



## Comment Becquerel a été amené à découvrir la radioactivité de l'uranium

par Roger Balian, membre de l'Académie des sciences

La découverte de la radioactivité de l'uranium par Henri Becquerel en 1896 est le résultat de nombreuses péripéties, auxquelles ont contribué divers acteurs à commencer par ses ascendants.

### La dynastie des Becquerel

La physique française a été marquée par quelques familles de chercheurs actifs sur plusieurs générations, comme les Curie, les Langevin, les Friedel. Ainsi, quatre Becquerel se sont succédé de père en fils.

*Antoine-César Becquerel* (1788-1878), grand-père de Henri, se consacre à la physique après avoir été officier du génie sous l'Empire. Il montre en 1819 qu'une pression appliquée sur deux faces opposées de certains cristaux (comme le quartz) peut créer une différence de potentiel électrique proportionnelle à cette pression ; cet effet, la *piézo-électricité*, est actuellement utilisé pour réguler les montres à quartz. Les nombreux travaux ultérieurs d'Antoine Becquerel portent en particulier sur le magnétisme, les piles électriques, la physiologie.

C'est en collaboration avec lui que son fils *Edmond* (1820-1891) découvre en 1839 l'effet *photovoltaïque* ; cet effet, la génération d'une tension électrique par action de la lumière sur un semi-conducteur, sert aujourd'hui à la construction de panneaux solaires. Edmond Becquerel met aussi en évidence des phénomènes électriques variés, et utilise efficacement la photographie en spectroscopie.

*Henri Becquerel* (1852-1908), le physicien le plus célèbre de la lignée, a eu des préoccupations scientifiques semblables à celles de son grand-père Antoine et de son père Edmond, qui le conduiront de façon inattendue à la découverte d'un phénomène entièrement nouveau, la radioactivité.

Du mariage de Henri avec Lucie Jamin, fille de son professeur de physique à l'École Polytechnique, naîtra le dernier des Becquerel, *Jean* (1878-1953) ; Lucie décèdera de ses suites de couches. Comme Henri, Jean a été professeur à l'École Polytechnique. Il a poursuivi des travaux d'optique et de magnétisme.

Ces quatre Becquerel ont été admis à l'*École Polytechnique* ; Edmond a renoncé à y suivre les cours, préférant devenir immédiatement assistant de son père. Tous quatre ont été professeurs de physique au *Muséum d'histoire naturelle*, sur une chaire créée pour Antoine et transmise de père en fils. Tous ont logé au Muséum, auprès de leur laboratoire, 57 rue Cuvier, le long du Jardin des Plantes. (Henri a déménagé au boulevard Saint-



Germain après son remariage et le décès de son père.) Tous ont été membres de l'*Académie des sciences*, que les trois premiers ont présidée ; Henri en a aussi été Secrétaire perpétuel.

## La physique des rayonnements en 1895

Les rayonnements ont constitué au XIX<sup>e</sup> siècle un domaine d'études majeur. En 1800, l'astronome William Herschel, après avoir décomposé le rayonnement solaire avec un prisme, estime à l'aide d'un petit thermomètre la quantité de chaleur transportée par chaque composante colorée du spectre, du rouge au violet ; poursuivant en deçà du rouge, il détecte un rayonnement calorifique invisible, les rayons *infrarouges*. L'année suivante, Johann Wilhelm Ritter découvre à l'autre extrémité du spectre visible, au-delà du violet, les rayons *ultraviolets*, grâce à leur action chimique sur le chlorure d'argent qui noircit à la lumière. (Cette transformation d'un sel d'argent en argent métallique noir par action de la lumière a donné naissance à la photographie une trentaine d'années plus tard.)

Au cours du siècle, de nombreux physiciens se sont intéressés à la *luminescence*. C'est l'émission de lumière par certains matériaux, non par incandescence, mais sous l'effet d'une forme ou une autre d'excitation. Ainsi, la chimio-luminescence est causée par une réaction chimique ; elle sert à faire des jouets (bâtons ou bracelets lumineux), elle existe chez certains êtres vivants ; à l'inverse, la lumière peut induire une réaction chimique (photographie argentique, photosynthèse par la chlorophylle). D'autres formes de luminescence peuvent être engendrées par une action mécanique, par un champ électrique, ou par une exposition à une source lumineuse. Dans ce dernier cas, on parle de *fluorescence* si la réémission de lumière est immédiate, de *phosphorescence* si elle est retardée. La luminescence, en tant que concept et en tant que technique d'observation, a joué un rôle majeur dans la genèse de la découverte de Henri Becquerel, même si-celle-ci n'avait en définitive rien à voir avec elle.

