

NOTICE
SUR LA VIE ET L'ŒUVRE
DE
JEAN BECQUEREL

Membre de la section de physique

PAR

M. LOUIS DE BROGLIE

de l'Académie française,
Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.

LECTURE FAITE EN LA SÉANCE ANNUELLE DES PRIX DU 9 DÉCEMBRE 1963.

MESSIEURS,

Dans les Lettres, dans les Sciences et dans les Arts, on a vu quelquefois apparaître, au cours de l'Histoire, des hommes appartenant aux générations successives d'une même famille qui se sont brillamment illustrés dans un même domaine et dont les œuvres semblent se prolonger et présenter entre elles un lien de continuité. Pour n'en donner que deux exemples empruntés à l'histoire des

Sciences, on peut citer la famille des Bernoulli et celle des Cassini. Néanmoins, si de tels exemples existent, ils sont rares car la transmission par l'hérédité des qualités intellectuelles est capricieuse et les circonstances souvent aléatoires qui orientent les destinées individuelles empêchent le plus souvent les membres d'une même lignée de suivre des voies parallèles.

Dans la Science Française, depuis un siècle et demi, l'exemple le plus remarquable d'une famille qui a fourni pendant plusieurs générations des chercheurs ayant travaillé avec un remarquable succès dans une même branche de la science et même, pourrait-on dire, dans une direction presque unique, a été certainement celle des Becquerel. De père en fils, quatre physiciens portant ce nom ont siégé dans notre Compagnie, chacun d'eux s'est rendu célèbre par une œuvre considérable et de la plus haute qualité portant essentiellement sur l'étude de l'Électricité, de l'Optique et des rayonnements et, avec le recul dont nous disposons maintenant pour les juger, leurs travaux nous apparaissent comme se prolongeant et se complétant mutuellement. Aussi paraissait-il particulièrement indiqué de consacrer une des Notices qui sont annuellement lues dans cette enceinte au dernier représentant de cette célèbre famille de physiciens, à Jean Becquerel que beaucoup d'entre nous ont connu et dont l'œuvre, à la fois minutieuse et très étendue, n'est peut-être pas toujours, en raison de sa complexité, appréciée à sa juste valeur.

Mais il n'est pas possible de parler de Jean Becquerel sans évoquer d'abord rapidement les origines de la famille à laquelle il appartenait et la figure des illustres physiciens dont il descendait et dont il a continué l'œuvre.

La famille Becquerel paraît être d'origine flamande et on la trouve, il y a trois siècles, résidant dans la région d'Amiens. Elle vint ensuite s'installer à Paris, puis se fixa à Chatillon-Coligny dans l'actuel département du Loiret. C'est là que l'on trouve sous le règne de Louis XVI un Becquerel exerçant les fonctions de Lieutenant du Roi dans la région. Son fils, après lui avoir succédé dans

ce poste, devint sous la révolution administrateur du Loiret: c'est lui qui fut le père d'Antoine-César Becquerel le premier de la grande dynastie des Becquerel Physiciens.

Antoine-César Becquerel, né en 1788 et qui devait atteindre l'âge de 90 ans, entra en 1806 à l'École Polytechnique, en sortit dans l'arme du Génie et prit une part active aux guerres napoléoniennes en Espagne et en Russie. Décoré de la Légion d'Honneur, il prend encore part à la campagne de France en 1814, puis il quitte l'armée avec le grade de Chef de Bataillon. C'est alors que ce militaire de 27 ans s'oriente vers les Sciences: il entre au Muséum d'Histoire Naturelle que ses descendants ne devaient plus quitter. Sa carrière de savant est rapide et prestigieuse. A 31 ans, en 1829, il entre à l'Académie des Sciences où il va siéger pendant 59 ans. En 1838, on crée pour lui au Muséum une Chaire de Physique appliquée aux Sciences naturelles qu'aucun âge de retraite n'existant alors dans cet établissement, il occupera encore pendant sa quatre-ving-dixième année. Il ne saurait être question ici d'exposer en quelques lignes l'œuvre colossale d'Antoine-César Becquerel qui fit l'objet d'environ 500 Mémoires ou Travaux. Elle porta principalement sur la Science, encore toute jeune alors, de l'Électricité. C'est lui qui a découvert et étudié le premier les phénomènes thermoélectriques et en a fait les premières applications techniques, préludes de toutes celles, si nombreuses et si importantes, qui existent aujourd'hui. Il a réalisé, avant Daniell, les premières piles avec dépolariation des électrodes qui permettent d'obtenir des courants constants. En électrometallurgie, il a été un précurseur et un réalisateur remarquable. Toute sa vie, il a réfléchi avec profondeur aux relations qui existent entre les phénomènes électriques et ceux où interviennent la chaleur et la lumière. Et ces recherches, si diverses et si difficiles à effectuer avec les moyens restreints dont les physiciens disposaient alors, il les a poursuivies jusque dans son extrême vieillesse.

