

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**PUBLICAÇÕES**

INSTITUTO DE FÍSICA  
CAIXA POSTAL 20516  
01498-970 SÃO PAULO - SP  
BRASIL

IFUSP/P-1006

**L'INTERPRETATION DE LA MECANIQUE QUANTIQUE  
SELON PAUL LANGEVIN**

**Olival Freire Jr.<sup>(+)</sup>**

Instituto de Física, Universidade de São Paulo

<sup>(+)</sup>UFBa, Doutorando no Dept. História da FFLCH  
(Programa PICD), Mestre e Colaborador no  
Grupo de Pesquisa "Epistemologia e Aprendi-  
zagem/História da Física no Brasil" - IFUSP  
Coord.: Profa. Amélia Império Hamburger

Setembro/1992

L'INTERPRETATION DE LA MECANIQUE  
QUANTIQUE  
SELON PAUL LANGEVIN (\*)

Olival Freire Jr. (+)

(\*) Aceito para publicação na revista *LA PENSEE*

(+) UFBa, Doutorando no Dept. História da FFLCH (Programa PICD), Mestre e Colaborador no Grupo de Pesquisa "Epistemologia e Aprendizagem/História da Física no Brasil" - IFUSP - Coord: Profa. Amélia Império Hamburger.

UNIVERSITE  
PARIS 7 

NOTE DE LECTURE SUR L'ARTICLE DE OLIVAL FREIRE, "L'INTERPRETATION DE LA MECANIQUE QUANTIQUE SELON PAUL LANGEVIN", SOUMIS A *LA PENSEE*.

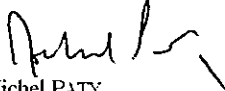
L'article de Olival Freire, "L'interprétation de la Mécanique quantique selon Paul Langevin" est d'une part une étude sur l'originalité de la pensée de Langevin concernant la mécanique quantique à partir de ses textes, et d'autre part un essai de comprendre les raisons pour lesquelles l'originalité de cette pensée a été méconnue. On a souvent assimilé sa conception, comme il était réaliste, à celle d'Einstein, voire à celle des partisans des variables cachées déterministes. L'auteur montre bien que son interprétation est différente des deux. Réaliste, comme Einstein, il admet la critique du déterminisme classique auquel oblige la mécanique quantique, ne cherche pas une voie pour y revenir (au contraire des partisans des variables cachées), et défend une conception propre d'un nouveau déterminisme. (Cela dit, Einstein n'est pas non plus partisan des variables cachées, comme je le montre dans propre travail sur Einstein, Bohm, de Broglie etc.). L'auteur montre même que, à certains égards, Langevin serait plus proche de Bohr.

Quant à la méconnaissance de l'originalité de Langevin, l'auteur procède, pour en comprendre les raisons, à une analyse de la pensée des scientifiques marxistes en France après la 2<sup>e</sup> Guerre mondiale. Il montre de façon convaincante, à partir des textes, comment s'était imposé un courant "déterministe" dans le sens du retour au déterminisme classique, pour des raisons idéologiques à effets épistémologiques, qui s'est trouvé converger avec une conjoncture scientifique (les travaux de Bohm et de de Broglie en 1952).

Enfin l'auteur analyse l'évolution des études sur Langevin relativement à ce problème jusqu'à présent, montrant la persistance d'une méconnaissance malgré un renouveau d'intérêt.

L'auteur est professeur de physique à l'Université de Salvador au Brésil, et prépare (en partie sous ma direction) une thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences à l'Université de Sao Paulo. Il a soutenu il y a quelque temps une thèse de "mestrado" sur le débat entre Bohr et Einstein. Le contenu de cet article a fait l'objet d'un exposé qu'il a donné récemment à Paris 7, et qui a été très apprécié. Je lui ai demandé son texte pour le faire publier, et il a choisi, parmi les possibilités que je lui indiquais, la *Pensée* (Langevin oblige!). Avec l'accord de l'auteur, j'ai corrigé son texte pour le français et j'ai fait quelques légères modifications pour rendre plus clairs certains passages. Je pense que tel qu'il est maintenant il est tout à fait digne de publication.

