



*Paul Langenitz*

## PAUL LANGEVIN

1872-1946

PAUL LANGEVIN naquit à Paris, dans le quartier de Montmartre, le 23 Janvier 1872.

Sa famille était de condition fort modeste. Son père, après avoir servi comme zouave dans l'Armée, devint mètreur-vérificateur dans le bâtiment. Il était issu d'une famille de Falaise en Normandie. On doit d'ailleurs une histoire de cette petite ville du Calvados à un abbé Langevin.

La mère de Paul Langevin, Marie-Adélaïde Pinel, était la petite nièce d'un aliéniste fort connu à l'époque et qui fut membre de l'Académie des Sciences de Paris.

De suite attiré vers les études scientifiques, il entra, le premier de sa promotion, à l'École Municipale de Physique et de Chimie Industrielles de la ville de Paris. Cette école était de création toute récente — Paul Langevin faisait partie de la septième promotion — et tentait d'inaugurer en France un enseignement de la physique et de la chimie dans lequel l'expérimentation tiendrait une grande place.

Dans cette École — qu'il devait plus tard diriger et qu'il marqua profondément — il reçut en particulier les leçons de Pierre Curie. Il en sortit également le premier de sa promotion puis passa de 1894 à 1897 à l'École Normale Supérieure. Et là, comme au concours de l'Agrégation des Sciences Physiques il distança largement tous ses camarades de classe, affirmant déjà ses exceptionnelles qualités.

Lorsque l'on examine le déroulement d'une existence, si longue et si féconde qu'elle ait pu être, on est presque toujours amené à discerner l'occasion ou l'événement qui furent déterminants dans son orientation générale. Pour Paul Langevin, l'octroi, en 1897, par la Ville de Paris, d'une bourse d'études à l'étranger, a certainement possédé ce caractère car le jeune et déjà brillant physicien fut ainsi amené à poursuivre ses études au laboratoire Cavendish à Cambridge. Il y fit la connaissance de physiciens éminents, devenus depuis célèbres, et il garda toute sa vie un souvenir vivace de cette période de son existence. Ses collègues britanniques en eurent une impression que Lord Rutherford résumait fort bien lorsqu'il disait à ceux des élèves de Langevin qui venaient au Laboratoire Cavendish — 'Dites à votre Maître qu'il sera toujours chez lui ici' —

De retour en France en 1900, Paul Langevin continue ses recherches à la Sorbonne, comme préparateur, puis comme chef de travaux de la chaire d'Enseignement de Physique. Ce travail, amorcé à l'École Normale Supérieure et poursuivi à Cambridge, portait sur les propriétés des Rayons X, découverts peu auparavant par Roentgen, et sur l'ionisation des gaz.

Downloaded from https://royalsocietypublishing.org/ on 03 October 2022

Le 28 avril 1900, paraît sa première publication au *Bulletin de la Société française de Physique*: elle est intitulée 'sur l'ionisation des gaz'.

C'est également sur ce sujet qu'en 1902 il soutient sa thèse de doctorat. Sous le titre: 'Recherches sur les gaz ionisés' il est ainsi amené à publier le premier exposé d'ensemble, expérimental et théorique, de ses recherches sur les ions gazeux.

En 1905 il succède à Pierre Curie comme professeur à l'École de Physique et de Chimie. En 1909 il devient Directeur des Études de cette École à laquelle il consacra, toute sa vie, une part importante de son activité et qu'il dirigera, de 1925 jusqu'à sa mort — avec la seule interruption de la période pendant laquelle la France souffrit de la domination conjointe des nazis et de leurs complices français — Ces derniers révoquèrent Langevin de ses fonctions, tandis que leurs maîtres le mettaient en état d'arrestation puis en résidence surveillée à Troyes.

Mais ce n'est pas seulement à l'École de Physique et de Chimie qu'il enseigna la physique avec une maîtrise extraordinaire.

En 1909 l'assemblée du Collège de France, soucieuse de maintenir à un très haut niveau l'enseignement et l'effort scientifique de l'établissement, fit appel à Paul Langevin pour succéder à Mascart. Paul Langevin, depuis sept années déjà, suppléait Mascart au Collège de France. La valeur exceptionnelle de ses travaux et la fécondité de son enseignement devaient naturellement conduire l'assemblée à porter son choix sur le jeune et déjà célèbre physicien.

Paul Langevin eut la joie de devenir ainsi le proche collègue de Marcel Brillouin dont il avait été l'élève à l'École Normale d'abord, au Collège de France ensuite. Il aimait à parler de son ancien maître et à lui exprimer en maintes occasions sa gratitude et son affection.

Quant à celui-ci, il était toujours resté fier de son élève et, en 1945, de sa retraite dans une petite ville de France il lui écrivit pour son 73<sup>e</sup> anniversaire une lettre fort émouvante dont je reproduis ci-dessous quelques passages:

'Que je pense souvent, dans ma quasi solitude rurale, aux années où j'ai eu le plaisir de vous interroger, pour l'entrée à l'École Normale, sans pouvoir trouver une limite à l'étendue, à la précision, à la clarté des connaissances acquises par vous à l'École de Physique et Chimie que vous dirigez maintenant, et par la conversation avec Pierre Curie. . . . Quand vous êtes entré à l'École Normale, votre esprit avait déjà acquis toute sa maturité, et je ne crois pas vous avoir appris grand'chose.