Ce fut son troisième fils, Edmond Becquerel, qui recueillit le flambeau quand il échappa aux mains défaillantes de son père. Edmond

Becquerel avait d'abord été le préparateur, le collaborateur, le confident de son père qu'il avait constamment aidé dans ses travaux et dans ses enseignements du Muséum. Brillant élève, il avait été reçu à l'École Polytechnique, mais il avait renoncé à y entrer afin de se consacrer entièrement à aider son père et à poursuivre avec lui une œuvre désormais commune. Sa carrière scientifique devait être, elle aussi, brillante puisque, né en 1820, il rejoignait dès 1863, son père au sein de notre Compagnie et, qu'à la mort de celui-ci, en 1878, il devenait titulaire de la Chaire de Physique du Muséum qu'il devait occuper jusqu'à sa mort à 71 ans en 1891. Ses travaux portèrent notamment sur l'Électrochimie et l'Électrolyse dont il contribua beaucoup à faire connaître la nature et les lois. Il fit aussi de très importantes recherches sur le paramagnétisme et la polarisation rotatoire magnétique, récemment découverte par Faraday : il ouvrait ainsi des voies naturelles où son petit-fils Jean allait, près d'un siècle plus tard, récolter une abondante moisson de très importants résultats. Mais la partie peut-être la plus essentielle de l'œuvre d'Edmond Becquerel fut consacrée aux phénomènes où l'énergie de la lumière se transforme en énergie chimique ou électrique et aux phénomènes inverses. L'étude de la phosphorescence retint son attention pendant toute la fin de sa vie. Il en étudia en détail de nombreux cas et tenta d'en déterminer avec précision les modalités et les lois. Et ainsi il ouvrait la voie dans laquelle son fils Henri allait s'engager et être amené à faire l'une des plus importantes découvertes de la science moderne.

Henri Becquerel, second fils d'Edmond, devait en effet continuer la dynastie des Becquerel Physiciens. Né en 1852, il suit la tradition de sa famille en entrant à l'École Polytechnique et devient Ingénieur des Ponts et Chaussées. Étroitement associé aux travaux de son père, il étudie avec lui le phénomène de la polarisation rotatoire magnétique découvert par Faraday et en détermine les lois. Il soutient en 1888 une thèse de doctorat sur l'absorption de la lumière dans les cristaux en particulier dans les terres rares et ainsi il

semble déjà dans ses travaux de jeunesse dessiner à l'avance les grandes lignes de l'œuvre de son fils. Puis, ayant succédé à son père dans la Chaire de Physique du Muséum, devenu Professeur à l'École Polytechnique et Membre de notre Académie dès 1889, il oriente particulièrement ses travaux vers l'étude des phénomènes de luminescence. Et soudain, au début de 1896, c'est l'immense découverte, celle qui va être à l'origine de toute la physique nucléaire contemporaine: la mise en évidence de la radioactivité de l'Uranium. On a trop souvent exposé les circonstances curieuses de cette grande découverte pour qu'il soit utile de les rappeler ici. Son extrême importance étant immédiatement reconnue, Henri Becquerel jouit désormais d'une renommée internationale. Il ne tarde pas d'ailleurs à reconnaître l'existence des trois rayonnements émis par l'Uranium et dénommés depuis α , β , et γ , puis il voit Pierre et Marie Curie compléter son œuvre par la retentissante découverte du Radium. Dès lors, les plus hautes récompenses viennent rapidement couronner ses travaux. En 1903, il reçoit le prix Nobel de Physique qu'il partage avec Pierre et Marie Curie et en 1908 il remplace Albert de Lapparent comme Secrétaire Perpétuel de notre Académie. Mais dans cette même année 1908, il meurt subitement au mois d'Août d'une crise cardiaque, âgé seulement de 56 ans.

Henri Becquerel avait, en premières noces, épousé la fille du physicien Jamin qui fut aussi membre de notre Académie et l'un de ses Secrétaires Perpétuels de 1884 à 1886. Jamin avait accompli de très beaux travaux dans le domaine de l'Optique et notamment attaché son nom au dispositif interférentiel qu'on nomme « Miroirs de Jamin ». Si j'ajoute qu'un neveu d'Henri Becquerel, Paul Becquerel, devait devenir un spécialiste éminent de la biologie végétale, homme d'une haute culture qui fut Professeur à l'Université de Poitiers et Correspondant de notre Académie, on se rendra compte à quelle remarquable famille de grands savants appartenait Jean Becquerel.

