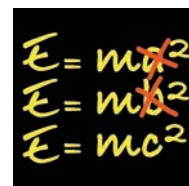


Paul Langevin et le Conseil Solvay de 1911

Au cœur de l'histoire de la physique du XX^e siècle


$$\begin{aligned} E &= mc^2 \\ E &= mc^2 \\ E &= mc^2 \end{aligned}$$

L'année 2011 est l'occasion de remémorer une rencontre exceptionnelle entre savants. Il y a cent ans eut lieu à Bruxelles le Conseil Solvay sur *La théorie du rayonnement et les quanta* : le premier Conseil Solvay. Une vingtaine de spécialistes se réunirent dans un hôtel de luxe pour discuter, sous la présidence de Hendrik Lorentz, des difficultés que posait l'introduction des quanta dans la théorie physique. Max Planck avait introduit le quantum d'action en 1900 dans le cadre de sa théorie sur le rayonnement noir. Puis en 1905, Albert Einstein avait introduit les quanta de lumière et s'en était servi pour rendre compte de l'effet photoélectrique. Enfin en 1907, Einstein avait proposé une théorie des chaleurs spécifiques fondée sur le principe d'éléments d'énergie et en 1909, il avait démontré, à partir de la loi de Planck, la dualité onde-corpuscule du rayonnement. Le groupe de savants réunis en congrès à Bruxelles représentait la fine fleur de la science européenne. Il se composait de représentants de plusieurs pays : Allemagne, Angleterre, Autriche, Danemark, France et Hollande, les Français et les Allemands étant les plus nombreux. Paul Langevin représentait la France avec Marcel Brillouin, Maurice de Broglie, Marie Curie, Jean Perrin et Henri Poincaré. Avec ce dernier, il fut parmi les plus actifs dans les discussions.

Schrödinger et bien d'autres représentants de premier plan de la physique théorique de l'entre-deux-guerres, a marqué la mémoire scientifique collective. Il marqua l'achèvement de la nouvelle mécanique quantique et entérina son interprétation copenhaguienne. Les discussions sur la complémentarité et le déterminisme dans les années trente ne firent qu'augmenter son prestige. Cette célébrité n'efface pas pour autant le caractère exceptionnel voire la dimension mythique du premier Conseil Solvay. Le centenaire de ce congrès est l'occasion de revenir sur le contexte intellectuel et scientifique du moment, de mettre en perspective la réalisation du conseil et d'explorer le rapport que des physiciens français, en particulier Langevin, avaient établi avec le courant théorique des quanta. Vers 1910, la quantification dans le domaine primitif du rayonnement ne concernait qu'un petit nombre de spécialistes comme Planck, Lorentz, Nernst, Einstein et Ehrenfest. Il convient donc de dresser un état des lieux des activités et des intérêts scientifiques de Langevin à cette époque. Le processus par lequel s'intégra la notion quantique dans la pensée scientifique de l'époque sera par là même rendu plus clair. Il permet aussi de comprendre comment Langevin, physicien à la fois expérimentateur et théoricien, désigné parfois par des mathématiciens comme faisant partie des leurs, professeur au Collège de France, acteur majeur d'une nouvelle physique des ions et des rayons, agit sur le plan de la recherche et pourquoi il est impliqué dans le Conseil Solvay.

La genèse du Conseil Solvay

Dans une lettre à son ami Michele Besso, Einstein décrit le Conseil Solvay de 1911 comme un « sabbat de sorcières », dont le déroulement aurait plu à une assemblée « de pères Jésuites démoniaques ». C'était là pour Einstein une façon de caractériser le style singulier d'un

Article proposé par :

Martha-Cécilia Bustamante, mcbusta@univ-paris-diderot.fr

Laboratoire de Sciences, Philosophie, Histoire, UMR 7219, Univ. Paris 7 / CNRS / Univ. Paris 1, Paris