'Ce qui a le plus ajouté à vos connaissances, c'est le séjour que vous avez fait, peu après votre sortie de l'École Normale, à l'Université de Cambridge. Là vous avez trouvé des maîtres dont la formation toute différente de celle que nous donnait en France l'organisation primaire supérieure ou secondaire, obligeait un esprit déjà formé comme le vôtre, à des remaniements assez importants en vue de bien utiliser la fréquentation de savants éminents comme J. J. Thomson, Lamor, et de camarades de laboratoire qui allaient devenir rapidement célèbres, comme Rutherford,

Wilson, Townsend. En revenant de Cambridge, vous étiez, à mon avis, le professeur typique destiné au Collège de France et je n'ai pas eu de peine à partager cette opinion avec mon beau-père Mascart. Dans cette chaire, vous avez pu donner la pleine mesure de votre promptitude à vous assimiler, à compléter et à exposer avec une étonnante clarté, les théories les plus nouvelles et imprévues, provoquées par les résultats inattendus de Michelson, l'importance du changement de variable de Lorentz et la forme, la plus simple d'abord, la plus complète, quelques années après, de la théorie de la relativité d'Einstein. D'autres ont fait imprimer plus vite des livres sur ces délicates théories; c'est de vous, au Collège de France, que tous ceux qui les savent bien, et avec finesse, les ont apprises, soit à vos leçons, soit aux réunions avec discussions fréquentées avec assiduité chaque mardi et vendredi dans le grand et peu confortable amphithéâtre de physique.

— 'Que n'y avez-vous pas ajouté! Que n'avez-vous pas semé, alors, presque sans vous en douter, par les remarques que vous suggérait les objections ou commentaires de quelques-uns des assistants et non des moindres. . . .'

Paul Langevin fût membre d'un très grand nombre d'Académies et de Sociétés Scientifiques de beaucoup de pays. Il eut, en particulier, le très grand honneur de succéder, en 1928, à H. A. Lorentz, à la présidence du Comité scientifique de l'Institut International de Physique Solvay. En cette qualité il assura la présidence des Conseils de Physique Solvay de 1930 et de 1933. Il était membre de la 'Royal Society' depuis, et de l'Académie des Sciences de l'Institut de France depuis le 25 juin 1934.

Par ses travaux scientifiques et son enseignement d'une fécondité extraordinaire, Paul Langevin a grandement contribué à donner à la physique une place dominante dans les sciences. Les travaux expérimentaux, la marque de sa pensée se retrouvent dans le grand mouvement de recherches et d'idées qui ont déferlé depuis la fin du siècle dernier et qui ont conduit à nous donner une compréhension plus exacte de la Nature, une meilleure représentation des phénomènes qui s'y produisent.

Les découvertes expérimentales l'ont obligé, ainsi que les grands physiciens de son époque, à critiquer et à modifier profondément les notions fondamentales concernant le temps, l'espace, la mécanique, la structure de la matière et du rayonnement.

L'histoire montre combien cette période a été agitée tant du point de vue de science que de celui de la vie sociale.

Dans cette tourmente, dont les deux aspects ci-dessus, ne sont qu'en apparence indépendants, il est des hommes qui ont su dominer les événements et tenir haut le flambeau de la vérité. Paul Langevin fût un de ceux-là.

Lorsqu'il lui arrivait d'essayer de situer son oeuvre de physicien dans l'évolution de la Science il aimait à dire qu'il avait vécu successivement les grandes crises révolutionnaires de la relativité et des quanta que la physique a subies depuis les cinquantes dernières années.

Il évoquait à ce propos les difficultés d'adaptation de l'esprit aux nouvelles manières d'interroger la nature. Mais ces difficultés il sut les vaincre.

Dans la théorie des ions, dans l'étude du dia et du paramagnétisme, dans la théorie des biréfringences électriques et magnétiques ses travaux sont absolument fondamentaux.

Les grands mouvements d'idées créés par la relativité, les quanta, la mécanique ondulatoire trouvent en Langevin non seulement un adepte, non seulement un éducateur prestigieux mais aussi un participant de première importance, et la célèbre loi d'équivalence entre la matière et l'énergie fût établie par lui-même, indépendamment d'Einstein.

Paul Langevin a toujours été convaincu de la nécessité d'une liaison étroite et continue, entre la science pure et la technique, entre le savant et le praticien de manière que celui-ci soit informé aussi largement que possible, par la culture générale, des résultats obtenus par celui-là et que réciproquement le savant puisse connaître, avec la filtration et la généralisation nécessaires aux différents étages de l'organisation scientifique, les problèmes posés par la technique, et mettre également à profit les moyens matériels de plus en plus puissants dont dispose celle-ci. Il fournit une illustration significative de ceci en résolvant en 1915 le problème de la production et de la détection des ondes ultrasonores mettant ainsi entre les mains des Alliés une arme qui s'est révélée, pendant les deux guerres, si efficace pour la lutte contre les sous-marins allemands.

Professeur d'un talent exceptionnel, il a formé, au Collège de France, à l'École de Physique et Chimie et à l'École Normale Supérieure de jeunes filles, des générations de scientifiques en leur présentant toujours l'aspect vivant de la science, de la science qui se crée.

Il n'a pas cru devoir limiter à ces tâches sa prodigieuse activité. Son esprit universel et sa précision de jugement lui permirent d'analyser profondément le problème social. Paul Langevin n'a pas voulu faire partie d'une élite de savants détachés des contingences, c'est en militant, comme membre de la grande communauté des travailleurs, qu'il s'est préoccupé des problèmes sociaux.

Avoir lutté pour la paix, pour la solidarité internationale, pour la justice sociale, contre les théories racistes, tout cela désignait Langevin comme cible de choix pour les nazis. En dépit du risque, Paul Langevin revint à Paris en 1940 et en octobre de cette même année il était arrêté, jeté en prison, puis mis en résidence forcée à Troyes. Sa fille Hélène était déportée et son gendre, le physicien Jacques Solomon, communiste fervent, était fusillé.

Tous ces malheurs blessèrent profondément Paul Langevin sans ébranler une seule minute ni son courage, ni sa certitude du triomphe final de la Justice sur la barbarie.