*
* *

Jean Becquerel naquit à Paris le 5 Février 1878 du premier mariage d'Henri Becquerel avec Mademoiselle Jamin. Sa mère mourut à 20 ans peu de temps après sa naissance de sorte qu'il fut entièrement élevé par son père. Enfant précoce d'une intelligence très vive, il fut un brillant élève et, suivant la tradition de sa famille, il prépara l'École Polytechnique où il fut brillamment reçu en 1897. Comme son père, il en sortit dans le Corps des Ponts et Chaussées. Attiré par hérédité sans doute, vers la recherche scientifique, il devient en 1903 Assistant de son père au Muséum. Après la mort prématurée de celui-ci, âgé seulement de 30 ans, il sera sans difficulté nommé titulaire de la Chaire de Physique du Muséum, tant il paraissait naturel qu'un quatrième Becquerel y succéda aux trois premiers. C'est dans ce laboratoire qu'il va désormais travailler pendant toute sa vie. Mais il reste en liaison étroite avec l'École Polytechnique. Il y exerce à partir de 1911 les fonctions de Répétiteur adjoint, puis en 1919 il y devient répétiteur titulaire et Professeur suppléant; enfin en 1924 il est nommé Examineur, poste qu'il conservera jusqu'à sa retraite.

Dans sa carrière toute droite et toute simple, entièrement consacrée au travail, peu de choses sont à signaler. L'Académie des Sciences, qui avait dès 1899 encouragé ses débuts dans la carrière scientifique en lui attribuant le prix Rivot réservé aux meilleurs élèves de l'École Polytechnique, lui attribua ensuite en 1913 le prix Hughes et en 1936 le prix La Caze. Enfin, en Janvier 1946, il succéda à Jean Perrin dans la section de Physique générale de notre Académie. A la fin de sa vie, il était Commandeur de la Légion d'Honneur. Ayant ainsi dit en quelques mots l'essentiel sur sa carrière et nous réservant de revenir plus loin sur sa personne et quelques points de sa vie privée, nous devons maintenant aborder l'analyse de son œuvre scientifique.

Après certains travaux de jeunesse dont quelques-uns ne se confirmèrent pas par la suite, il s'orienta rapidement dans une direction de recherches qui prolongeait très exactement celles qu'avaient suivies son arrière-grand-père, son grand-père et son père. A cette époque, l'attention des physiciens était particulièrement attirée par l'étude du phénomène découvert par Zeeman en 1896 et connu sous le nom d'effet Zeeman. On sait qu'il consiste en une décomposition en plusieurs raies sous l'action d'un champ magnétique des raies normalement émises par un atome. L'existence de l'effet Zeeman avait été prédite par Lorentz à l'aide de sa théorie des Électrons dont ce fut l'un des grands succès. L'effet Zeeman avait surtout été observé avec des gaz ou des liquides et l'on savait qu'il était en réalité beaucoup plus compliqué que ne le prévoyait la théorie de Lorentz, vérifiée seulement dans des cas simples. Jean Becquerel eut, dès 1906, l'idée d'étudier systématiquement ce phénomène dans le cas des cristaux, en particulier pour les composés des Terres rares. Il eut vite fait de constater que dans ce cas l'effet Zeeman présente des caractères tout à fait différents de ceux qu'on avait rencontrés jusqu'alors. En particulier, on observe parfois un décalage de raies dans l'échelle des fréquences par l'effet des champs magnétiques qui est l'inverse de celui que prévoit la théorie de l'effet Zeeman normal. A l'époque où ce fait qui semblait étrange était ainsi découvert, on interprétait, à la suite de Lorentz, le signe du décalage des raies normalement observé comme traduisant la valeur négative de la charge de l'électron. Jean Becquerel fut ainsi amené, et d'ailleurs avec d'autres physiciens, à penser que le décalage inverse qu'il observait révélait l'existence dans la matière d'électrons positifs et il fit quelques expériences pour essayer de mettre cette existence directement en évidence. Il dut y renoncer et admettre que les électrons présents normalement dans la matière sont bien tous négatifs. Nous savons aujourd'hui qu'il existe des électrons positifs, mais ces « positons » n'apparaissent qu'exceptionnellement et n'ont qu'une durée de vie très brève : ce ne sont pas

ceux qu'imaginait Jean Becquerel et c'est dans une autre direction, à l'aide de conceptions nouvelles, que les théories contemporaines interprètent l'inversion du décalage des raies qu'il avait observée. Mais, à l'époque où il faisait cette découverte, il était naturel de chercher à l'interpréter par la présence normale d'électrons positifs dans la matière et, indépendamment de toute interprétation, il avait eu le mérite de signaler un fait entièrement nouveau.