congrès dans lequel un groupe de spécialistes éminents était venu de plusieurs pays pour discuter à huis clos d'un problème très pointu et chercher à le résoudre par des voies presque ésotériques. L'idée même d'un congrès scientifique international, si banale aujourd'hui, était exceptionnelle au début du XX^e siècle. C'est à juste titre que Walther Nernst, principal organisateur du Conseil, évoquait dans son discours d'ouverture du 30 octobre 1911, comme unique antécédent, le Congrès international de chimie de Karlsruhe de 1860, organisé par Friedrich August Kekulé pour résoudre une question d'atomistique. Les rares autres congrès d'une ampleur comparable étaient ceux qui furent associés aux expositions universelles. Ce fut par exemple le cas du Congrès international de physique de Paris en 1900, qui eut un grand succès. Les scientifiques avaient en général l'habitude de se réunir localement, dans le cadre de sociétés savantes nationales comme l'Association Française pour l'Avancement des Sciences ou son pendant anglais. Peu de savants étrangers participaient à ces réunions : on peut citer, pour les invitations de la Société Française de Physique, Lorentz en 1905, Rubens en 1906, Nernst en 1910 et Planck en 1911. Et peu de savants français sortaient de leur pays. Toutefois, Langevin, qui avait séjourné au Cavendish Laboratory de Cambridge et qui connaissait bien l'anglais et l'allemand, avait l'habitude des relations internationales. Ses connaissances autant linguistiques que scientifiques expliquent qu'il ait été chargé d'éditer en français, avec Maurice de Broglie, les comptes rendus du Conseil. Je me propose de présenter d'abord ce que l'histoire nous apprend sur l'organisation de ce Conseil international par excellence.

Les congrès internationaux associés aux grandes expositions universelles étaient issus d'initiatives collectives. Le Congrès International de Physique de 1900 est dû à l'action de la Société Française de Physique. Le Conseil Solvay de 1911, avec cette particularité d'être à la fois international et privé, doit son existence à l'initiative entièrement individuelle du physico-chimiste Walther Nernst, figure prestigieuse, directeur de l'Institut de Chimie Physique de l'Université de Berlin. Mais c'est grâce à l'enthousiasme de Solvay, amateur de sciences, qu'il a pu concrétiser son projet. Nernst avait pris contact avec lui par l'intermédiaire de son collaborateur Robert Goldsmith, qui était un ami personnel de Solvay. En 1909, Solvay avait obtenu la prestigieuse médaille Leibniz grâce à une suggestion de Nernst et du chimiste Emil Fischer à l'Académie des Sciences de Prusse. C'était là une reconnaissance pour son action philanthropique. Possédant une grosse fortune acquise grâce au procédé de traitement de la soude qu'il avait développé et qui s'était répandu dans le monde entier, Solvay ne cessait d'en consacrer une partie au financement de projets tels que la fondation d'un institut de physiologie en 1895, d'un institut de sociologie en 1909, tous les deux localisés à Bruxelles, puis d'un département de commerce à l'université. Le Conseil de 1911 est une conséquence de ces activités qui amèneront à la création des Instituts Solvay.

Réunir un groupe de scientifiques de très haut niveau pour traiter les questions posées par la nouvelle théorie quantique, c'est ce que proposa Nernst à Solvay pendant l'été 1910. Ce projet ne pouvait que plaire à Solvay puisqu'il venait d'élaborer une théorie sur « le gravifique » qu'il pourrait ainsi faire connaître à ses éminents invités. Mais, en fin de compte, il ne lut qu'un rapport d'introduction au début du Conseil. La question quantique était autrement plus importante pour l'éminente assemblée. Quant à Nernst, il avait ses propres motivations. Vers 1909, il avait confirmé, avec ses collaborateurs, certaines prédictions de la théorie quantique des chaleurs spécifiques d'Einstein. Or cette théorie renforçait le théorème de la chaleur qu'il avait proposé en 1905. Il était donc convaincu du caractère à la fois fondamental et inévitable des quanta. Nernst fit part à Planck de son initiative, mais celui-ci se montra pessimiste. Ils étaient d'accord sur la nécessité d'un examen détaillé des quanta au point de vue de la corrélation entre la théorie et l'expérience ; en revanche, tous deux n'étaient pas d'accord sur la pertinence de la conférence. Il était selon Planck nécessaire qu'un sentiment de crise s'installe d'abord chez les physiciens. C'était certes déjà fait pour lui, comme on peut en juger d'une de ses lettres à Nernst : « Je peux dire sans exagération que pendant dix ans, sans interruption, à peu près rien en physique ne m'a tant stimulé, ému et excité que ces quanta d'action ». Mais selon Planck la plupart des physiciens n'étaient pas encore prêts à adhérer à la théorie quantique ; Einstein, Lorentz, Wien et Larmor seraient les seuls à se sentir concernés. Nernst, quant à lui, était convaincu que le temps était venu de reconnaître l'inévitabilité des innovations d'Einstein. Il avait été parmi les premiers à saisir l'importance des théories quantiques de ce dernier. En mars 1910, profitant d'un voyage qu'il faisait à Paris pour participer aux réunions de la Société Française de Physique, Nernst rendit visite à Einstein, alors professeur associé à l'Université de Zürich. Un peu plus d'une année après, Einstein recevait la lettre d'invitation pour se rendre à Bruxelles.