Comme l'a dit si justement Louis de Broglie à l'Académie des Sciences de l'Institut de France, le 15 Décembre 1947:

'Il apportait dans ses opinions une telle sincérité, une telle conviction, un amour si passionné de la justice et de l'humanité souffrante que son attitude inspirait le respect, même à ceux qui ne partageaient pas ses

tendances. Il savait s'élever au-dessus de toutes les considérations mesquines jusqu'à cette hauteur de pensée où tous les hommes de bonne volonté peuvent se sentir d'accord.'

Après son exil en Suisse, Paul Langevin regagne Paris dès la libération et reprend la Direction de l'École de Physique et de Chimie et sa chaire au Collège de France en même temps qu'il est chargé de présider la commission qui devait mettre au point une réforme profonde de l'enseignement en France. Sa santé était fortement ébranlée par les terribles atteintes morales et physiques qui lui furent portées par le gouvernement de trahison de Vichy et les nazis.

Après une existence entièrement dévouée aux deux causes qu'il estimait inséparables de la Science et de la Justice, après avoir beaucoup travaillé, beaucoup lutté, beaucoup souffert, après avoir procuré et éprouvé de grandes joies, Paul Langevin mourut le 19 décembre 1946. Ses dernières paroles furent encore pour donner à ceux qui l'entouraient, la confiance dans la science et l'espérance d'une ère prochaine de justice et de bonté.

## L'OEUVRE SCIENTIFIQUE DE PAUL LANGEVIN

### *Les ions gazeux*

Les premières recherches de Langevin sont consacrées au problème du mouvement des ions gazeux soumis à l'action d'un champ électrique. De la forme expérimentale de la courbe de saturation il déduit la valeur du coefficient de recombinaison à partir des mobilités.

L'étude du coefficient de recombinaison l'amène à démontrer que sous les très faibles pressions régnant dans la haute atmosphère, il existe à l'équilibre une forte concentration d'ions. La couche d'Heaviside est ainsi expliquée ainsi que la persistance de la conductibilité pendant la nuit, alors que l'action ionisante du rayonnement solaire a disparu.

Le même cycle d'études l'amène à découvrir dans l'atmosphère l'existence des gros ions, dont la mobilité est plusieurs milliers de fois plus petite que celle des ions ordinaires et qui sont constitués par des gouttelettes d'eau, de un centième de micron de diamètre, ayant capté la charge d'un ion ordinaire. Il put aussi donner la théorie de la formation des deux types de nuages: les stratus, cumulus ou nimbus d'altitude inférieure à deux mille mètres et les nuages supérieurs, les cirrus, d'altitude voisine de dix mille mètres.

Paul Langevin reprit ensuite, pour la généraliser et l'étendre, la théorie des libres parcours en tenant compte de la loi de probabilité suivant laquelle se répartissent les trajets entre deux chocs. Il traita ainsi de manière générale le problème de la mobilité et de la diffusion et établit que les ions dans les gaz sont constitués par une seule couche de molécules maintenues par attraction électrostatique autour d'un centre chargé.

Dans une étude publiée en commun avec J. J. Rey, il démontra que l'explication de la conductibilité des gaz par des chocs d'agitation thermique n'était pas conforme à l'expérience. Nous savons depuis que c'est dans le rayonnement cosmique que se trouve l'origine de cette conductibilité.

*Le mouvement brownien*

P. Langevin fournit une justification nouvelle de la formule d'Einstein en décomposant en deux termes l'action d'un choc moléculaire sur une particule: un des termes traduit l'action régulière et correspond au phénomène de viscosité, l'autre terme est irrégulier et donne lieu au mouvement brownien.

Ce genre de questions l'amena, en collaboration avec Jean Perrin, à approfondir la signification du second principe de la thermodynamique, à en souligner le caractère statistique, et à en laisser prévoir les possibilités de limitation (fluctuations).

*L'électromagnétisme*

Outre des études sur la masse de l'électron et la variation de celle-ci avec la vitesse, Paul Langevin montra que la théorie classique du rayonnement électromagnétique interprète complètement les phénomènes de diffusion de la lumière dans les milieux matériels fluides par exemple. Une justification de la théorie du bleu du ciel peut être faite dans cette voie en même temps que se trouve introduite une représentation des molécules ayant une anisotropie électrique. Les divers physiciens qui ont étudié ces questions ont fait usage de manière systématique de ce modèle souvent désigné sous le nom de 'molécule de Langevin'. La théorie de Rayleigh se trouvait intégrée de la sorte dans la théorie électromagnétique tout en étant complétée.

*Dia et paramagnétisme*

Paul Langevin fit faire de grands progrès à la théorie du magnétisme. Sa première publication avec ce sujet remonte à 1905. Paul Langevin a repris l'idée émise par Ampère de l'existence de courants moléculaires à l'échelle microscopique en liaison avec les phénomènes magnétiques, mais en faisant jouer son rôle à l'électron découvert depuis peu. Il réussit ainsi à dégager une théorie du diamagnétisme et du paramagnétisme.

Paul Langevin suppose qu'à l'intérieur des atomes les électrons décrivent des orbites fermées. Si  $e$  est la charge élémentaire,  $S$  l'aire de l'orbite balayée dans le temps,  $\tau$  le moment magnétique,  $M$  sera  $M = \frac{eS}{\tau}$ . L'interprétation des phénomènes diamagnétiques se fait en admettant que dans de telles substances la somme géométrique des moments magnétiques est nulle. Si l'ensemble est soumis à l'action d'un champ magnétique extérieur, les divers électrons ont leurs trajectoires modifiées, le nouveau mouvement étant celui qui existait primitivement mais vis-à-vis d'un système d'axes tournant autour de la direction du champ magnétique  $H$  avec la vitesse angulaire de Larmor  $\omega = \frac{He}{2m}$ .—Il en résulte que l'atome prend un moment magnétique supplémentaire, dirigé en sens inverse du champ magnétique et proportionnel à celui-ci.

