

CHAPITRE 1

Henri Becquerel : les « rayons uraniques »

Où l'on voit comment Henri Becquerel, en cherchant des rayons X, découvre l'activité radiante de l'uranium. Où l'on voit le monde scientifique se désintéresser d'un phénomène incompréhensible, faible, sans portée pratique.

LE 1^{er} MARS 1896, un dimanche, Henri Becquerel travaille dans son laboratoire du Muséum d'Histoire Naturelle. Il attend le soleil depuis plusieurs jours, en vain¹. Il aurait bien besoin de l'intensité de la lumière solaire pour confirmer les expériences très intéressantes faites une semaine auparavant, et communiquées à l'Académie des Sciences le 24 février. Mais en cette fin d'hiver le ciel de Paris reste obstinément couvert.

Becquerel est un physicien distingué, héritier d'une grande lignée scientifique². Son grand-père Antoine César, né le 7 mars 1788 à Châtillon-sur-Loing (aujourd'hui Châtillon-Coligny), était entré à l'École Polytechnique en 1806 et avait fait une brillante carrière d'officier des armées napoléoniennes. En 1815, après la chute définitive de Napoléon, il avait quitté l'armée pour entreprendre une grande carrière scientifique. Ses travaux portèrent sur l'électricité, l'optique, la phosphorescence, l'électrochimie. Il fabriqua en 1829 la première pile à courant constant. Il devint membre de l'Académie des Sciences en 1828, reçut en 1837 la prestigieuse médaille Copley de la Société Royale de Londres, et fut à compter de 1838 le premier titulaire de la chaire de physique du Muséum d'Histoire Naturelle. Il devait mourir le 18 juin 1878 (Henri Becquerel avait vingt-six ans).

Le second fils d'Antoine César, Alexandre Edmond, était né le 24 mars 1820 à Paris. Reçu en 1838 à l'École Polytechnique et à l'École Normale

Supérieure, il renonça aux deux Écoles pour travailler comme assistant de son père au Muséum d'Histoire Naturelle. En 1852 il devenait Professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers ; en 1863 il était élu à l'Académie des Sciences et, à la mort de son père en 1878, il lui succéda comme professeur au Muséum. Il s'intéressa particulièrement à l'électricité, au magnétisme et à l'optique. Ses travaux sur la luminescence et la phosphorescence furent rassemblés en 1859 dans son livre *Recherches sur les divers effets lumineux qui résultent de l'action de la lumière sur les corps*, qui fit autorité pendant un demi siècle. Grâce à un appareil de son invention, le phosphoroscope, il montra que le phénomène de fluorescence, découvert par G. G. Stokes en 1852, était un phénomène de même nature que la phosphorescence, mais de durée très courte. Il mourut à Paris le 11 mai 1891.

Henri, Antoine Henri pour l'état civil, est le fils d'Alexandre Edmond. Il naît à Paris le 15 décembre 1852, au domicile de ses parents, au Muséum. Reçu à l'École Polytechnique en 1872, il y rencontre Henri Poincaré avec qui il se lie d'une amitié durable. En 1874, il entre à l'École des Ponts et Chaussées, et devient à sa sortie en 1876 répétiteur à l'École Polytechnique, puis aide-naturaliste au Muséum. En 1889, à 37 ans, il est élu membre de l'Académie des Sciences, et en 1895, il est nommé professeur de Physique à l'École Polytechnique.

Homme courtois et affable, Henri Becquerel était un expérimentateur habile et rigoureux. Comme beaucoup de physiciens français de cette époque, il avait peu de penchant pour la spéculation théorique et privilégiait avant tout l'observation. Il avait jusque-là travaillé principalement sur l'optique. Il avait épousé en 1876 Lucie Jamin, fille de J. C. Jamin, académicien, professeur de Physique à la Faculté des Sciences de Paris, et ami des ses parents. Mais Lucie devait mourir à vingt ans, quelques semaines après avoir donné naissance à leur fils Jean, le 5 février 1878. Le 14 août 1890, Henri Becquerel épousait en secondes noces Louise Désirée Lorieux, qui éleva le jeune Jean comme son fils. Jean Becquerel devait, lui aussi, entrer à l'École Polytechnique, et devenir académicien.