L'entête de la lettre adressée par le « Président d'honneur » Ernest Solvay aux invités était : « Invitation à un Conseil scientifique international pour élucider quelques questions d'actualité des théories moléculaires et cinétiques ». Le texte, rédigé par Nernst, décrivait l'ensemble des problèmes scientifiques à traiter. Ils étaient au nombre de huit : déduction de la formule de Rayleigh pour le rayonnement du corps noir ; comparaison de la théorie cinétique des gaz parfaits avec les résultats de l'expérience ; application de la théorie cinétique des gaz aux suspensions ; théorie cinétique de la chaleur spécifique selon Clausius, Maxwell et Boltzmann ; formule du rayonnement de Planck et théorie des degrés d'énergie (*Quantenhypothese*) ; chaleur spécifique et théorie des quanta ; application de la théorie des quanta à une série de problèmes de natures physique, physicochimique et chimique. Ce programme avait sans doute été élaboré à partir de consultations menées par Nernst auprès de Lorentz et de Planck. Pour chacune de ces questions, précisait encore la lettre,



Figure 1 – Participants au premier Conseil Solvay, 1911. Assis, de *gauche à droite* : Nernst, Brillouin, Solvay, Lorentz, Warburg, Perrin, Wien, M^{me} Curie, Poincaré. *Debout* : Goldschmidt, Planck, Rubens, Sommerfeld, Lindemann, De Broglie, Knudsen, Hasenohrl, Hostelet, Herzen, Jeans, Rutherford, Kamerlingh Onnes, Einstein, Langevin. Photo : © Benjamin Couprie, Bruxelles, Instituts internationaux de chimie et de physique fondés par Ernest Solvay

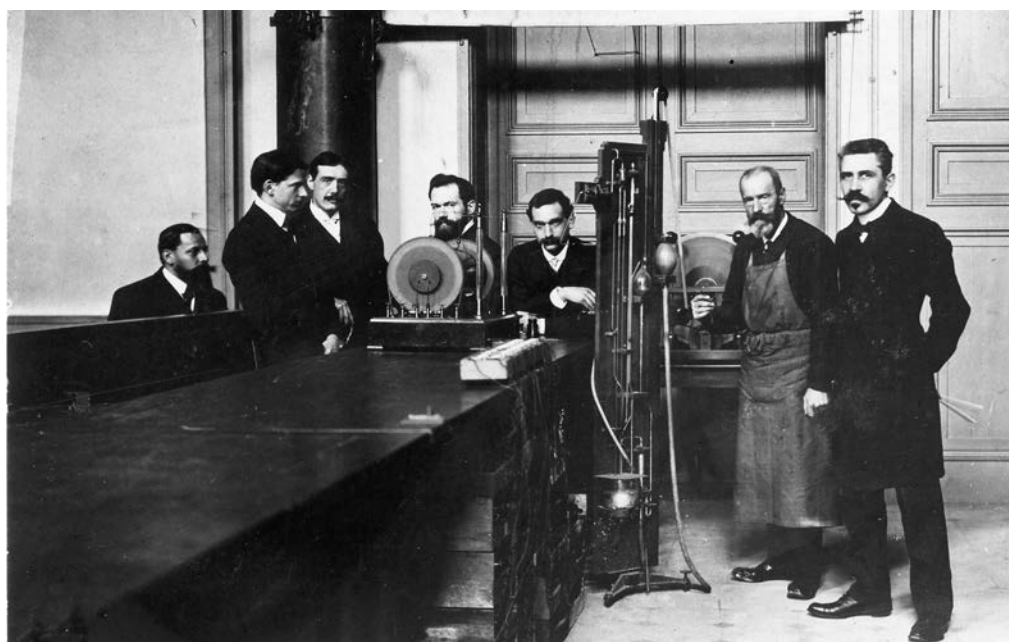
« nous prions un membre particulièrement compétent de bien vouloir écrire un rapport préalable. Ces rapports, écrits en français, en allemand ou en anglais, seront imprimés et distribués aux divers membres, si possible avant la fin de septembre ».