Antoine Becquerel, fasciné par la phosphorescence d'algues dans la lagune de Venise, avait élevé des vers luisants et constitué au Muséum une collection de minéraux phosphorescents. Edmond, à sa suite, était devenu expert mondial du phénomène, qu'il étudiait par photographie.

La nature de la lumière restait inconnue. En 1864, James Clerk Maxwell, après avoir unifié l'électricité et le magnétisme, constata que les équations obtenues permettaient de prévoir l'existence d'ondes électromagnétiques se propageant à la vitesse de la lumière. Il émit donc l'hypothèse que la lumière serait susceptible de s'identifier à une *onde électromagnétique*. La production par Heinrich Hertz en 1887 d'un nouveau rayonnement à l'aide de décharges électriques, les *ondes hertziennes*, confirmait la prédiction de Maxwell. Alors que Hertz estimait qu'il s'agissait seulement d'une curiosité de laboratoire, les applications de ses ondes nous ont aujourd'hui envahi, de la radio au radar, du téléphone à la Wi-Fi. La lumière, l'infrarouge, l'ultraviolet et les ondes hertziennes semblaient donc déjà entrer dans un cadre commun.



Mais depuis trois décennies, un type différent et encore mystérieux de rayonnement était apparu, les *rayons cathodiques*, suscitant de nombreux travaux. On les produisait en provoquant une décharge électrique dans un tube à vide muni d'une électrode à chaque extrémité ; un rayonnement est alors émis par la cathode (électrode reliée au pôle négatif du générateur), il se propage vers l'anode (reliée au pôle positif) et même plus loin. Ce rayonnement était détecté grâce à une lueur qu'il suscitait en atteignant la paroi de verre ; on avait montré que, contrairement aux ondes électromagnétiques, il était dévié par un champ magnétique, donc chargé. Nous savons aujourd'hui qu'un rayon cathodique est un faisceau d'électrons issus de la cathode, se propageant vers l'anode qui les attire, puis au-delà. Dans un oscilloscope ou un téléviseur ancien, c'est l'impact d'un rayon cathodique qui engendre un point lumineux sur l'écran.

### La découverte des rayons X (1895)

Le 8 novembre 1895, dans son laboratoire de Würzburg, Wilhelm Röntgen manipule dans l'obscurité un tube à rayons cathodiques enveloppé de carton noir, lorsqu'il a la surprise de voir s'illuminer une feuille de papier imbibé d'un sel fluorescent posée par hasard sur le côté, à un endroit éloigné, inaccessible au rayon cathodique lui-même. Il recommence en interposant entre le tube et l'écran de papier sa main ou divers objets, dont l'ombre plus ou moins foncée apparaît sur cet écran. Il a découvert un nouveau rayonnement extraordinaire, invisible et très *pénétrant*, émis dans toutes les directions par la paroi du tube sous l'impact des rayons cathodiques.

Dans les jours qui suivent, il étudie en détail les propriétés de ces rayons, qu'il baptise *rayons X* en raison de leur nature inconnue. Il montre qu'ils sont absorbés par la matière, d'autant plus que celle-ci est plus dense. Il constate qu'ils provoquent non seulement la luminescence, mais impressionnent aussi les plaques photographiques, et réalise le 22 décembre la première radiographie, celle de la main gauche de son épouse où apparaissent la chair, les os et l'alliance, de plus en plus foncés. L'article scientifique qu'il rédige fin décembre 1895 et diffuse immédiatement fait sensation ; la presse allemande annonce l'événement au grand public. Röntgen sera en 1901 le premier des lauréats du prix Nobel de physique.

La nouvelle atteint la France en janvier 1896. Le 20, Henri Poincaré, qui a reçu le texte de Röntgen (en allemand) présente cette découverte à l'Académie des sciences et fait circuler des radiographies. Lors de cette séance et dans un article publié quelques jours après, il émet l'hypothèse que les rayons X pourraient être un rayonnement *de type fluorescent* induit par l'impact sur le verre des rayons cathodiques, et se demande « si tous les corps dont la fluorescence est suffisamment intense n'émettent pas, outre les rayons lumineux, des rayons X de Röntgen ».