Le diamagnétisme doit, en première approximation, présenter un caractère atomique et la constante relative à une molécule doit être la somme des

constantes atomiques. Cette propriété est indépendante de la température et la constante atomique est pour son ordre de grandeur fixée par le nombre des électrons et les dimensions atomiques.

L'accord avec l'expérience est excellent et cette interprétation du diamagnétisme est universellement acceptée. C'est dans l'orientation des atomes sous l'action d'un champ magnétique extérieur possédant un moment magnétique que Paul Langevin interprète le paramagnétisme.

L'application de la loi de Boltzmann relative à la distribution statique d'un tel ensemble permet de dégager les conséquences suivantes:

(a) Le moment magnétique et par suite la susceptibilité paramagnétique dépendra de la température absolue et variera en raison inverse de celle-ci (loi découverte expérimentalement par P. Curie).

(b) Sous l'influence d'un champ magnétique de grandeur croissante une saturation du moment magnétique développé s'établit progressivement. La relation obtenue, connue sous le nom de formule de Langevin, s'est révélée en très bon accord avec l'expérience pour divers corps et en particulier le sulfate de gadolinium.

Cette théorie a permis de prévoir un phénomène remarquable qui a été mis à profit pour l'obtention de très basses températures. L'orientation paramagnétique doit s'accompagner d'une élévation de la température et réciproquement une désaimantation adiabatique doit se traduire par un abaissement de la température. C'est en mettant à profit cette dernière propriété que de Haas a pu obtenir les plus basses températures que l'on sache actuellement réaliser.

La théorie de l'orientation des molécules paramagnétiques sous l'influence d'un champ magnétique devait servir de modèle, peu de temps plus tard, à la théorie des diélectriques développée par P. Debye.

#### *Les biréfringences électrique et magnétique*

Paul Langevin appliqua la méthode de rayonnement qui avait si bien réussi pour le magnétisme en vue de donner une explication des phénomènes de biréfringences électrique et magnétique.

Cotton et Mouton attribuaient ces effets à l'action orientatrice des champs sur des molécules présentant une anisotropie optique ainsi qu'une anisotropie électrique ou magnétique. En utilisant la loi de Boltzmann, Langevin put rendre compte complètement de la variation de cet effet avec l'intensité du champ et avec la température absolue. Ce travail sur les biréfringences électrique et magnétique a été à la base de nombreuses recherches théoriques et expérimentales sur ce sujet.

#### *La relativité*

Les résultats négatifs des expériences d'optique ou d'électromagnétisme entreprises pour mettre en évidence le mouvement de la terre par rapport à l'éther ou à l'espace absolu qu'il supporte, expériences de Michelson, avaient pu être interprétées d'une manière satisfaisante, sans mettre en cause la notion de temps, par l'hypothèse de la contraction de Fitzgerald et de Lorentz.

Paul Langevin montre que la même hypothèse de contraction permet d'interpréter correctement le résultat négatif de l'expérience de Trouton et Noble.

Paul Langevin s'attache ainsi à la question fondamentale des relations entre la mécanique et la cinématique.

La mécanique, au XIX<sup>e</sup> siècle, semblait avoir atteint un développement parfait, grâce aux succès remportés en Astronomie. Il semblait que l'ensemble des sciences exactes devait prendre modèle sur la Mécanique de Newton. Or, à la base de celle-ci se trouvaient des notions à priori telles que la notion de masse, de temps absolu ainsi qu'une distinction formelle entre la notion de masse et celle d'énergie.

Ce fut le grand mérite de Paul Langevin d'avoir puissamment établi l'interdépendance entre des notions à priori distinctes et d'avoir montré que la Mécanique n'est qu'une branche de la Physique dont elle n'aurait jamais dû se séparer.

Si l'on associe au principe de conservation de l'énergie la cinématique de Lorentz-Einstein, exigée par les lois de l'électromagnétisme on justifie complètement la dynamique de relativité. Dans cette nouvelle dynamique la séparation établie entre les notions de masse et d'énergie se trouve abolie. La contribution de Paul Langevin dans ces développements a été très importante; il a pu justifier par des raisonnements différents et plus généraux, différents résultats dus à Einstein.

Divers problèmes relatifs à la mécanique relativiste ont été traités par Paul Langevin et en particulier la discussion de l'expérience de Sagnac, l'interprétation des écarts des masses atomiques vis-à-vis des multiples de la masse de l'atome d'hydrogène, etc. . . .

Par diverses voies, toutes différentes de celle qu'a suivie M. Einstein, Paul Langevin a obtenu la dynamique nouvelle qui correspond au nouvel espace-temps et à des conclusions concernant l'inertie de l'énergie et ses conséquences. Parmi celles-ci, il y en eut une d'une extrême importance qui veut que tout changement d'énergie interne d'un système se traduit par un changement de masse obtenu en divisant le changement d'énergie par le carré de la vitesse de la lumière.

Paul Langevin donne dès 1913 une confirmation remarquable de cette relation en interprétant par l'inertie de l'énergie les écarts entre les masses atomiques autres que celle de l'hydrogène et les multiples entiers de la masse atomique de ce dernier élément.

Dès la découverte des réactions nucléaires, Paul Langevin relie quantitativement les énergies libérées et les variations de masse de noyaux réagissants.

#### *Les ondes ultrasonores*

Pendant la guerre de 1914-1918, Paul Langevin fût amené à se pencher sur un problème que des catastrophes maritimes avaient déjà posé et dont la guerre sous-marine menée par les Allemands rendait la solution très urgente: le problème de la détection des obstacles sous-marins.