La lettre donnait aussi les noms des membres du futur Conseil : « Président : M. Lorentz (Hollande) ; Secrétaires : MM. R. Goldschmidt (Belgique) et de Broglie (France) ; Membres : MM. Jeans, Larmor, Lord Rayleigh, Rutherford, Schuster, J.J. Thomson (Angleterre), Nernst, Planck, Rubens, Sommerfeld, Warburg, W. Wien (Allemagne), Brillouin, M^{me} Curie, Langevin, Perrin, H. Poincaré (France), Einstein, Hasenöhrl (Autriche), Kamerlingh Onnes, Van der Waals (Hollande), Knudsen (Danemark) ». Dans la liste élaborée par Nernst, Marcel Brillouin, Marie Curie et Poincaré ne figuraient pas. Leurs noms furent ajoutés grâce à l'insistance de Solvay qui, semble-t-il, voulait un équilibre entre la France, l'Allemagne et l'Angleterre. Les lettres furent envoyées au mois de juin de l'année 1911. Un peu plus d'une année s'était écoulée depuis que Langevin avait rencontré Nernst et Planck à la Société Française de Physique, respectivement en mars et juin 1910. Planck n'avait pas mentionné son nom au moment où Nernst lui avait fait part pour la première fois de son initiative. Il l'aurait sans doute fait s'il avait su l'intérêt soutenu de Langevin pour

la thermodynamique du rayonnement et, en général, pour les idées nouvelles en physique. Un regard porté aux activités scientifiques de Langevin dans les années 1900 est à ce propos très instructif.

Langevin et l'introduction de la théorie quantique en France

Le premier contact de Langevin avec la thermodynamique du rayonnement date de l'année 1901, moment où son maître Marcel Brillouin, esprit ouvert et spécialiste de mécanique statistique, organise des réunions à ce sujet. La thermodynamique du rayonnement n'était pas très développée en France, mais elle s'était ailleurs constituée sur des bases très solides. Elle avait été inaugurée en Allemagne par Gustav Kirchhoff qui avait montré vers 1860 que le spectre du corps noir, le rayonnement qui s'établit à l'intérieur d'une cavité isotherme, était universel. Il ne dépendait en fait que de la température du corps et non de sa nature ou de sa forme. La thermodynamique du rayonnement avait été développée ensuite par Ludwig Boltzmann. Celui-ci avait démontré la loi de Stefan sur la proportionnalité du rayonnement total à la quatrième puissance de la température en se fondant



PARIS. — Collège de France, M. le Professeur Langevin et ses Élèves

ND Phot

Figure 2 – Paul Langevin (1872-1946), premier de *droite à gauche*. Il est entouré de ses principaux collaborateurs au Collège de France : Edmond Bauer, Marcel Moulin, Maurice de Broglie

Source : Fonds ESPCI-Centre de ressources historiques.

sur les principes de la thermodynamique et sur la notion de pression de radiation que le physicien italien Adolfo Bartoli avait pu confirmer. Ces travaux avaient été prolongés par Wilhelm Wien dans sa déduction de la « loi de déplacement » qui donne le spectre du rayonnement thermique à n'importe quelle température quand on connaît sa valeur à une température donnée. Et ils culminaient avec les recherches systématiques de Planck à Berlin sur les processus irréversibles de rayonnement. C'est autour de ces connaissances théoriques mais aussi expérimentales que Brillouin avait réuni des élèves autour de lui pour discuter pendant l'année 1900-1901 de la thermodynamique du rayonnement, en parallèle à son cours au Collège de France. Il venait de succéder à Joseph Bertrand à la chaire de Physique générale et mathématique. Quant à Langevin, récemment rentré de Cambridge, il faisait encore sa thèse de doctorat sur la mobilité des ions. Il était donc immergé dans des études d'une autre nature.