C'est vers la même époque qu'il eut une idée nouvelle qui devait se montrer très fructueuse et orienter désormais toutes ses recherches ultérieures: celle d'étudier l'action des très basses températures sur l'émission, la propagation et l'absorption de la lumière dans la matière. Il allait ainsi créer « l'optique aux basses températures », branche nouvelle de l'Optique dont il est véritablement le père et à laquelle il allait désormais consacrer la plus grande partie de ses recherches personnelles. Ce fut au Muséum qu'il commença ce genre de travaux, mais les moyens dont il disposait dans son laboratoire ne lui permettaient guère de réaliser des températures inférieures à environ -200 degrés centigrades. Ayant reconnu le grand intérêt d'employer de très basses températures, il prit dès 1908, l'habitude d'aller fréquemment travailler au Laboratoire cryogène de Leyde où il put disposer de températures beaucoup plus basses de l'ordre de celles de liquéfaction de l'Hydrogène et de l'Hélium. Ainsi commença entre Jean Becquerel et les savants qui travaillaient dans le laboratoire de Leyde une fructueuse collaboration qui se prolongea pendant de longues années. Au début, le laboratoire cryogène était dirigé par Kamerlingh Onnes qui en avait été le fondateur: après sa mort il le fut par Johannes de Haas. Ces deux savants éminents, qui furent Associés étrangers de notre Académie, y furent entourés de collaborateurs de valeur, spécialisés dans l'étude des très basses températures, et Becquerel se trouva là dans un milieu particulièrement favorable au développement de ses travaux.

Un des premiers résultats mis en évidence dans ce domaine par

Jean Becquerel fut la grande simplification que présentent les spectres d'absorption des cristaux quand ils sont très refroidis. Quand la température s'abaisse, on voit les bandes d'absorption observées à la température ordinaire se décomposer en raies, les raies elles-mêmes devenir moins nombreuses et plus fines. Aux très basses températures de l'ordre de quelques degrés Kelvin, certaines raies disparaissent et un grand nombre s'affaiblissent après avoir passé par un maximum d'intensité. Il s'agit donc là de phénomènes très complexes dont l'interprétation détaillée est difficile. Becquerel a cependant très nettement aperçu que cette simplification des spectres est due à la simplification des structures matérielles aux très basses températures. L'agitation thermique a pour effet qu'aux températures usuelles les édifices atomiques ou moléculaires se trouvent fréquemment portés à des niveaux d'énergie quantifiée supérieure au niveau d'énergie minimale normale. Il en résulte la possibilité de nombreuses transitions quantiques correspondant à des phénomènes d'émission et d'absorption de la lumière. De là la richesse et la complexité aux températures usuelles du spectre d'absorption des cristaux étudiés par Becquerel. Mais aux très basses températures, l'agitation thermique tend progressivement à disparaître et, les édifices atomiques et moléculaires tendant à s'immobiliser dans leur état d'énergie quantifiée minimale, les transitions quantiques possibles diminuent et la structure des spectres d'absorption se simplifie. Ainsi les nombreuses et minutieuses observations de Jean Becquerel dans ce domaine font-elles voir d'une manière très frappante la diminution de l'agitation thermique et, si l'on peut s'exprimer ainsi, la « congélation » des structures matérielles aux très basses températures.

Une autre série de remarquables recherches de notre regretté Confrère a porté sur la polarisation rotatoire magnétique des cristaux. Le phénomène de la polarisation rotatoire avait été découvert vers le milieu du siècle dernier par Faraday (1845). Dès 1854, Verdet énonçait la loi qui porte son nom exprimant que la rotation du plan

de polarisation de la lumière pendant la traversée d'un corps transparent soumis à un champ magnétique est proportionnelle au champ magnétique appliqué et à l'épaisseur du corps traversée.

La constante de proportionnalité a reçu le nom de « constante de Verdet ». Henri Becquerel s'était beaucoup intéressé à ce phénomène et lui avait consacré sa seconde thèse de doctorat. En 1897, il avait donné une expression de la constante de Verdet en fonction de la dispersion du corps traversé (c'est-à-dire de la variation de son indice de réfraction en fonction de la longueur d'onde) et cette formule d'Henri Becquerel avait ensuite permis de déduire des faits observés la valeur numérique de la fameuse constante $\frac{e}{m}$, rapport de la charge électrique à la masse de l'électron, ce qui prouvait une fois de plus l'intervention de l'électron dans la propagation de la lumière à l'intérieur d'un corps transparent. Or l'on sait que les propriétés magnétiques des corps se présentent sous deux formes différentes: le diamagnétisme et le paramagnétisme. Le diamagnétisme se manifeste dans tous les corps matériels: il dépend uniquement de la structure interne des atomes, est par suite indépendant de la température et se traduit par une aimantation du corps en sens inverse du champ qui lui est appliqué. Au contraire, le paramagnétisme n'existe que pour les corps dont les atomes ou molécules ont un moment magnétique non nul: il résulte d'un alignement partiel de ces moments produit par l'action d'un champ magnétique extérieur, mais contrecarré par l'agitation thermique. Le paramagnétisme, qui se traduit par une aimantation du corps dans le sens du champ appliqué, est donc fonction de la température et diminue rapidement quand la température augmente. Les célèbres théories de Paul Langevin sur le diamagnétisme et le paramagnétisme avaient beaucoup contribué à faire mieux comprendre l'origine et les différences de ces deux phénomènes qui se superposent dans le cas des corps paramagnétiques, le second étant alors beaucoup plus important que le premier. Or, la loi de Verdet complétée par la formule

