherche et d'enseignement et les conférences à donner ici et là. Par exemple, avec l'aide de son fidèle préparateur, Louis Matout, il démontre que les solides isolants

électriques, tels que la paraffine, deviennent conducteurs quand ils sont mis en présence de radium et qu'ils conservent cette propriété pendant quelques heures. Tous les phénomènes disparates qu'il découvre prennent naturellement leur place dans ses cours de physique expérimentale à l'Ecole polytechnique ainsi qu'au Muséum d'histoire naturelle.

Après une très brève maladie, une crise cardiaque emporte Henri Becquerel, qui n'a pas encore atteint ses 56 ans, le lundi 24 août 1908, dans sa résidence d'été au Croisic, alors qu'il venait d'être nommé le 29 juin passé Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences. Sa dépouille mortelle repose aujourd'hui à Chatillon-Coligny dans le Loiret.

En sa mémoire, la Conférence internationale des poids et mesures remplace le 2 juin 1975, pour la radioactivité, l'unité le « curie » (symbole Ci, un curie exprime l'activité de 1 g de radium 226) par le « becquerel » (symbole Bq) qui représente une désintégration par seconde, avec la correspondance suivante : 1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq. ■

Pour en savoir plus

- Bimbot R., Bonnin A., Deloche R., Lapeyre C. (1999) *Cent ans après la radioactivité. Le rayonnement d'une découverte*, EDP Sciences.
- Blondel C. (1994) « Becquerel, Edmond. Professeur de Physique appliquée aux arts (1852-1891) » in *Les professeurs du Conservatoire des Arts et Métiers : Dictionnaire biographique*, 168-182.
- Boudia S. (2001) *Marie Curie et son laboratoire, science et industrie de la radioactivité en France*, Editions des archives contemporaines, Paris.
- Curie E. (1938) *Madame Curie*, Galilimard.
- Hurwic A. (1995) *Pierre Curie*, Flammarion.
- Radvanyi P., Bordry M. (1988) *Histoires d'atomes*, Belin.
- Radvanyi P., Bordry M. (1996) « Le premier mars, il y a 100 ans, Henri Becquerel découvrit la radioactivité », *Bulletin de la S. F. P.*, 104, mai, 12-13.
- Reid R. (1979) *Marie Curie derrière la légende*, Points Sciences, Seuil.
- Schubnel H.-J. (1996) « Histoire naturelle de la radioactivité », *Revue de Gemmologie a.f.g.*, numéro hors-série, juin.
- Warschnitter J. (1996) *La saga des Becquerel*, Imprimerie giennoise.

Notes

1. La pile de Volta est constituée d'une succession de disques d'argent et de zinc séparés par des rondelles de drap imbibées d'eau acidulée. Becquerel explique en 1829 que la brève durée de fonctionnement de la pile résulte de la formation d'un dépôt de substances chimiques formant une barrière infranchissable par le courant arrêtant ainsi le débit de la pile.
2. Dans une cuve remplie d'eau acidulée, plongent deux lames sensibles reliées à un galvanomètre à fil long et fin : quand la lumière frappe une des lames, il se produit un courant dont l'intensité fournit la mesure de l'action lumineuse.
3. C'est là qu'il transmet son savoir et les précieux résultats de ses travaux en cours. Par exemple, il explique que les gaz, isolants à température ambiante, deviennent conducteurs lorsqu'on les chauffe ; il est possible de déterminer des températures très élevées par des méthodes thermoélectriques, permettant ainsi d'évaluer la température des corps incandescents en étudiant la lumière irradiée ; il étudie les pouvoirs thermoélectriques des métaux et met au point une pile électrique à l'aide du couple sulfure de cuivre-maillehort qui développe une force électromotrice d'un tiers de volt.
4. La luminescence est la propriété que possèdent certains corps d'absorber de l'énergie, sous forme de lumière solaire, par exemple, et de la réémettre ensuite sous forme de rayonnement. On parle de phosphorescence lorsque la luminescence se produit au cours de l'excitation. Si la luminescence persiste pendant un certain temps, on parle de phosphorescence.
5. Jean Becquerel, né à Paris le 17 février 1878 et mort sans descendance en Bretagne le 4 juillet 1953, était polytechnicien, ingénieur des Ponts et Chaussées, et de plus, académicien et titulaire de la chaire de physique appliquée aux sciences naturelles au Muséum comme ses trois ancêtres paternels.
6. 1^{ère} Note d'Henri Becquerel aux Comptes rendus de l'Académie des sciences, vol. 122, pp. 420-421 : « Sur les radiations émises par phosphorescence ».
7. 2^e Note d'Henri Becquerel aux Comptes rendus de l'Académie des sciences, vol. 122, pp. 501-503 : « Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents ».
8. L'uranium métallique, qui est de couleur grise, dur et très dense était, à cette époque, le dernier élément de la classification périodique établie par le chimiste russe Dimitri Mendeleïev.
9. 3^e Note d'Henri Becquerel aux Comptes rendus de l'Académie des sciences, vol. 122, pp. 1086-1088 : « Emission de radiations nouvelles par l'uranium métallique ».