De ces réunions de Brillouin restent quelques traces permettant de savoir qu'elles consistaient en la présentation par un auditeur « de bonne volonté » d'un mémoire sur la thermodynamique du rayonnement. C'est ainsi que les mémoires de Bartoli, Wien et Planck furent discutés. On sait de plus que Langevin avait la charge du mémoire de Wien. Malheureusement, les analyses faites aux cours de ces réunions ne nous sont pas parvenues. Il y a néanmoins un autre aspect des réunions de Brillouin qui mérite d'être signalé. C'est la place significative qu'elles occupent dans l'histoire de la physique contemporaine en France et, en particulier, au Collège de France. À cette époque, l'habitude allemande des séminaires n'existait

pas encore en France. Les réunions de Brillouin marquent le début d'une forme de travail au Collège que le physicien lègue en héritage à ses élèves et surtout à Langevin. Entre 1902 et 1914, celui-ci organisa au Collège de France des réunions de travail parallèles à ses cours, et restreintes à un cercle d'élèves proches. Certaines de ces réunions concernaient les travaux de Planck et d'autres spécialistes de la chaleur rayonnante. Dans les années vingt, les réunions de cette nature prirent le nom de séminaires.

L'intérêt de Brillouin pour la thermodynamique du rayonnement s'explique par les liens conceptuels que les travaux fondateurs de Kirchhoff, Boltzmann, Wien et Planck entretenaient avec des sujets chers au théoricien français, tels que la mécanique statistique et les « divers mémoires sur le champ électromagnétique de Hertz, Lorentz et Poincaré » qu'il enseignait au Collège en cette année 1900-1901. De plus, la thermodynamique du rayonnement avait été très présente au Congrès international de physique qui venait d'avoir lieu à Paris, à travers les rapports présentés par des spécialistes berlinois. Enfin, Aimé Cotton, un des anciens élèves normaliens de Brillouin avait donné, deux années auparavant, une étude remarquable, parue en français et en anglais, de la loi de Kirchhoff portant sur le lien entre émission et absorption d'un corps à l'équilibre thermique. Une certaine confusion subsistait alors sur les conditions de validité de cette loi, qui pourtant servait de cadre à toutes les autres études du rayonnement thermique. Est-ce une coïncidence ? La loi de Kirchhoff et son application au rayonnement des flammes et des gaz incandescents constituent l'un des piliers de la thèse de doctorat d'Edmond Bauer dirigée par

Langevin. Cette thèse, commencée vers 1908, contient la première analyse française approfondie de la théorie de Planck qui nous soit parvenue.

Un aperçu des activités scientifiques de Langevin dans les années 1900 ne saurait faire l'impasse sur la manière dont il cherchait à rendre plus accessible à ses collègues parisiens les orientations récentes de la physique. Remarquons d'abord la situation institutionnelle et scientifique de ce physicien en 1905, année très significative pour l'ensemble de son activité. Depuis 1903, il suppléait Mascart au Collège de France à la chaire de Physique générale et expérimentale. Son travail sur les ions s'était orienté vers l'étude des ions de l'atmosphère, puis vers la théorie cinétique du magnétisme qu'il publia cette année là. Tout cela en se concentrant de plus en plus sur la physique de l'électron et sur la théorie cinétique en général. Depuis qu'il avait représenté la France avec Poincaré au Congrès International de Saint Louis en 1904, avec un exposé très remarqué sur la physique de l'électron et avec le dessein d'une grande synthèse, la stature internationale que présageait son séjour au Cavendish se dessinait de plus en plus clairement. La Société Française de Physique (SFP) dont il était secrétaire depuis 1904 constitua un cadre utile pour ses activités. Depuis le XIX^e siècle, cette société avait des projets d'envergure, parmi lesquels la publication de travaux de référence ou destinés à le devenir. En collaboration avec Henri Abraham, deuxième secrétaire de la société et, comme lui, membre très actif depuis ce tournant qu'avait été l'année 1900, Langevin s'était lancé dans la préparation de l'ouvrage *Les quantités élémentaires d'électricité : ions, électrons, corpuscules*. Comme l'expliquent Langevin et Abraham, cet ouvrage s'adressait surtout aux expérimentateurs, bien sûr plus nombreux que les théoriciens, et il visait à définir une nouvelle atomistique fondée sur la « structure discontinue des charges électriques ».