d'Henri Becquerel conduisait à considérer le pouvoir rotatoire des corps comme indépendant de la température, c'est-à-dire comme un effet du type « diamagnétique ». Des controverses s'étaient élevées à ce sujet et l'on s'était demandé s'il n'existait pas aussi un pouvoir rotatoire du type « paramagnétique », c'est-à-dire dépendant de la température. Une grande découverte faite par Jean Becquerel dans des travaux exécutés notamment dans la période 1925-1930 a été la mise en évidence dans certains corps transparents d'une polarisation rotatoire paramagnétique. Comme tout phénomène du type paramagnétique, l'effet en question doit s'amplifier rapidement quand la température s'abaisse. Et, en effet, dans une série de recherches très nombreuses et très minutieuses comme toutes celles qu'il entreprenait, Becquerel a montré que la polarisation rotatoire magnétique, souvent déjà importante à la température ordinaire, augmente considérablement quand la température s'abaisse beaucoup. C'est ainsi qu'à 4,5 degré absolu, la rotation du plan de polarisation produite par une lame d'un cristal de Tysonite d'un millimètre d'épaisseur dans un champ de 27 000 gauss peut atteindre l'énorme valeur de 4 530 degrés pour la radiation verte du Mercure.

Jean Becquerel a pu établir, à partir des faits expérimentaux quelle était la variation du pouvoir rotatoire en fonction du champ magnétique et de la température. Comme on pouvait s'y attendre, la formule qui exprime le pouvoir rotatoire d'un corps paramagnétique est étroitement reliée à celle qui donne son aimantation et se compose de deux termes: le premier de type diamagnétique proportionnel au champ et à l'épaisseur traversée, est indépendant de la température et correspond exactement à la loi de Verdet-Henri Becquerel tandis que le second de type paramagnétique, toujours proportionnel au champ et à l'épaisseur traversée, varie en raison inverse de la température. C'est ce second terme qui devient entièrement prépondérant aux très basses températures et qui produit les énormes rotations du plan de polarisation observées par Jean Becquerel.

Physicien très scrupuleux, Becquerel ne se bornait pas à observer avec soin les phénomènes, il en recherchait aussi l'interprétation, même au prix de calculs longs et difficiles qu'il exécutait lui-même. Pour débrouiller l'écheveau compliqué des phénomènes qu'il étudiait, il se tint souvent en contact avec deux éminents physiciens théoriciens spécialistes des théories quantiques, le Hollandais H. A. Kramers aujourd'hui disparu et l'Américain J. H. Van Vleck dont les noms figurent sur la liste de nos correspondants.

La théorie de Langevin sous sa forme primitive ou sous la forme un peu modifiée que lui avait donnée M. Léon Brillouin en y introduisant les conceptions quantiques n'est rigoureusement valable que pour des gaz parfaits. Elle prévoit une saturation de l'aimantation paramagnétique par les valeurs élevées du quotient $\frac{H}{T}$ du champ magnétique appliqué par la température absolue. En 1923 Kamerlingh Onnes et Woltjer étudiant l'aimantation du sulfate de Gadolinium à très basse température (1,3° K) sous l'action d'un champ magnétique élevé (22 000 Gauss) étaient presque parvenus à obtenir le palier de saturation bien qu'un cristal de sulfate de Gadolinium soit quelque chose de bien différent d'un gaz parfait. Or en 1929, Jean Becquerel se rendit compte, à la fois par l'étude de la décomposition des bandes d'absorption sous l'influence d'un champ magnétique et par l'étude de la polarisation rotatoire magnétique aux plus basses températures réalisables, qu'il devait exister dans les cristaux qu'il étudiait un champ électrique dû aux ions voisins des ions magnétiques. C'est ce « champ cristallin » qui décomposerait les états énergétiques existant dans les ions libres et qui serait ainsi à l'origine des effets très complexes qui sont en général observés. Si Kamerlingh Onnes et Woltjer ont pu obtenir avec du sulfate de Gadolinium un résultat simple assez inattendu, ceci est dû à ce que dans ce corps l'aimantation est attribuable uniquement aux spins des électrons sur lesquels le champ électrique n'agit pas de sorte que l'ion gadolinium se comporte comme un ion libre; mais c'est là un cas très exceptionnel.

L'introduction de la notion du champ cristallin dans la théorie quantique du paramagnétisme a permis à Kramers, Van Vleck et leurs collaborateurs d'obtenir des formules intéressantes à comparer avec l'expérience. Aussi, à partir de 1929, Jean Becquerel s'est-il particulièrement attaché à étudier expérimentalement à ce point de vue des corps appartenant à la famille du fer (Manganèse, Fer, Nickel) et des corps de la famille des Terres rares. C'est au cours de ces recherches qu'il parvint à obtenir pour la première fois, avec les éthylsulfates de Dysprosium et d'Erbium la saturation paramagnétique complète en accord avec les théories, résultat remarquable qui allait beaucoup plus loin que l'observation antérieure d'une saturation seulement approchée du sulfate de Gadolinium par Kamerlingh Onnes et Woltjer.