C. Chilowsky ayant suggéré d'utiliser à cette fin un faisceau sonore dirigé, il

était devenu nécessaire, pour ne pas exagérer les dimensions de la source émettrice de produire des sons de fréquence très élevée, des ultra-sons.

Pour transformer en vibrations acoustiques les vibrations électromagnétiques, Paul Langevin eut l'idée de s'adresser aux propriétés piezo-électrique du quartz découvertes par Pierre et Jacques Curie. L'utilisation de la résonance élastique du quartz, la théorie de la vibration des ensembles quartz-acier, permirent la réalisation de sondeurs ultrasonores qui jouèrent un grand rôle dans les deux guerres mondiales.

Un nouveau chapitre de l'acoustique était en même temps ouvert et les expériences qui n'avaient porté que sur des vibrations élastiques de fréquence inférieure à vingt mille environ étaient rendues possibles à des fréquences de plusieurs centaines de millions par seconde. De nombreuses découvertes en physique et de nombreuses applications en chimie et en biologie ont ainsi été rendues possibles.

*Sur les chocs entre neutrons et noyaux de masse quelconque*

Peu de temps avant la défaite militaire de la France en juin 1940, Paul Langevin s'attaqua à un problème de physique nucléaire concernant les chocs entre les neutrons rapides et les noyaux atomiques de masse quelconque. La solution de ce difficile problème intéressait au plus haut degré la réalisation des dispositifs dit réacteurs à uranium dans lesquels le ralentisseur des neutrons était composé de noyaux autre que l'hydrogène léger et absorbant très peu les neutrons thermiques.

Le problème de ces réalisations était alors étudié en France. Il s'agissait de calculer la probabilité pour un neutron rapide traversant un milieu ralentisseur, d'atteindre au cours de son ralentissement, par chocs successifs contre les noyaux, une énergie cinétique comprise entre  $E$  et  $E+dE$ .

Ce problème est assez simple à résoudre lorsque la masse du noyau ralentisseur est égale ou sensiblement égale à celle du neutron, mais il devient très compliqué lorsque les masses sont différentes.

Par une expérience représentative géométrique des probabilités cherchées après une, puis deux, puis un nombre quelconque de collisions, Paul Langevin réussit à donner la solution de ce problème. — Ce fut le dernier travail qu'il termina avec succès avant sa mort.

F. JOLIOT

CURRICULUM VITAE

Né à Paris, XVIII<sup>e</sup> arrondissement, le 24 janvier 1872.

Mort à Paris, V<sup>e</sup> arrondissement, le 19 décembre 1946. Inhumé au Panthéon, le 18 novembre 1948.

1884. Élève de l'École Lavoisier.

1888. Élève de l'École de Physique et de Chimie.

1893. Élève de l'École normale supérieure.

1897. Agrégé des sciences physiques.

1897. Boursier de la Ville de Paris au Cavendish Laboratory, Cambridge.  
 1898. Boursier de l'École normale à la Faculté des Sciences de Paris.  
 1900. Préparateur à la Faculté des Sciences de Paris.  
 1902. Professeur remplaçant au Collège de France.  
 1903. Professeur suppléant au Collège de France.  
 1905. Professeur à l'École de Physique et de Chimie.  
 1909. Professeur titulaire au Collège de France.  
 1911 à 1927. Membre des cinq premiers Conseils de Physique Solvay.  
 1920. Directeur scientifique du Journal de Physique.  
 1926. Directeur de l'École de Physique et Chimie.  
 1928. Président du Comité scientifique de l'Institut international de Physique Solvay.  
 1930 à 1933. Président des sixième et septième Conseils de Physique Solvay.  
 1934. Membre de l'Académie des Sciences de Paris.  
 1945. Président de la Commission de Réforme de l'Enseignement.  
 Docteur Honoris causa des Universités de Manchester, Leeds, Bristol, Cambridge, Bruxelles, Liège.  
 Professeur honoraire de l'Université de Buenos-Aires, membre honoraire de la Faculté des Sciences de Santiago du Chili.  
 Membre de la Royal Society et de l'Institution Royale de Londres.  
 Membre d'honneur de l'Académie des Sciences de L'U.R.S.S.  
 Membre de la Société Royale des Sciences de Göttingen, de l'Académie des Lincéi à Rome, de l'Académie de Marine, des Académies des Sciences de Prague, Bologne, Buenos-Aires, Copenhague, de l'Académie Royale d'Irlande.  
 Grand-Croix de la Légion d'Honneur, Commandeur de l'Empire britannique.

## BIBLIOGRAPHIE

*I. Ionisation des gaz et rayons de Roentgen*

1900. Sur l'ionisation des gaz. *Bull. Soc. franç. Phys.* 3è fasc. 39.  
 1900. Les ions dans les gaz. *Bull. Soc. int. Élect.* 17, 203.  
 1902. Recherches sur les gaz ionisés. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 134, 414.  
 1902. Sur la recombinaison des ions dans les gaz. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 134, 533.  
 1902. Sur la mobilité des ions dans les gaz. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 134, 466.  
 1903. Recherches sur les gaz ionisés. *Ann. Chim. et Phys.*, 28, 289, 233.  
 1903. Note sur les rayons secondaires des rayons de Roentgen. *Ann. Chim. et Phys.*, 28, 500.  
 1903. Sur la loi de recombinaison des ions. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 137, 177.  
 1904. Sur la conductibilité des gaz issus d'une flamme (en collaboration avec M. E. Bloch). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 139, 92.  
 1904. Recherches récentes sur le mécanisme du courant électrique. Ions et électrons. *Éclair. élect.* 45, 361, 401; *Bull. Soc. int. Élect.* 2è série, 5, 615 (1905).  
 1905. Recherches récentes sur la décharge disruptive. *Bull. Soc. franç. Phys.* 4è fasc. 25.  
 1905. Recombinaison et diffusion des ions gazeux. *J. Phys. théor. appl.* 4, 322.