Cet ouvrage, paru en 1905 en deux volumes, réunit les travaux contemporains sur la physique des rayons et des électrons. On peut y voir, comme dans l'ensemble des publications de la SFP de cette époque, une sorte de tension entre le passé et l'avenir, reflet des différences générationnelles des sociétaires. Par exemple, un projet autour des œuvres complètes de Coulomb, que la société avait mené à terme en 1880, concernait surtout le passé ; l'ouvrage de Langevin et Abraham regardait sans doute plus le présent sinon vers l'avenir ; et pourtant, ni le mémoire de Planck de 1900, qui y avait néanmoins toute sa place, ni aucun autre du même auteur, ne sont inclus dans ce recueil. Au chapitre « Les électrons, théorie des métaux », on trouve cependant le mémoire de Lorentz que Langevin traduit de l'anglais, « Émission et absorption par les métaux de rayons calorifiques de grande longueur d'onde », qui évoque la théorie de Planck. Ayant limité son analyse au cas des grandes longueurs d'onde, Lorentz remarque que Planck avait obtenu une formule représentant exactement l'énergie des radiations pour toutes les longueurs d'onde. Dans la théorie de Planck, indique aussi Lorentz, tout corps est supposé contenir un grand

nombre de résonateurs « *nom qu'il donne aux vibrateurs électromagnétiques* » dont l'énergie ne peut varier que par unités d'énergie entières ; Lorentz, de son côté, expliquait l'émission par l'agitation thermique des électrons libres « *sans recourir à l'hypothèse de vibrateurs d'aucune sorte qui produiraient des ondes de périodes déterminées* ». Mais Planck ne donne aucune indication sur la manière dont le spectre d'équilibre est atteint. Voilà en deux mots donc ce qu'un lecteur attentif a pu savoir du travail de Planck à travers cet ouvrage.

En cette année 1905, au cours de sa conférence *Thermodynamique et théories cinétiques* prononcée au mois d'avril, Lorentz, devenu proche de Langevin et membre de la SFP, se montrait à nouveau favorable à la théorie de Planck que, néanmoins, il ne présenta pas car elle débordait de son sujet. Langevin, de son côté, ne tarda pas à réagir à ces allusions de Lorentz au travail de Planck, aux discussions qu'il a sans doute eues avec lui, et à ce qu'il avait probablement retenu des réunions de Brillouin. Dans son enseignement de l'année 1905-1906 au Collège de France, il donna un cours sur les théories cinétiques et la mécanique statistique. Le résumé, paru dans l'annuaire du Collège, indique qu'il exposa les travaux de Kirchhoff, de Wien et de Planck. Les détails encore une fois nous restent inconnus. Langevin ne publiait pas ses cours et il n'y a pour cette année là aucune trace écrite provenant de ses auditeurs.

Les écrits de l'un des plus proches élèves de Langevin, Edmond Bauer, comblent en partie cette lacune. Par ses voyages en Allemagne et par ses relations avec Langevin, Bauer fut amené, comme nous l'avons déjà mentionné, à faire une thèse de doctorat sur le rayonnement sous sa direction entre 1908 et 1911. Il y donna une analyse approfondie de « la nouvelle physique quantique » et formula dans ce contexte un ensemble de considérations sur les travaux de Planck et plus généralement sur la thermodynamique du rayonnement. Pour Bauer, la question de la détermination du spectre du rayonnement de corps noir était l'une des plus obscures et par là même l'une des plus importantes de la physique de l'époque. « *Einstein et surtout Planck nous ont mis sur la voie d'une solution* ». C'est ce que Bauer remarque au début de sa thèse. Dans la deuxième partie où il est question des solutions proposées, il affirme : « *M. Planck, par une intuition de génie, a découvert une hypothèse simple de probabilité. Cependant, comme cette hypothèse est tout à fait contraire à nos habitudes actuelles, et que rien ne semble la justifier a priori, nous ne l'introduisons que plus tard* ». Bauer précise : « *Nous allons d'abord, suivant une méthode remarquable indiquée récemment par M.P. Ehrenfest chercher dans quel sens on est forcé de modifier les lois de probabilité de la mécanique statistique* ». Depuis qu'ils s'étaient connus en Suisse en 1905, Bauer et Paul Ehrenfest étaient devenus proches. C'est donc tout naturellement que les analyses d'Ehrenfest servaient de référence à Bauer. Celui-ci cite en particulier un mémoire d'Ehrenfest paru le 21 octobre 1911, une semaine avant le congrès Solvay. Bauer indique aussi que son chapitre était déjà écrit « *lorsque parut un mémoire important de M. Poincaré* ».