## Les « rayons de Becquerel » (1896)

Cette idée (qui se révélera fausse !) stimule Henri Becquerel, spécialiste de fluorescence et de phosphorescence comme son grand-père et son père. Il cherche immédiatement à déterminer si des radiations pénétrantes comme les rayons X pourraient être engendrées sans faire appel aux rayons cathodiques, *par simple excitation lumineuse* d'un matériau fortement phosphorescent. Après quelques essais, il choisit pour cela dans sa collection du Muséum une substance phosphorescente déjà étudiée par son père, un mince cristal de *sulfate d'uranyle et de potassium*. Ayant enfermé une plaque photographique argentique dans un emballage opaque de papier noir très épais, il dépose un cristal dessus, et expose le tout au soleil pendant plusieurs heures. Il développe ensuite la photographie, et constate l'apparition d'une tache à l'emplacement au-dessus duquel se trouvait le cristal. Il cherche à vérifier si cette tache est bien produite par un rayonnement et non par une vapeur qui aurait pu être dégagée par le cristal échauffé, et avoir traversé le papier ; il recommence donc l'expérience en interposant une plaque de verre entre le cristal et le papier, et trouve le même résultat. Il interpose aussi une pièce de monnaie ; son image apparaît sur le cliché, ce qui démontre que les rayons émis sont absorbés par le métal. Cette observation d'un *rayonnement très pénétrant* issu du matériau phosphorescent considéré est annoncée par une brève note publiée le 24 février 1896 dans les *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* [1].

Il renouvelle de jour en jour ces expériences. Celles qu'il a préparées pour le 26 et 27 février vont aboutir à un résultat tout à fait inattendu. Comme le soleil ne se montre guère ces jours-là ni les suivants, les châssis ont reçu peu de lumière ; il les rentre et les range tels quels dans un tiroir obscur. Le dimanche 1<sup>er</sup> mars, il développe cependant les plaques photo, s'attendant à trouver des images très faibles ; il est surpris de voir qu'au contraire, les plaques ont été fortement impressionnées à l'emplacement des cristaux ! Pour en avoir le cœur net, travaillant *dans le noir*, il recommence, enferme le dispositif dans une boîte opaque, attend quelques heures et trouve à nouveau le même effet. Dès le lendemain 2 mars, il publie aux *Comptes Rendus* une note [2], où il annonce que le phénomène nouveau *ne peut être attribué à l'action de la lumière* sur le cristal. (Mais il n'a pas encore complètement abandonné l'idée qu'il pourrait s'agir de radiations « émises par phosphorescence ».) Les choses se précisent dans les semaines qui suivent. Dans une note du 9 mars, il annonce que d'*autres matériaux très phosphorescents*, comme le sulfure de zinc, n'émettent dans les mêmes conditions aucun rayonnement pénétrant [3]. Inversement (note du 23 mars), il observe que des sels non phosphorescents mais *contenant de l'uranium* se comportent comme celui qu'il avait initialement étudié [4]. Le phénomène semble donc associé à l'uranium et n'a rien à voir avec une « hyper-phosphorescence ». Toujours en mars, Becquerel exhibe un effet électrique de son rayonnement, montrant que celui-ci *diffère de celui de Röntgen* [5]. S'étant procuré de l'*uranium métallique*, il découvre en mai que celui-ci rayonne encore plus intensément que ses sels [6]. Enfin, en novembre, il constate que tous les échantillons qu'il avait conservés dans l'obscurité *continuent à rayonner* après des mois [7].



Becquerel conclut qu'il a découvert une nouvelle forme de rayonnement, les « *rayons uraniques* », émis *spontanément* par l'uranium alors que toutes les autres formes de rayonnement nécessitent une excitation. N'ayant observé aucune décroissance de l'émission, il se demande d'où l'uranium tire l'énergie qui lui permet de rayonner en permanence, question qui restera ouverte pendant plusieurs années.

### Les suites de la découverte de Becquerel

Il restait à comprendre le phénomène ; cela a pris plusieurs années, au cours desquelles l'importance de la découverte d'Henri Becquerel s'est progressivement affirmée. À la fin de 1897, Marie Curie vient de donner naissance à Irène ; son époux Pierre lui propose comme sujet de thèse de doctorat l'étude des rayons uraniques, que Becquerel a délaissée. Utilisant des instruments électrostatiques mis au point par Pierre, elle montre en 1898 que la *quantité d'uranium et l'activité* dégagée sont *proportionnelles*. Elle explore sur de nombreux autres matériaux la possibilité d'émission de rayonnement, et constate que le *thorium* rayonne de manière semblable à l'uranium [8]. Puis, au cours de la même année, après que Pierre s'est joint à sa recherche, elle observe qu'un minerai, la *pechblende*, est extrêmement actif. Par un travail acharné, elle traite ce minerai et y découvre successivement deux nouveaux éléments chimiques, sources de sa forte activité, qu'elle isole et identifie, et qu'elle nomme *polonium* [9] et *radium* [10]. Ayant mis en évidence la généralité du phénomène, elle lui donne un nouveau nom, la « *radioactivité* ».