1906. Recherches recentes sur le mécanisme de la décharge disruptive. *Bull. Soc. int. Élect.* 2<sup>e</sup> série, 6, 69; *Radium, Paris*, 3, 107.
1908. Sur la recombinaison des ions dans les diélectriques. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 146, 101.
1913. Mesure de la valence des ions dans les gaz. *Radium, Paris*, 10, 113.
1949. Sur un analyseur de mobilité pour les ions gazeux. *J. Phys. Radium*, 10, 177, 225, 257.

## II. Sur les ions de l'atmosphère

1905. Sur les ions de l'atmosphère. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 140, 232.
1905. Sur un enregistreur des ions de l'atmosphère (en collaboration avec M. Moulin). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 140, 305.
1905. Remarques à propos de la communication de M. E. Bloch. *Bull. Soc. franç. Phys.* 4<sup>e</sup> fasc. 84.
1905. Interprétation de divers phénomènes par la présence de gros ions dans l'atmosphère. *Bull. Soc. franç. Phys.* 4<sup>e</sup> fasc. 79.
1907. Electromètre enregistreur des ions de l'atmosphère (en collaboration avec M. Moulin). *Radium, Paris*, 4, 218.

## III. Théorie cinétique et thermodynamique

1905. Une formule fondamentale de théorie cinétique. *Ann. Chim. Phys.*, 5, 245.
1908. Sur la théorie du mouvement brownien. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 146, 530.
1913. Sur les chocs exceptionnels des molécules gazeuses. *Radium, Paris*, 10, 142.
1913. La physique du discontinu. (Conférence à la Société française de Physique), publiée dans *Les Progrès de la Physique moléculaire*. Paris: Gauthier-Villars (1914) et dans *La Physique depuis vingt ans*. Paris: O. Doin (1923, p. 189).

## IV. Théorie électromagnétique et électrons

1904. La Physique des électrons. (Rapport au Congrès international des Sciences et Arts, Saint-Louis.) *Rev. gén. Sci. pur. appl.* (1905); *La Physique depuis vingt ans*. Paris: O. Doin (1923, p. 1).
1905. Sur l'origine des radiations et l'inertie électromagnétique. *J. Phys. théor. appl.* 4, 165.
1910. La théorie électromagnétique et le bleu du ciel. *Bull. Soc. franç. Phys.* 4<sup>e</sup> fasc. 80.
1912. Les grains d'électricité et la dynamique électromagnétique. (Conférence à la Société française de Physique), publiée dans *Les idées modernes sur la constitution de la matière*. Paris: Gauthier-Villars (1913, p. 54), et dans *La Physique depuis vingt ans*. Paris: O. Doin (1923, p. 335).

## V. Théorie du magnétisme et orientation moléculaire

1905. Sur la théorie du magnétisme. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 139, 1204; *Bull. Soc. franç. Phys.* 4<sup>e</sup> fasc. 13; *Rev. gén. Sci. pur. appl.* (1905).
1905. Sur la théorie du magnétisme. *J. Phys. théor. appl.* 4, 678.
1905. Magnétisme et théorie des électrons. *Ann. Chim. et Phys.*, 5, 70.
1910. Sur les biréfringences électrique et magnétique. *Radium, Paris*, 7, 249.
1911. La Théorie cinétique du magnétisme et les magnétons. (Rapport au Conseil Solvay), publié dans *La Théorie du rayonnement et les quanta*. Paris: Gauthier-Villars (1913), et dans *La Physique depuis vingt ans*. Paris: O. Doin (1923).
1912. Sur l'orientation moléculaire. Lettre à M. W. Voigt, *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen*, heft 5, 589.
1919. Remarques à propos de la communication de M. Bauer. *P. V. Soc. franç. Phys.* 18.

## VI. Relativité

1905. Sur l'impossibilité physique de mettre en évidence le mouvement de la translation de la terre. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **140**, 1171.
1911. L'évolution de l'espace et du temps (Conférence au Congrès de Philosophie de Bologne), publiée dans *Scientia Bologna*, **10**, 31 et dans *La Physique depuis vingt ans*. Paris: O. Doin (1923).
1911. Le temps, l'espace et la causalité en Physique moderne. *Bull. Soc. franç. Philos.* **10**, 31; *La Physique depuis vingt ans*. Paris: O. Doin (1923).
1913. L'inertie de l'énergie et ses conséquences. *J. Phys. théor. appl.* **3**, 553.
1920. Les aspects successifs du principe de relativité. *Bull. Soc. franç. Phys.* **138**, 5.
1921. Sur la théorie de la relativité et l'expérience de M. Sagnac. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **173**, 831.
1922. Le principe de la relativité. *Bibliothèque de Synthèse scientifique* (E. Chiron, éditeur). Paris.
1922. L'aspect général de la théorie de la relativité. *Bull. Scient. Étudiants de Paris*.
1929. La structure des atomes et la chaleur solaire. *Bull. Univ. Tiflis*, **10**,
1931. L'oeuvre d'Einstein et l'astronomie. *Astronomie*, 45<sup>e</sup> année, p. 277.
1931. Déduction simplifiée du facteur de Thomas, dans Sommerfeld, *Vereinfachte Ableitung des Thomas Faktor* (Convegno di fisica nucleare), Rome, p. 137.
1932. *La relativité, Exposés et discussions du Centre de Synthèse*. Paris: Hermann.
1937. Sur l'expérience de M. Sagnac. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **205**, 304.