Paris, 1<sup>er</sup> avril 1992

  
Michel PATY  
2 rue des Wallons  
F-75013 Paris  
France

# L'INTERPRETATION DE LA MECANIQUE QUANTIQUE SELON PAUL LANGEVIN(\*) (\*\*)

OLIVAL FREIRE JR. (+)

## RESUME

L'article porte sur la pensée de Paul Langevin (1872-1946) en ce qui concerne l'interprétation de la mécanique quantique. Nous exposons brièvement son interprétation et nous analysons dans quelle mesure celle-ci peut être rapprochée de celle de Bohr ou de celle d'Einstein. Ce rapprochement montre que la conception de Langevin est originale, et possède une position qui lui est propre dans le débat sur l'interprétation de la théorie. Nous cherchons ensuite à identifier les raisons pour lesquelles son interprétation n'a pourtant pas eu de répercussions dans la physique et dans l'épistémologie françaises après la Deuxième Guerre mondiale, et pourquoi, d'un autre côté, elle a été parfois déformée. Parmi ces raisons, on doit constater l'existence d'un certain 'blocage épistémologique', par rapport à cette interprétation, dans les milieux scientifiques et philosophiques marxistes français des années cinquante.

(\*) Je suis redevable à la subvention obtenue dans le cadre de l'accord CNPq-USP-Equipe d'Epistémologie de la physique pour la formation des enseignants (Brésil) // CNRS-Equipe REHSEIS (France), ainsi que, pour leur concours, à la CAPES/PICD (Brésil) et aux Archives Paul Langevin/EPCV/Paris. Je désire exprimer ma reconnaissance, pour des discussions et leur lecture critique de la version préliminaire de ce travail, Mme Bernadette Bensaude-Vincent, et MM. Michel Paty, Mauricio Pietrocola, P. Bobulesco et Antonio Augusto Videira. M. Paty m'a également aidé à mettre en forme la version finale de ce travail.

(\*\*) Travail présenté sous une forme préliminaire à la 43ème Réunion Annuelle de la Société Brésilienne pour le Progrès de la Science (SBPC), Rio de Janeiro, 1991 et au Séminaire sur les fondements de la physique de l'Equipe REHSEIS/CNRS, Paris, janvier 1992.

(+) Université Fédérale de Bahia (Salvador, Brésil).

Adresse actuelle: Instituto de Física da USP, Cx. Postal 20516, SÃO PAULO, SP, 01498 BRASIL.  
Adresse permanente: Instituto de Física da UFBA, Rua Caetano Moura, n° 123, SALVADOR, BAHIA, 40210, BRASIL.

## I. BREVE DESCRIPTION DE L'INTERPRETATION DE LANGEVIN DE LA THEORIE QUANTIQUE.

### I. 1. AVANT LA NOUVELLE THEORIE QUANTIQUE.

L'interprétation de la théorie quantique que Langevin<sup>1</sup> a faite, dans les années trente du 20ème siècle, est assurément tributaire de ses premières conceptions sur la nouvelle physique, qu'il avait esquissées au début de ce siècle. Il considère, en 1913, comme le changement conceptuel le plus profond l'introduction des discontinuités dans une physique qui était alors fondée sur les représentations continues. L'existence des molécules, des atomes et des électrons implique en effet des discontinuités, auxquelles il fait désormais ajouter la discontinuité quantique. Il semble, dit-il, aussi "nécessaire d'admettre que les moments magnétiques sont tous des multiples entiers d'un élément commun, le magnéton, et que la matière ne peut émettre de rayonnement électromagnétique que de manière discontinue, par quanta d'énergie de grandeur proportionnelle à la fréquence"<sup>2</sup>.

Dans son article sur "La physique du discontinu", il met en rapport la discontinuité et la description probabiliste, en constatant que les résultats de la mécanique statistique classique sont en contradiction avec les données expérimentales dans les problèmes du rayonnement du corps noir et dans le calcul des chaleurs spécifiques puisque, si l'on fait tendre les cellules de l'espace de phase vers zéro, on substitue aux grandeurs discontinues des grandeurs continues. La constante de Planck exprimerait ainsi cet atomisme irréductible de l'espace de phase<sup>3</sup>.