Une autre découverte importante fut faite par Jean Becquerel en étudiant certains carbonates contenant du fer et notamment la mé-sitite de Traversella que lui avait procuré notre nouveau Confrère M. Orcei. En étudiant la polarisation rotatoire produite par ce corps à diverses températures très basses, il observa des phénomènes de rémanence et de cycle d'aimantation analogues à ceux qui sont classiques en ferromagnétisme. Ces phénomènes, que Jean Becquerel a désignés sous le nom de « métamagnétisme » et dont il a cherché à développer une théorie, sont sans doute un peu apparentés à ceux qu'avaient observés Cotton et Mouton avec certains colloïdes, ce qui leur avait permis de fabriquer d'assez étranges aimants transparents.

Poursuivies pendant de longues années avec beaucoup de conscience et de persévérance, les recherches de Jean Becquerel que je viens d'analyser nous ont fait connaître une masse énorme de faits nouveaux dans des domaines qui étaient restés totalement inexplorés avant lui. Assurément les théories actuelles même avec l'aide des conceptions quantiques, sont, je pense, loin d'avoir permis d'interpréter tout ce qu'il a observé. Mais c'est là une raison de plus pour penser que les très nombreux mémoires dans lesquelles

il a consigné les résultats de ses minutieux travaux expérimentaux continueront longtemps à constituer de précieux documents pour les physiciens de l'avenir.

Je ne saurais terminer cette analyse des travaux de Jean Becquerel sans dire un mot de ceux qu'il fit, au service de la défense nationale, pendant la guerre de 1914-18. Mobilisé au début de la guerre comme capitaine de Génie territorial, il est attaché au gouvernement militaire de Paris et chargé de diriger divers travaux de construction dans la région parisienne. Puis, en Octobre 1915, quand commencent à s'organiser les recherches scientifiques pour la défense nationale, M. Edmond Perrier, Directeur du Muséum et alors Président de l'Académie des Sciences, le fait désigner pour faire partie de ceux qui vont s'occuper de ces recherches. Dès lors il travaille principalement pour la Marine dans son laboratoire du Muséum et à Toulon. Avec l'aide de M. Matout qui fut pendant longtemps son Assistant et son dévoué collaborateur, il met au point un système de signalisation optique entre navires permettant la transmission secrète de signaux Morse. Cet appareil léger, peu volumineux, très pratique à employer en mer, réalisait un progrès notable sur les appareils déjà existants, notamment en ce qui concernait la portée des communications.

Il fit aussi de nombreuses recherches sur les microphones sous-marins, question qui était alors très importante. Il mit au point des types nouveaux de ces microphones et, les ayant peu à peu perfectionnés, il obtint des résultats très intéressants. Ainsi, dans ces domaines de recherches un peu particuliers, il sut aussi montrer ses qualités de physicien averti et d'habile expérimentateur.

*
* *

En dehors de ses importantes recherches personnelles dont nous avons cherché à donner une vue d'ensemble, Jean Becquerel a toujours suivi avec intérêt et discernement les étapes du développement des idées fondamentales de la Physique contemporaine. Ayant

assidûment suivi dans sa jeunesse les brillants cours de Physique que Paul Langevin faisait alors au Collège de France, il avait profondément réfléchi sur la constitution atomique de la matière, la thermodynamique statistique, la théorie de la Relativité et celle des Quanta. Dans de nombreuses publications et conférences, il a fait lui-même d'intéressants exposés sur certains aspects de ces questions. Comme cela était bien naturel, il est revenu souvent sur la découverte de la Radioactivité et le développement de cette si importante branche nouvelle de la physique. Il a, en particulier, publié en 1924 dans la collection Payot un ouvrage intitulé « La Radioactivité et les transformations des éléments ».

Mais il portait un intérêt particulier au développement de la théorie de la Relativité. Il en connaissait très bien les bases et dans ses publications à plusieurs reprises, il a réfuté les objections erronées et sans cesse renaissantes qu'on lui a adressées. Dans cet ordre d'idées, on lui doit un très beau livre publié en 1922 chez Gauthier-Villars sous le titre « Le principe de Relativité et la théorie de la gravitation » où il a exposé les fondements et les applications de la théorie d'Einstein sous sa forme restreinte et sous sa forme généralisée: sa lecture est encore à l'heure actuelle une excellente introduction à l'étude de ces difficiles questions. A la même époque, il a fait également un exposé plus élémentaire de la théorie d'Einstein dans la collection Payot.