LA DÉCOUVERTE

La série d'expériences que Becquerel avait entamées en février 1896 trouvaient leur origine dans la découverte des rayons « X », faite quelques mois auparavant par Wilhelm Conrad Röntgen³, alors qu'il étudiait les « rayons cathodiques » produits par des décharges électriques dans des gaz⁴. Un conducteur chargé d'électricité et placé dans une enceinte contenant un gaz à faible pression se décharge en effet si la tension entre la borne positive et la borne négative dépasse un millier de volts. Cette décharge se fait par l'intermédiaire de *rayons cathodiques*[◇] issus de la borne négative, la cathode (les rayons cathodiques, nous le savons maintenant, sont des électrons arrachés à la cathode). Röntgen avait découvert que ces rayons cathodiques, lorsqu'ils frappaient la paroi de verre, donnaient naissance à un rayonnement inconnu, qu'il avait appelé « rayons X ». La découverte avait fait grand bruit, et le monde des physiciens était en effervescence. À la séance

de l'Académie des Sciences du 20 janvier 1896, les docteurs Paul Oudin et Toussaint Barthélémy avaient montré les premières radiographies réalisées selon la méthode de Röntgen. Poincaré, l'un des savants les plus connus à l'époque, avait reçu un tiré-à-part de l'article de Röntgen. Lui-même et Becquerel furent particulièrement frappés par le fait que les rayons X provenaient de la tache lumineuse formée par les rayons cathodiques sur l'ampoule de verre dans laquelle Röntgen produisait les décharges électriques. Dans un article paru le 30 janvier 1896 dans la *Revue Générale des Sciences* et consacré aux rayons X, Poincaré écrivait :

Ainsi, c'est le verre qui émet les rayons Röntgen, et il les émet en devenant fluorescent. Ne peut-on alors se demander si tous les corps dont la fluorescence est suffisamment intense n'émettent pas, outre les rayons lumineux, des rayons X de Röntgen, *quelle que soit la cause de leur fluorescence* ?⁵

Or Becquerel connaissait bien la luminescence[◇] pour l'avoir longtemps étudiée à la suite de son père. Les substances lumineuses ne sont pas lumineuses par elles-mêmes, mais si elles sont éclairées, elles émettent à leur tour une lumière qui leur est propre, soit presque immédiatement*, c'est la fluorescence, soit pendant un temps plus ou moins long, on parle alors de phosphorescence[†]. Dans son laboratoire du Muséum d'Histoire Naturelle, Becquerel possède des lamelles cristallines de sulfate double d'uranyle[‡] et de potassium, dont il connaît bien la phosphorescence : elle est intense, mais ne dure que quelques centièmes de seconde. Il fait alors l'expérience suivante, qu'il décrira dans sa communication à l'Académie du 24 février :

On enveloppe une plaque photographique Lumière, au gélatino-bromure, avec deux feuilles de papier noir très épais, tel que la plaque ne se voile pas par une exposition au soleil, durant une journée. On pose sur la feuille de papier, à l'extérieur, une plaque de la substance phosphorescente, et on expose le tout au soleil, pendant plusieurs heures. Lorsqu'on développe ensuite la plaque photographique, on reconnaît que la silhouette de la substance phosphorescente apparaît en noir sur le cliché [...]

On doit conclure de ces expériences que la substance phosphorescente en question émet des radiations qui traversent le papier opaque à la lumière⁶.

Becquerel a exposé son montage au soleil, car c'est la source de lumière la plus intense dont il dispose. Le mercredi suivant, le 26 février, il tente de faire une radiographie : entre sa lamelle cristalline phosphorescente et la plaque photographique, toujours soigneusement enveloppée de papier noir, il interpose une petite croix de cuivre mince, une croix dite « de Malte », et il s'apprête à exposer le tout au soleil. Si le cuivre arrête les radiations comme il arrête les rayons X, la forme de la croix de Malte devrait se dessiner en négatif sur la plaque. Il fait beau jusqu'à 10 heures, puis les nuages envahissent le ciel. Le lendemain, le soleil se montre entre 15 et 19 heures,

*C'est-à-dire en un laps de temps de l'ordre du cent-millionième de seconde.

†Le temps, très variable, peut aller de quelques millièmes de seconde à des milliers de secondes.

‡L'uranyle est un cation d'oxyde d'uranium UO_2^+ .

avant l'arrivée de nouveaux nuages. Becquerel rentre alors son montage et le range dans un tiroir de son bureau. Mais le temps reste gris pendant les deux jours suivants.