## VII. Chimie-physique et radioactivité

1911. Remarques au sujet des communications de M. Fouard. *P. V. Soc. franç. Phys.* p. 84 (1er décembre).
1912. Sur la comparaison des molécules gazeuses et dissoutes. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **154**, 594.
1912. L'interprétation cinétique de la pression osmotique. *J. Chim. phys.* **10**, 524 et 527.
1913. Remarques au sujet des communications de M. Fouard. *P. V. Soc. franç. Phys.* p. 42 (4 avril).
1913. Remarques au sujet de la communication de M. Wertenstein. *P. V. franç. Phys.* p. 34 (7 mars).
1934. Sur un problème d'activation par diffusion. *J. Phys. Radium*, **5**, 57.

## VIII. Grandeurs et unités

1912. Notions géométriques fondamentales. *Encycl. Sci. math.* t. 4, vol. 5, fasc. 1, p. 1.
1921. Sur les grandeurs champ et induction. *Bull. Soc. franç. Phys.* **162**, 3.
1922. Sur la nature des grandeurs et le choix d'un système d'unités électriques. *Bull. Soc. franç. Phys.* **164**, 9.

## IX. Mécanique classique et nouvelles mécaniques

1921. Sur la dynamique de la relativité. *P. V. Soc. franç. Phys.* et publié dans *Exposés et Discussions du Centre de Synthèse sur la Relativité*. Paris: Herman (1932).
1928. Les nouvelles mécaniques et la chimie (conférence rédigée par H. Granjouan). *Réunion internationale de Chimie-Physique*. Paris: Presses universitaires, p. 550.
1933. Les notions de corpuscules et d'atomes. *Conférence à la réunion internationale de Chimie Physique*. Paris: Herman.

## X. Acoustique et ultra-sons

1916. Procédés et appareils pour la production de signaux sous-marins dirigés et pour la localisation d'obstacles sous-marins (en commun avec M. Constantin Chilowsky). *Brevet français*, N° 502, 913.

1918. Procédés et appareils d'émission et de réception des ondes élastiques sous-marins à l'aide des propriétés piézo-électriques du quartz. *Brevet français*, N° 505, 703.
1918. *Note sur l'énergie auditive*. Publication du Centre d'Études de Toulon.
1923. Emission d'un faisceau d'ondes ultra-sonores (en collaboration avec MM. C. Chilowsky et M. Tournier). *J. Phys. théor. appl.* 4, 537.
1923. Procédés et appareils pour le sondage et la localisation en distance d'obstacles sous-marins, au moyen d'échos ultra-sonores (en commun avec M. Charles Louis Florisson). *Brevet français*, N° 575, 432.
1923. Utilisation des phénomènes piézo-électriques pour la mesure de l'intensité des sons en valeur absolue (en collaboration avec M. Ishimoto). *J. Phys. Radium*, 4, 539.
1924. Procédé et appareils permettant la mesure direct ou l'enregistrement des profondeurs ou des distance en mer par la méthode de l'écho ultra-sonore. *Brevet français*, N° 576, 281 additions 1 mars 1924 et 16 octobre 1924.
1924. Procédé et appareils pour la mesure par lecture directe de la distance d'un obstacle dans l'air. *Brevet français*, N° 662,035.
1924. Sondage et détection sous-marine par les ultra-sons. *Bull. Ass. tech. marit.* 28, 407; *Rev. hydrographique du Bureau int. de Monaco*, 1, N° 2, 9; 1925 *Rech. et Invent.* 113, 44.
1926. Procédé et disposition améliorant l'efficacité des projecteurs ultra-sonores piézo-électriques. *Brevet français*, N° 662,035.
1926. Sondeur ultra-sonore. *Rech. et Invent.* 132, 119.
1927. Le phare ultra-sonore de Calais. *Revue maritime*, 88, 481.
1927. A propos des bruits parasites ultra-sonores. *Rev. hydrographique du Bureau int. de Monaco*, 4, 161.
1928. La production et l'utilisation des ondes ultra-sonores. Conférence à la Société des Ingénieurs civils (9 mars). *P. V. Soc. Ing. civ.* 5, 119; *Rev. gén. Electricité*, 23, 626.
1929. Sur le mirage ultra-sonore. *Bull. Ass. tech. marit.* 727; *Rev. hydrographique du Bureau int. Monaco* (1931), 8, N° 1, 150.
1929. Les ondes ultra-sonores et leurs applications. *Bull. Univ. Tiflis*, 10.
1931. La directivité en acoustique sous-marine. *Bull. Ass. Tech. Marit.* 1.
1932. Les ondes ultra-sonores (notes de P. Biquard). *Rev. Acoust.* 1, 93, 315; 2, 288.

#### XI. Piézo-électricité

1935. Sur les lois du dégagement d'électricité par torsion dans les corps piézo-électriques (en collaboration avec J. Solomon). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 200, 1257.

#### XII. Divers problèmes techniques

1916. Sur la production des étincelles musicales par courant continu. *Ann. des Post. Télégr. Téléph.* 4, 404.
1920. Utilisation de la détente pour la production de courants d'air de grande vitesse. *Bull. Soc. franç. phys.* 139, 7.
1922. Note sur la loi de résistance de l'air et sur la correction d'élasticité proposée par M. le capitaine Darrieus. *Mémor. Artill. fr.* 2, 253.
1923. Note sur les effets balistiques de la détente des gaz de la poudre dans une tuyère convergente-divergente. *Mémor. Artill. fr.* 1, 3.
1927. Procédés et appareils permettant la mesure de la puissance transmise par un arbre. *Brevet français*, N° 659,658.
1927. Banc Piézo-électrique pour l'équilibrage des rotors. *Brevet français*, N° 659,871.
1927. Procédé et dispositif pour la mesure des variations de pression dans les canalisations d'eau ou autre liquide. *Brevet français*, N° 639,151 (en commun avec M. R. Hocart).
1927. L'enregistrement des coups de bélier. *Bull. Tech. Chamb. synd. des entrepreneurs de couverture-plomberie*, 23, 81.