En outre, il a poursuivi également dans ce domaine de la théorie de la Relativité des recherches vraiment personnelles. C'est ainsi qu'il a étudié en détail le champ de gravitation d'une sphère matérielle et précisé la signification physique de la formule de Schwarzschild dans une intéressante brochure parue en 1923 chez Hermann. Les problèmes soulevés par la théorie d'Einstein n'ont jamais cessé de le préoccuper et, à la fin de sa vie, quand sa mise à la retraite lui rendit plus de temps pour son travail personnel, il s'était remis à leur étude. On trouve dans nos Comptes Rendus de l'Année 1951 deux notes écrites par lui sur le ralentissement du cours du temps

dans un champ de gravitation et sur la notion de temps dans un tel champ. Et, en 1953, c'est-à-dire l'année même de sa mort, il publiait encore dans les Comptes Rendus, en collaboration avec M. Couderc, deux notes sur le déplacement des raies spectrales des galaxies et sur les conséquences de l'expansion de l'Univers au sujet de l'exploration de l'espace. L'auteur de cette Notice se permet d'ajouter qu'il a eu quelquefois l'occasion de causer avec lui sur ce genre de problèmes et qu'il a conservé une intéressante lettre où Jean Becquerel lui signalait une manière non relativiste d'interpréter le déplacement vers le rouge des raies émises dans un champ de gravitation en faisant intervenir l'action de ce champ sur le mouvement des photons.

Notre regretté Confrère, fut aussi un très remarquable Professeur et tous ceux qui l'ont entendu exposer des questions complexes savent qu'il le faisait avec une très grande précision et d'une façon très instructive. Les cours qu'il professa à l'École Polytechnique vers 1919-1921 n'ont pas été publiés, ni ceux qu'il fit pendant de longues années au Muséum. Il a cependant publié ce que l'on peut considérer comme le début d'un cours de Physique générale dans deux volumes parus chez Hermann en 1924 et 1926. Le premier volume est consacré à la Thermodynamique et le second à l'Élasticité et à l'Acoustique. Il est certainement fâcheux qu'il n'ait pas achevé la publication du cours de Physique générale que ces deux premiers tomes amorçaient. Le volume consacré à la Thermodynamique est particulièrement intéressant: Becquerel y expose cette branche de la Physique en développant naturellement les principes et les formules classiques, mais en les envisageant constamment du point de vue de la théorie atomique de la matière et en les interprétant finalement par la Mécanique statistique. On sait combien un tel exposé est difficile à faire d'une manière entièrement correcte: on peut le comparer à un chemin semé de chausse-trapes. Jean Becquerel a su s'acquitter remarquablement bien de cette tâche difficile: on remarquera, en lisant son livre, la clarté des analyses qu'il a présentées sur le principe de Carnot-Clausius, sur la distinction entre

l'énergie libre de Helmholtz et l'énergie utilisable de Gouy, sur la théorie des fluctuations etc...

Le volume consacré à l'Élasticité et à l'Acoustique est également très intéressant. Grand amateur de Musique, Jean Becquerel y a naturellement beaucoup insisté sur les applications de l'Acoustique à la Musique. Aussi les 41 pages qu'il a consacrées à la Musique dans son exposé de l'Acoustique ont-elles été publiées à part sous forme de brochure par Hermann en 1926 à l'intention de ceux qui s'intéressent à l'aspect scientifique de la Musique.

En résumé, l'on voit par ce qui précède que Jean Becquerel, en dehors de son œuvre personnelle en Optique des basses températures, a possédé une connaissance approfondie de toutes les branches de la Physique générale et qu'il a même fait des recherches originales dans des domaines difficiles de la Physique théorique.

*
* *

Il me reste, avant de terminer, à évoquer la personne même de Jean Becquerel et quelques détails de sa vie.

Il était petit de taille et très vif. Il soutenait souvent ses opinions avec une très grande ardeur, mais il était toujours courtois, affable et bienveillant. C'était un homme d'une grande sensibilité et d'une très haute valeur morale. Grand travailleur, il se levait de bon matin pour se mettre à l'ouvrage et souvent il arrivait à son Laboratoire bien avant ses collaborateurs. Bien que travaillant en étroite collaboration avec d'autres savants, notamment les théoriciens Kramers et Van Vleck, il faisait et contrôlait lui-même toutes ses expériences et tous ses calculs, estimant qu'un véritable savant doit toujours vérifier lui-même son propre travail.

Malheureusement il fut toute sa vie d'une santé délicate: Il semble avoir hérité de son arrière-grand-père, le célèbre Antoine-César; d'une certaine faiblesse de poitrine. A 15 ans il avait eu une

pleurésie et avait subi une première atteinte de tuberculose. Plus tard, il eut deux rechutes dont l'une eut lieu pendant la guerre de 1914 à Toulon dont le climat, qui comporte souvent de brusques variations de températures, ne lui était pas favorable. Pendant toute son existence, il dut se ménager et Madame Becquerel, qu'il avait épousée en 1921, dut constamment veiller sur sa santé.