Aucun signe d'éclaircie le dimanche 1^{er} mars au matin, et même quelques gouttes de pluie de temps en temps⁷. Plutôt que d'attendre encore pendant des jours peut-être, Becquerel décide de développer la plaque photographique. Il s'attend à y trouver une impression très faible, puisqu'elle n'avait été exposée que peu de temps au soleil, et n'avait reçu pendant un jour que la lumière diffuse d'un ciel couvert de février. Les rayonnements de phosphorescence, consécutifs à l'exposition à la lumière, avaient donc été peu intenses. Mais contrairement à son attente, la plaque est fortement impressionnée, comme on peut le voir sur la reproduction de cette plaque qui figure en couverture de ce livre. Sur la tache du bas, on peut distinguer une zone un peu plus claire, qui a la forme d'une croix. C'est la croix de cuivre qui a atténué les radiations ! On peut lire sur cette photo, reproduction d'époque de la plaque originale, l'écriture de Becquerel :

26 fév – 1^{er} mars 96. Sulfate double d'uranyle et de potassium
Papier noir. Croix de cuivre mince.
Exposé au soleil le 27 et à la lumière diffuse le 26. –
développé le 1^{er} mars.

Surpris, et c'est là qu'on reconnaît la clairvoyance et la rigueur du physicien, il recommence aussitôt l'expérience en laissant le montage dans le noir : la plaque est encore impressionnée. Dans la note qu'il présente à l'Académie dès le lendemain, le lundi 2 mars 1896, il écrit :

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 des radiations incidentes et maintenues à l'obscurité, produisent encore les mêmes impressions photographiques. [...] Je pensai aussitôt que l'action avait dû continuer à l'obscurité⁸.

Henri Becquerel vient de découvrir ce que nous appelons aujourd'hui *la radioactivité*.

VOUS AVEZ DIT PHOSPHORESCENCE ?

Becquerel pense que ce phénomène est une phosphorescence, un phénomène provoqué par l'exposition à la lumière, qui devrait donc s'atténuer avec le temps. Mais le doute est le meilleur conseiller du physicien. Pour en avoir le cœur net, Becquerel enferme des lamelles dans l'obscurité dès le 3 mars, et de temps en temps, il va vérifier leur activité « radiante ». Mois après mois, le phénomène persiste, sans montrer de signe d'affaiblissement ! En novembre 1896 Becquerel note :

... à l'abri de toute radiation connue, [...] les substances ont continué à émettre des radiations actives, traversant le verre et le papier noir, et cela depuis plus de six mois pour les unes, de huit mois pour les autres⁹.

Autre constatation étonnante : les essais faits avec d'autres substances phosphorescentes sont tous négatifs¹⁰. En revanche :

Tous les sels d'uranium que j'ai étudiés, qu'ils soient phosphorescents ou non par la lumière, cristallisés, fondus ou dissous, m'ont donné des résultats comparables ; *j'ai donc été amené à conclure que l'effet était dû à la présence de l'élément uranium dans ces sels**, et que le métal donnerait des effets plus intenses que ses composés. L'expérience faite [...] a confirmé cette prévision ; l'effet photographique est notablement plus fort que l'impression produite par un des sels d'uranium¹¹.

Becquerel mentionne les sels d'uranium cristallisés, fondus ou dissous, car c'est seulement sous la forme cristallisée qu'ils sont phosphorescents. Le lien entre le phénomène qu'il a découvert et la phosphorescence est donc de plus en plus douteux, autrement dit, l'activité « radiante » de l'uranium ne semble pas avoir de lien avec l'exposition à la lumière du soleil. En fait, bien qu'il continue à utiliser le mot « phosphorescence », Becquerel s'affranchit peu à peu de l'idée originale, celle qui l'a mené à la découverte. La constatation que le nouveau phénomène est lié à l'élément uranium, qui se manifeste de la même manière dans tous les composés chimiques où il est présent, est tout à fait extraordinaire pour un physicien ou un chimiste de la fin du XIX^e siècle. Un des acquis de la chimie depuis Lavoisier était précisément que les propriétés des corps chimiques ne reflétaient pas celles des éléments qui entraient dans leur composition : le sel de cuisine est du chlorure de sodium, mais ses propriétés chimiques ou ses propriétés physiques sont très différentes de celles du chlore ou du sodium qui entrent dans sa composition. L'activité radiante de l'uranium était donc un phénomène étrange, et unique en son genre.