## XIII. Physique nucléaire

1942. Sur les chocs entre neutrons rapides et noyaux de masse quelconque. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **214**, 517; *Ann. Phys. Paris*, **17**, 303.  
 1942. Sur les chocs entre neutrons et noyaux. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **214**, 867.  
 1942. Sur le ralentissement des neutrons. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **214**, 889.

## XIV. Gravitation

1942. Résonance et forces de gravitation. *Ann. Phys. Paris*, **17**, 265.

## XV. Enseignement et Pédagogie

1904. L'esprit de l'enseignement scientifique, Conférence faite au Musée pédagogique. *L'enseignement des sciences mathématiques et des sciences physiques*. Paris: Imprimerie Nationale.  
 1911. Exposé expérimental des phénomènes fondamentaux de l'électrostatique au moyen de l'électromètre à quadrants. Conférence faite à la Soc. franç. Phys. Notes par M. J. Villey, *J. Phys. théor. appl.* 5<sup>e</sup> série 1, 460.  
 1920. Le théorème de Fermat et la loi du minimum de temps en optique géométrique. *J. Phys. théor. appl.* 6<sup>e</sup> série 1, 188.  
 1926. La valeur éducative de l'histoire des Sciences. *Bull. Soc. franç. Pédagogie*, N° 22; *Rev. Synthèse*, 6, 5 (1933).  
 1931. La contribution des sciences physiques à la culture générale. *Bull. Soc. franç. Pédagogie*, N° 41.  
 1932. La réorganisation de l'enseignement public en Chine. Rapport de la mission d'experts de la Société des Nations (en collaboration avec MM. C. H. Becker, M. Falski et R. H. Tawney). Institut international de coopération intellectuelle. Paris.  
 1932. Le problème de la culture générale. Discours d'ouverture du Congrès international d'Education nouvelle. Nice. *Full report of the new Education Fellowship*, p. 73. London (1933).  
 1932. Discours d'ouverture du sixième Congrès mondial d'éducation nouvelle. *Pour l'ère nouvelle*, N° 80.  
 1932. Le problème de la culture générale. *Pour l'ère nouvelle*, N° 81.  
 1933. L'Enseignement en Chine. *Bull. Soc. franç. Pédagogie*, N° 49  
 1945. Culture et Humanité: Discours d'ouverture des travaux de la Commission de réforme de l'enseignement. *Bull. Officiel du Ministère de l'Education nationale*.  
 1946. Discours prononcé au Congrès. *Bull. de l'Ass. pour la paix par l'éducation*.  
 1946. La réforme de l'enseignement et ses rapports avec l'éducation nouvelle. *Pour l'ère nouvelle*.

## XVI. Publications diverses

1905. Ions, électrons, corpuscules; les quantités élémentaires d'électricité (en collaboration M. H. Abraham). *Recueil de Mémoires publié par la Société française de Physique*. Paris: Gauthier-Villars.  
 1906. Pierre Curie. *Revue du Mois*. t. 2, p. 5.  
 1910. E. Mascart. Annuaire du Collège de France.  
 1911. Victor Regnault. *Revue du Mois*. t. 11, p. 129.  
 1913. La théorie du rayonnement et les quanta (en collaboration avec M. M. de Broglie). *Rapports présentés au premier Conseil Solvay, Bruxelles, 1911*. Paris: Gauthier-Villars.  
 1914. Henri Poincaré, le physicien. Henri Poincaré. Paris: F. Alcan. *Revue du Mois*. 8<sup>e</sup> année, 1913.  
 1923. *La Physique depuis vingt ans*. Paris: O. Doin.

1927. Les étapes de la pensée scientifique. Discours d'ouverture du Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences. Constantine. Compte rendu de la 51<sup>e</sup> session, p. 23. Paris: Masson.
1929. Paul Schutzenberger. Discours prononcé à l'occasion du centenaire de P. Schutzenberger.
1930. L'orientation actuelle de la Physique. Conférence faite à l'École normale supérieure. L'orientation actuelle des sciences. Paris: Alcan, p. 29.
1932. La Physique au Collège de France. Conférence faite à l'occasion du 4<sup>e</sup> centenaire du Collège de France. Volume du Centenaire, p. 61.
1932. Ernest Solvay. Discours prononcé à l'inauguration du monument d'E. Solvay, le 16 octobre à Bruxelles. l'Institut international Solvay.
1933. Paul Painlevé, le savant. *Les Cahiers rationalistes*, N° 26.
1933. La valeur humaine de la Science. Préface de *L'Evolution humaine*. Paris: Quillet.
1933. L'évolution de la science électrique depuis cinquante ans. Discours prononcé à l'occasion du cinquantenaire de la Société française des Electriciens à Paris.
1939. La Science comme facteur d'Evolution morale et sociale. *Cahiers Rationalistes*, N° 75, 114.
1940. La valeur humaine de la Science. *Cahiers Rationalistes*, N° 80, 35.
1943. Les Actions mutuelles dans le monde physique. *Comptes rendus de la 10<sup>e</sup> semaine internationale de Synthèse du 7 au 11 juin 1938*. Paris: Presses Universitaires.
1944. Statistique et Déterminisme. *Compte rendu de la 7<sup>e</sup> semaine internationale de Synthèse du 3 au 8 juin 1935*. Paris: Presses Universitaires.
1946. *La Pensée et l'Action*. Avec allocution de J. Orcel. Brochure imprimée par l'Union Française Universitaire, 47 boulevard Saint-Michel.
1950. D'importants extraits des écrits philosophiques et pédagogiques de Paul Langevin ont été réunis par M. P. Labérenne dans l'Ouvrage intitulé. *La Pensée et l'Action*. Paris: Editeurs français réunis.