Au cours des années suivantes, de nombreux physiciens à travers le monde étudient la radioactivité. Ils distinguent dans le rayonnement émis *trois sortes* de radiations, les rayons  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$ , dont ils analysent les propriétés spécifiques. En 1902, Ernest Rutherford et Frederick Soddy découvrent à Montréal que l'émission de rayonnement par le thorium est associée à une *transmutation* spontanée de cet élément en un autre [11]. La nature de la radioactivité est ainsi élucidée ; la libération d'énergie provient d'un nouveau type de transformation de la matière, différent des réactions chimiques et beaucoup plus énergétique. Quelques années plus tard, on comprendra que ces transformations portent sur les *noyaux* atomiques alors que la chimie concerne des transformations de molécules.

Henri Becquerel a contribué entre 1898 et 1901 à ces études [12, 13, 14], en liaison avec les Curie, montrant notamment que les rayons du radium sont déviés par un champ magnétique. Ayant transporté dans une poche une ampoule contenant du radium prêtée par Pierre Curie, il a été parmi les premiers à constater que les rayonnements provoquent de graves plaies.

Le *Prix Nobel* a couronné en 1903 les travaux de Henri Becquerel et de Pierre et Marie Curie. Plus récemment, en hommage à Henri Becquerel, son nom a été donné en 1964 à l'*unité de radioactivité* dans le Système International. L'activité d'un objet, c'est-à-dire le nombre de désintégrations qui s'y produisent par seconde, se mesure en *becquerels* (Bq). Cette unité est très faible : l'activité d'un corps humain est d'environ 8000 Bq. L'unité ancienne de radioactivité, le curie (Ci), était au contraire énorme, puisque  $1 \text{ Ci} = 37 \times 10^9 \text{ Bq}$ .



La démarche de Becquerel a été exemplaire. Il a su partir de recherches récentes qui suscitaient des interrogations, s'appuyer sur les acquis anciens, cheminer patiemment à travers hypothèses, tâtonnements puis tests systématiques, tirer parti des hasards et abandonner des préjugés. Sa découverte a constitué la première étape d'une révolution scientifique, l'élaboration de la physique nucléaire et de la physique des particules. Elle est à la source des nombreuses applications de la radioactivité, depuis la médecine jusqu'à la datation, et de l'emploi de l'énergie nucléaire [15].

## Références

- [1] H. Becquerel, *Sur les radiations émises par phosphorescence*, C. R. hebd. Séances Acad. Sci. Paris **122** (1896) 420-421.
- [2] H. Becquerel, *Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents*, C. R. hebd. Séances Acad. Sci. Paris **122** (1896) 501-503.
- [3] H. Becquerel, *Sur quelques propriétés nouvelles des radiations invisibles émises par divers corps phosphorescents*, C. R. hebd. Séances Acad. Sci. Paris **122** (1896) 559-564.
- [4] H. Becquerel, *Sur les radiations invisibles émises par les sels d'uranium*, C. R. hebd. Séances Acad. Sci. Paris **122** (1896) 689-694.
- [5] H. Becquerel, *Sur les propriétés différentes des radiations invisibles émises par les sels d'uranium, et du rayonnement de la paroi anticathodique d'un tube de Crookes*, C. R. hebd. Séances Acad. Sci. Paris **122** (1896) 762-767.
- [6] H. Becquerel, *Emission de radiations nouvelles par l'uranium métallique*, C. R. hebd. Séances Acad. Sci. Paris **122** (1896) 1086.
- [7] H. Becquerel, *Sur diverses propriétés des rayons uraniques*, C. R. hebd. Séances Acad. Sci. Paris **123** (1896) 855-858.
- [8] M. Curie, *Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium*, C. R. hebd. Séances Acad. Sci. Paris **126** (1898) 1101-1103.
- [9] P. Curie, M. Curie, *Sur une substance nouvelle radio-active, contenue dans la pechblende*, C. R. hebd. Séances Acad. Sci. Paris **127** (1898) 175-178.
- [10] P. Curie, M. Curie, G. Bémont, *Sur une nouvelle substance fortement radio-active, contenue dans la pechblende*, C. R. hebd. Séances Acad. Sci. Paris **127** (1898) 1215-1217.
- [11] E. Rutherford, F. Soddy, *The cause and nature of radioactivity*, I, II, Philos. Mag. **4** (1902) 370-396, 569-585.



[12] H. Becquerel, *Influence d'un champ magnétique sur le rayonnement des corps radio-actifs*, C. R. hebd. Séances Acad. Sci. Paris **129** (1899) 996-1001.

[13] H. Becquerel, *Sur la transparence de l'aluminium pour le rayonnement du radium*, C. R. hebd. Séances Acad. Sci. Paris **130** (1900) 1154-1157.

[14] H. Becquerel, *Sur la radioactivité de l'uranium*, C. R. hebd. Séances Acad. Sci. Paris **133** (1901) 977-980.

[15] Le site [www.laradioactivite.com](http://www.laradioactivite.com), créé et mis à jour par des physiciens, et destiné à un large public, couvre les aspects les plus divers de la radioactivité.