QUELLE EST LA NATURE DE CES RADIATIONS ?

Les mots « rayon » ou « radiation » évoquent simplement que quelque chose se propage en ligne droite à partir d'une source, comme les rayons du soleil. Dans l'article qui annonçait la découverte des rayons X, Röntgen écrivait :

La raison pour laquelle je me suis cru autorisé à donner le nom de « rayons » à l'agent émanant de la paroi de l'appareil de décharge réside en partie dans le fait de la formation très régulière d'ombres que l'on constate lorsqu'on interpose entre l'appareil et l'écran fluorescent (ou la plaque sensible) des corps plus ou moins transparents¹².

Or, selon la théorie de Maxwell, que Hertz avait brillamment confirmée huit ans auparavant, tout ébranlement électrique ou magnétique crée un champ électromagnétique[◇] se propageant en ligne droite, à la vitesse de la lumière, comme la lumière : c'est en fait de la lumière, dont la lumière visible par l'œil humain n'est qu'un cas particulier. Röntgen avait montré que les rayons X se propageaient en ligne droite, et bien que, contrairement aux

*Souligné par nous.

radiations lumineuses visibles, ils ne pussent être ni réfléchis, ni réfractés, il pensait qu'il s'agissait d'ondes électromagnétiques, c'est-à-dire une sorte de lumière invisible par nos yeux, mais détectable par la plaque photographique (ou un écran luminescent).

Dès sa seconde communication sur la découverte des rayons X, Röntgen avait noté que les rayons X avaient le pouvoir de décharger les corps électrofilés¹³, c'est-à-dire qu'ils permettaient le passage d'un courant électrique dans l'air, fait confirmé par de nombreux autres travaux¹⁴⁻¹⁶. Becquerel soumet aux mêmes tests les « rayons uraniques ». Pour cela, il utilise un électroscope à feuilles d'or[◇]. Quand celui-ci est chargé, les feuilles se repoussent. Mais s'il approche un morceau d'uranium, elles se rapprochent graduellement. L'électroscope se décharge, signe que l'électricité s'est échappée à travers l'air :

J'ai observé récemment que les radiations invisibles émises dans ces conditions ont la propriété de décharger les corps électrisés soumis à leur rayonnement¹⁷.

Cette propriété va jouer un rôle capital, on le verra par la suite. S'il se manifeste par des phénomènes électriques mesurables, le rayonnement peut être détecté. C'est l'amorce du premier détecteur autre que la plaque photographique.

UN IMPACT SCIENTIFIQUE ET PUBLIC LIMITÉ

Alors que la découverte des rayons X avait suscité un très grand intérêt, tout à la fois du grand public et des physiciens, l'« activité radiante de l'uranium » eut sur le moment un impact limité sur les physiciens, et nul sur le grand public. Au cours de la seule année 1896, plus de 1 000 publications portent sur l'étude des rayons X, à peine une douzaine sur les radiations de l'uranium¹⁸. Il faut dire que les rayons X offrent une possibilité de voir l'intérieur du corps humain, rêve de tout médecin, que celui-ci n'aurait pas osé envisager tout juste un an auparavant. De plus, les rayons X sont très faciles à produire. On trouve dans pratiquement tout laboratoire l'ampoule de Crookes et la bobine de Ruhmkorff nécessaires. On peut ainsi lire dans *l'Almanach Hachette* de l'année 1897, qui porte le sous-titre *Petite Encyclopédie populaire de la vie pratique* :

C'est bien l'invisible que nous montrent désormais ces mystérieux rayons X, dont tout le monde a entendu parler, et qui constituent certainement la plus intéressante découverte de l'année 1896. Reproduire l'os caché sous la chair, l'arme ou le projectile resté dans la blessure ; lire dans le corps humain tout entier — dans la pensée peut-être ! — compter les pièces de monnaie à travers la bourse soigneusement fermée ; aller chercher, derrière l'enveloppe close et scellée, le secret de nos plus intimes confidences ; ce sont aujourd'hui jeux d'enfant pour le premier amateur venu. Et que faut-il pour exécuter ces prodiges ? Bien peu de chose. Une bobine d'induction, une ampoule de verre, et une simple plaque photographique¹⁹.