Il avait longtemps habité à Paris dans un bel et vaste appartement situé dans le quartier du Champs de Mars. Il y possédait une grande bibliothèque qu'avait constituée Antoine-César Becquerel, et dont les descendants avaient augmenté les richesses. Le goût de la vie libre, le souci de sa santé et d'autres raisons plus fortuites le décidèrent en 1923 à quitter ce logement parisien et à aller s'installer avec sa femme à Fontainebleau dans une belle et grande villa où il put transporter bibliothèque, souvenirs et documents. Il y vécut dès lors paisible et en toute indépendance. Cela ne l'empêcha cependant pas de participer à la vie locale de la belle cité où il résidait : Il y fit des conférences scientifiques et y présida quelques cérémonies telles que des distributions de prix. Il aimait à organiser avec des amis des parties de chasse, notamment dans la forêt d'Othe.

Le séjour paisible de Fontainebleau avait cependant pour lui un inconvénient. Les nombreuses obligations qu'il avait à Paris le forçaient à faire très fréquemment le trajet de Fontainebleau à la capitale et le trajet inverse, trajet qui en chemin de fer durait environ une heure ; mais ceci n'entraînait point pour lui une complète perte de temps car, sachant s'abstraire des bruits extérieurs, il s'était accoutumé à travailler dans le train pendant les trajets.

En 1938, au cours d'une émouvante cérémonie qui eut lieu au Muséum d'histoire naturelle, avait été célébré le centenaire de la création de la Chaire de Physique de ce grand établissement. De belles allocutions y furent prononcées, notamment par notre Confrère, M. André Léauté. La carrière et l'œuvre des quatre Becquerel qui avaient successivement été titulaires de cette chaire y avaient été

longuement évoquées et cette évocation avait certes été très émouvante pour le dernier d'entre eux, Jean Becquerel, qui avait à cette occasion lui-même rappelé les travaux de son père. Dix ans plus tard, en 1948, Jean Becquerel, âgé de 70 ans et atteint par la retraite, quittait ses fonctions de Professeur au Muséum et d'examineur à l'École Polytechnique. Il fut remplacé dans ces deux postes par M. Yves Le Grand qui, après la retraite de Louis Matout, remplissait, depuis longtemps déjà, au Muséum le rôle d'Assistant de Jean Becquerel. Ainsi la Chaire du Muséum cessait pour la première fois depuis 110 ans d'être occupée par un Becquerel.

Notre Confrère eut pendant ses quelques années de retraite une vie sédentaire, mais toujours laborieuse. Mais de vives douleurs dans les jambes le firent beaucoup souffrir et limitèrent d'une façon pénible ses déplacements et son activité.

Jean Becquerel possédait en Bretagne une résidence secondaire à Sainte-Marguerite près de Pornichet. C'était une vaste villa entourée d'un parc boisé. Il l'avait appelée « Ar Bann » ; ce qui, en langue bretonne, signifie « Les Rayons », en souvenir de la grande découverte de son père. Dans ses dernières années, il y prolongea ses séjours car il s'y plaisait beaucoup. Il goûtait la douceur océanique du climat de la côte atlantique de la Bretagne et il trouvait que les hivers y étaient beaucoup moins froids qu'à Fontainebleau. Il aimait à aller rêver sur les rochers au bord de la mer. Il aimait aussi à se promener dans les bois qui entouraient sa maison en se sentant complètement à l'abri des vents du large tout en voyant cependant ceux-ci agiter, souvent avec violence, la cime des arbres bien au-dessus de sa tête.

Il aimait la nature, il était très artiste et amateur des belles œuvres de l'art. Comme je l'ai dit à propos de son livre sur l'Acoustique, il était très musicien. Il appréciait beaucoup la musique religieuse et, toute sa vie, il eut auprès de lui, à Fontainebleau d'abord, puis en Bretagne, un orgue dont il jouait fréquemment. Il aimait

aussi les voyages et, en dehors de ses séjours de travail en Hollande, il fit souvent des voyages à l'Étranger, notamment en Suisse dans l'Oberland bernois et en Italie sur les bords du lac Majeur.

Messieurs,

Jean Becquerel est décédé dans sa villa Ar Bann le 4 Juillet 1953 à l'âge de 75 ans : il mourut très brusquement, d'une crise cardiaque comme son père. Après la cérémonie des obsèques qui eut lieu dans la petite église de Pornichet, son corps fut transporté dans le Loiret à Chatillon, berceau de sa famille, où maintenant il repose à côté de ceux de son arrière-grand-père Antoine-César, de son grand-père Edmond et de son père Henri.

La municipalité de Fontainebleau a donné son nom à l'une des rues de la ville. Ainsi sera conservé son souvenir dans l'endroit où il a si longtemps résidé et travaillé.

Vue dans la perspective de l'histoire, son œuvre, dont j'ai cherché à vous montrer l'ampleur et la richesse, nous apparaît maintenant comme la brillante et ultime floraison d'une longue lignée de très grands physiciens.