En 1913 encore, il fait ressortir de manière intuitive l'insuffisance du formalisme mathématique de la physique classique pour la construction d'une théorie des nouveaux phénomènes. Selon lui, le langage du calcul différentiel et intégral, en supposant la continuité des phénomènes élémentaires, n'est pas adéquat pour exprimer les lois qui régissent le monde des atomes<sup>4</sup>.

Langevin n'a pas travaillé directement à l'élaboration de la théorie quantique<sup>5</sup>, mais il fut le directeur de la thèse de doctorat de Louis de Broglie<sup>6</sup>,

<sup>1</sup> L'intérêt pour l'oeuvre de Langevin n'est pas nouveau au Brésil. Luiz Freire, Mario Schenberg, Luiz Cintra do Prado, physiciens brésiliens, lisaient Langevin dans les années vingt et trente. Schenberg et Freire se sont trouvés avec lui à Paris. Alberto Rocha Barros également l'a étudié. L'étude des oeuvres épistémologiques de Langevin fait part du programme de recherche "L'épistémologie de la physique pour la formation des enseignants" sous l'orientation de Amélia Hamburger à l'Université de São Paulo (Hamburger, A.L. *Atitude Crítica (positivista) e Atitude Construtiva (realista), os exemplos da relatividade e da mecânica quântica, segundo Paul Langevin*, São Paulo, IFUSP, 1987, 1-22). Je suis reconnaissant à A Hamburger pour mes premières études approfondies sur le savant français et pour des stimulants débats à son équipe desquels je participe.

<sup>2</sup> Langevin P., "La Physique du discontinu", in Langevin, P., *La physique depuis vingt ans*, Paris, Gaston Doin, 1923.

<sup>3</sup> Langevin, 1923, p. 261.

<sup>4</sup> Discours prononcé à une assemblée du Collège de France, dans l'intention de justifier l'invitation faite à Einstein de donner une conférence dans cette institution. Voir Langevin, Luce, "Paul Langevin et Albert Einstein d'après une correspondance et des documents inédits", *La Pensée*, 1972, 161, 1-40, p. 8.

<sup>5</sup> Cependant, il a joué un grand rôle dans la diffusion et l'analyse épistémologique de la théorie quantique en France. Selon Bensaude-Vincent, B. ("France, un accueil difficile", in Deligeorges, S.

dans laquelle celui-ci proposa le comportement ondulatoire de l'électron. Il l'adressa immédiatement à Einstein. Dans son rapport, il souligne dans les termes suivants l'importance de l'hypothèse formulée par de Broglie: "Le travail de M. Louis de Broglie représente un important effort vers la solution du problème le plus important de la physique actuelle, la synthèse des deux théories optiques des ondulatoires et des quanta, jusqu'ici contradictoires au moins en apparence, dont chacune s'appuie sur tout un ensemble de faits et de confirmations expérimentales remarquables et dont l'opposition vient de renouveler de manière imprévue l'ancien conflit de l'émission et des ondulatoires".

## 1.2. - INTERPRETATION DE LA NOUVELLE THEORIE QUANTIQUE.

La nouvelle théorie quantique a été élaborée entre 1925 et 1927, dans sa formulation matricielle, développée par Heisenberg, Born et Jordan et, parallèlement, dans sa formulation ondulatoire, avec les travaux de Louis de Broglie et Schrödinger. En 1926, Born a également proposé la signification probabiliste de la fonction d'onde solution de l'équation de Schrödinger et Bohr, en 1927, a exposé, à Côme (Italie), son interprétation de l'ensemble du formalisme quantique. Lors du 5ème Conseil Solvay (1927), quand Einstein et Bohr polémiquent pour la première fois sur le sens de la nouvelle théorie d'élaboration récente; quant à Langevin, s'il comprend la profondeur des questions en débat, il n'émet pas encore une opinion plus systématique<sup>8</sup>. C'est seulement en 1929 qu'il fait un premier bilan de la crise provoquée par la mécanique quantique, dans une conférence sur "L'orientation actuelle de la physique". Le thème central en est l'idée de la contradiction en physique. Selon lui, elle est l'essence et le moteur de cette science tout entière. Elle opère à tous les niveaux: la contradiction entre l'expérience et la