En comparaison, les radiations de l'uranium sont beaucoup moins intéressantes. Elles sont d'abord très faibles : il faut des heures d'exposition, au contact, alors que dès 1897 dix minutes suffisent pour faire une radiographie avec les rayons X (la première radiographie, celle de la main de Bertha, l'épouse de Röntgen, avait pris une heure). Et surtout, personne n'y voit aucun intérêt pratique. L'exemple du physicien anglais Silvanus P. Thomson est probant à cet égard. Comme Becquerel, il s'intéressait aux rayons X, et comme lui, il imagina un lien possible entre la phosphorescence et les rayons X. Il observa, à peu près en même temps que Becquerel, que les sels d'uranium phosphorescents émettaient des radiations qu'il proposa d'appeler « hyperphosphorescence ». Mais Becquerel ayant publié sa découverte avant lui, il ne publia son article²⁰ que quelques mois plus tard, en juin 1896, puis abandonna complètement le sujet pour se consacrer aux rayons X. Après novembre 1896, Becquerel lui-même abandonne pour plusieurs années l'étude des radiations de l'uranium. Avec les moyens expérimentaux dont il dispose il ne voit pas comment aller plus loin.

UNE DÉCOUVERTE « PAR HASARD » ?

En développant ses plaques photographiques le 1^{er} mars 1896, Becquerel ne s'attendait certes pas à ce qu'il allait voir. Mais peut-on dire qu'il a découvert la radioactivité par hasard, sur une sorte de coup de chance ? Becquerel avait monté son expérience dans un but précis : observer, si elles existaient, des radiations, semblables aux rayons X, émises par des substances phosphorescentes. L'absence de soleil du 26 février au 1^{er} mars a certes joué un rôle important, de même que la décision de développer malgré tout les plaques photographiques. Mais sa démarche expérimentale l'aurait mené tôt ou tard à la même observation. Le propre du vrai physicien, c'est de s'étonner à bon escient. À cet égard, Becquerel n'a pas laissé passer sa chance²¹. Mieux, il a, par une succession d'expériences méthodiques et rigoureuses, peu à peu montré que son idée de départ était fautive, qu'il ne s'agissait nullement d'une phosphorescence, mais bien d'un phénomène nouveau, lié à l'élément uranium. C'est en cela qu'il a vraiment découvert la radioactivité. Silvanus Thomson a lui aussi fait la même observation en suivant une voie parallèle, mais sans persévérer. On peut aussi penser aux expériences faites en 1867 par le physicien français Niepce de Saint-Victor, qui observa qu'une plaque photographique était impressionnée par des sels d'uranium (ou d'acide tartrique, dit-il) longtemps après une exposition à la lumière²². Mais il ne vit là rien de bien extraordinaire, et ne découvrit pas la radioactivité.

La découverte de Becquerel était, c'est vrai, tout à fait inattendue. Toute vraie découverte ne l'est-elle pas ?

CHAPITRE 2

La physique à la fin du XIX^e siècle

Où l'on se penche sur la physique au tournant du XIX^e siècle, toile de fond des découvertes à venir : spectroscopie, thermodynamique, électromagnétisme sont en plein renouvellement. Où des progrès techniques de détail permettent des avancées majeures. Où l'organisation de la Recherche commence, elle aussi, à évoluer, avec l'émergence de grands laboratoires.

BECQUEREL AVAIT COUTUME DE DIRE que la radioactivité devait être découverte au Muséum. Il considérait que ses découvertes étaient « les filles de celles de son père et de son grand-père ; elles auraient été impossibles sans elles. »²³

De son côté Ernest Rutherford, dans un cours fait en mars 1905 à l'Université de Yale, remarquait que la radioactivité aurait pu être découverte presque un siècle plus tôt :

[...] il est intéressant de noter que la découverte des propriétés radioactives de l'uranium aurait pu être faite accidentellement il y a un siècle, car tout ce qui était nécessaire était d'exposer la borne d'un électroscope à feuilles d'or chargé à un composé d'uranium. Des indications de l'existence de l'élément uranium avaient été données par Klaproth en 1789, et si on l'avait placée près d'un électroscope chargé, la propriété de cette substance de le décharger n'aurait pu passer inaperçue. Il n'aurait pas été difficile d'en déduire que l'uranium émettait un type de radiation capable de traverser des métaux opaques à la lumière ordinaire²⁴.

Mais c'était pour ajouter immédiatement :

On ne serait probablement pas allé plus loin, car à cette époque la connais-