Il précisa « *s'en être servi un peu pour compléter en un point la suite des raisonnements* ». La fin de la rédaction de la thèse de doctorat de Bauer coïncida presque avec le déroulement du Conseil Solvay mais Bauer n'en dit pas un mot. Mais que s'est-il passé à Bruxelles ?

Langevin et le conseil Solvay de 1911

Les rapports publiés en 1912 par Langevin et M. de Broglie permettent de se faire une idée du déroulement du Conseil. Il dura cinq jours. Les participants furent installés confortablement au Métropole, un hôtel de luxe. Ils n'eurent à s'occuper que de physique. Chacun à son tour dut faire la démonstration de son ingénuité scientifique. Langevin et Lorentz durent, en plus, déployer leurs compétences linguistiques. En tant que président, Lorentz prononça un discours d'ouverture dans lequel il revint sur des points à propos desquels il avait déjà eu l'occasion d'insister dans ses interventions des années passées, comme la question du mode d'action conduisant un « *vibrateur moléculaire* » exposé au bombardement des atomes d'un gaz, à ne prendre de l'énergie que par des quantités « *finies* » et « *d'une grandeur déterminée* ». Après les discours introductifs de Lorentz et des autres, vinrent la lecture des rapports et les discussions. Comme on pouvait s'y attendre, celles-ci se déroulèrent dans plusieurs directions. Suivant l'analyse du physicien-historien Leon Rosenfeld, les discussions sont d'abord allées dans le sens de la remarque de Lorentz concernant la difficulté à comprendre le mécanisme d'interaction entre les vibreurs moléculaires et les atomes. C'est sur cette interrogation que Planck attira l'attention au début de son exposé intitulé, « *La loi du rayonnement noir et l'hypothèse des quantités élémentaires d'action* ». Mais Planck fit une analyse approfondie des bases statistiques de l'interaction entre résonateurs et rayonnement, impliquant une nouvelle forme du quantum d'action. Il envisageait de dissocier la constante h du modèle spécial des résonateurs. Il lui attribuait une signification en principe applicable à un système mécanique quelconque. Rosenfeld note une troisième orientation, concernant l'application du quantum d'action étendue à des micro-systèmes autres que l'oscillateur harmonique.

Répondant à la demande qui lui avait été faite, Langevin exposa la théorie « *classique* » cinétique du para- et du ferro-magnétisme, développée par lui-même et par Pierre Weiss. Il souligna la relation, pour lui possible, entre l'hypothèse du magnéton de Weiss et le « *principe de Sommerfeld* » sur la quantification de la circulation d'un électron autour d'un atome. Le reste de son rapport se situait néanmoins en dehors de la théorie quantique. Les rapports de son ami Jean Perrin, « *Les preuves de la réalité moléculaire* », et de Kamerlingh Onnes, « *Sur les résistances électriques* », présentent la même caractéristique. Langevin et Perrin furent les seuls physiciens français à lire un rapport. Mais leurs collègues parisiens participèrent aux discussions.

Les rapports lus au Conseil ne contenaient pas de résultats nouveaux. De nombreux désaccords subsistèrent après les nombreuses discussions. En particulier, le sens profond des quanta restait mystérieux. Mais il fut clair pour les intervenants que l'introduction de concepts quantiques était nécessaire d'une manière ou d'une autre. Poincaré, qui ne s'était pas occupé des quanta avant le Conseil, rentra à Paris et combla son retard en proposant, juste avant sa mort, en juillet 1912, sa seule et unique contribution à la physique quantique : la démonstration que l'hypothèse des quanta d'énergie est nécessaire à la loi du rayonnement thermique de Planck. Ehrenfest, digne disciple de Boltzmann, l'avait précédé sur cette voie. La suite de ces événements est bien connue : l'acceptation par la communauté scientifique de la quantification de quantités physiques comme l'énergie et l'action.

Langevin au Collège de France

Le 3 décembre 1912, Langevin commença au Collège de France un cours intitulé « *Les difficultés de la théorie du rayonnement* ». D'après ce que nous avons vu, ce cours est moins la conséquence du Conseil Solvay que la suite logique des activités menées par Langevin à la Société Française de Physique et au Collège de France. Il en est d'ailleurs de même pour la série de conférences organisées à la société de physique en 1912 et 1913, où Langevin et Bauer en particulier s'attachèrent à montrer les orientations essentielles de la nouvelle physique quantique.

En 1908, Brillouin eut à faire un rapport sur les candidats à la succession de Mascart au Collège de France. Langevin, qui depuis 1903 était son suppléant, se trouvait en compétition avec Pierre Weiss. Brillouin argumenta en faveur de Langevin sur sa capacité à saisir tous les mouvements les plus récents de la physique du moment, car c'était une condition essentielle pour être admis. Le Collège de France exigeait que les cours servent à l'introduction et au développement en France des orientations scientifiques les plus nouvelles. Ainsi que cela avait été le cas pour tout son enseignement des années précédentes, le cours de Langevin de cette année 1912-1913 ne contredit pas l'argumentation de son maître. Langevin y propose une présentation de tous les travaux sur la thermodynamique du rayonnement depuis les débuts jusqu'à l'aboutissement quantique en tenant compte non seulement de la contribution de Planck mais aussi de celles d'Einstein, d'Ehrenfest et de Poincaré. Pendant l'été 1912, le mathématicien David Hilbert publia la première version de sa théorie axiomatique du rayonnement thermique, théorie fondée sur la méthode des équations intégrales. Ce fut le sujet abordé par Langevin pendant les séances de décembre et de janvier de l'année suivante. Le public de Langevin au Collège se composait, entre autres, de membres de l'élite scientifique et intellectuelle parisienne dont il faisait partie, de collaborateurs de son laboratoire au Collège et d'élèves de l'École Normale et de

l'École de Physique et Chimie Industrielles de la ville de Paris où il était professeur depuis 1905. Le cours de 1912-1913 fut en particulier suivi par son ami proche, le mathématicien Emile Borel. C'est grâce à ses notes qu'il est possible de connaître le contenu des leçons professées par Langevin puisqu'il ne publia aucun de ses cours. Les élèves de Langevin ont souvent affirmé que le maître avait l'habitude de présenter durant son enseignement

des résultats de ses recherches personnelles qu'il ne publia jamais ailleurs. Les traces qui existent du cours de 1912-1913 le confirment. De même, bien que peu de traces subsistent de leur activité dans les années 1900, il est clair que les physiciens français, et Langevin surtout, n'ont pas été de simples spectateurs au Conseil Solvay. Ils étaient aussi acteurs d'une assimilation française de la nouvelle physique.

BIBLIOGRAPHIE

- Kormos Barkan D., The Witches' Sabbath: The First International Solvay Congress in Physics. *Science in Context*, **6**, pp. 59-82 (1993).
- Bensaude-Vincent B.
Langevin (1872-1946). *Science et vigilance*, Paris, Belin (1987).
- Paul Langevin et les scientifiques français aux Conseils Solvay. *Épistémologiques*, **1-2**, pp. 157-170 (2002).
- Klein M.J., Einstein, Specific Heats, and the Early Quantum Theory. *Science*, New Series, **148**, pp. 173-180 (Apr. 9, 1965).
- Bustamante M.C., Rayonnement et quanta en France : 1900-1914. *Physis*, **39**, 63-107 (2002).
- Bustamante M.C. et Kounelis C., *La physique de Paul Langevin. Un savoir partagé*, Paris, Somogoy (2005).
- Jammer M., *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*. New York: McGraw-Hill (1966).
- Lambert F.J., « Internationalisme scientifique et révolution quantique : les premiers Conseils Solvay », *Revue germanique internationale* [En ligne], 12 | 2010. URL : <http://rgi.revues.org/278>.
- Langevin P. et de Broglie M., *La théorie du rayonnement et les quanta*, rapports et discussions, Paris, Gauthier-Villars (1912).
- Paty M., Poincaré, Langevin et Einstein. *Épistémologiques*, **1-2**, pp. 33-73 (2002).
- Rosenfeld L., La première phase de l'évolution de la Théorie des Quanta. *Osiris*, **2**, pp. 149-196 (1936).