(org.). *Le Monde Quantique*. Paris, Seuil, 1984, p. 67-70), "... alors que la mécanique quantique se diffuse très rapidement dans de nombreux pays, en France sa pénétration est incroyablement lente. (...) Malgré toutes ces conditions adverses, la mécanique quantique a trouvé en France quelques "supporters" prestigieux. Ils sont une poignée de physiciens qui gravitent principalement autour de deux groupes dynamiques: le groupe Curie, Joliot, Perrin, Langevin, d'une part, et le groupe de Broglie, d'autre part". Ses travaux strictement scientifiques ont porté notamment sur l'ionisation des gaz, le magnétisme, les ultrasons et la relativité. Il a été le premier, et le plus grand diffuseur de la relativité en France.

<sup>8</sup> Selon de Broglie, Langevin ne l'a pas encouragé en 1922 ("Vos idées sont intéressantes, mais votre gaz de photons, cela n'a rien à voir avec la lumière véritable", rapporté par de Broglie, L., *Notice sur la vie et l'œuvre de Paul Langevin*, Paris, Gauthiers Villars, 1947). Nous devons cependant rappeler qu'en 1922 c'était l'opinion de la majorité des physiciens: On acceptait la discontinuité dans l'interaction rayonnement-matière mais pas la discontinuité du rayonnement lui-même qu'Einstein a proposé en 1905. C'est seulement en 1924, avec l'effet Compton, que cette position de la communauté scientifique a été radicalement changée.

<sup>9</sup> Bensaude-Vincent, B., *Langevin, Science et Vigilance*, Paris, Belin, 1987, p.161.

<sup>8</sup> Sur la période 1929-1933 dans l'évolution de la pensée de Langevin, voir l'appréciation précise de Bensaude-Vincent (1987, p.166). Selon Langevin, A. ("Paul Langevin et les Congrès de Physique Solvay", *La Pensée*, 1966, 129,1-32 et 130, 89-104, cf. en part. p.17) au Conseil Solvay "s'étaient affrontés très vigoureusement le point de vue du groupe des déterministes, dont les représentants les plus importants étaient Paul Langevin et Lorentz, et celui du groupe des jeunes physiciens idéalistes...". Cette description, différente de celle de Bensaude-Vincent, n'est pas confirmée par la lecture du rapport de cette réunion (*Electrons et photons, Rapports et Discussions du Cinquième Conseil de Physique Solvay*, Paris, Gauthier-Villars, 1928.). Langevin y parle seulement des nouvelles statistiques quantiques, si l'on en croit le rapport cité.

théorie dessine la méthode du physicien; celle entre matière et rayonnement constitue l'objet de la physique; mais la plus fondamentale, qui structure les représentations, est la contradiction entre continu et discontinu<sup>9</sup>.

Malgré son admiration pour Heisenberg, dont il considère qu'il a fait accomplir dans ce domaine le pas plus grand après Einstein, en introduisant avec la mécanique des matrices de nouvelles notions issues de l'expérience, Langevin est cependant réticent sur le statut du principe d'indétermination énoncé par Heisenberg. Pour lui, la recherche d'un déterminisme est à un tel point le mobile essentiel de tout l'effort d'élaboration scientifique, que quand la nature laisse sans réponse une question, nous devons considérer comme l'une des possibilités la mauvaise formulation de cette question<sup>10</sup>. La fin de cet exposé diffère de ses conférences antérieures: il n'y a pas une promesse d'avenir radieux pour le développement de la physique.

A la différence d'Einstein, Langevin ne multiplie pas les "Gedankexperimenten" essayant de montrer que la théorie est incomplète. Son chemin est différent.

En 1933, Langevin considère de nouveau la situation et expose dans ses grandes lignes la pensée qu'il reprendra et développera au cours des années qui vont suivre. L'essence de cette pensée peut être synthétisée dans cette phrase de *La notion de corpuscule et d'atome*: "Ce dont il s'agit, en réalité, ce n'est pas du tout d'une crise du déterminisme, mais bien d'une crise du mécanisme ..." <sup>11</sup>.

Langevin défend l'idée que la physique quantique a non seulement révélé l'inadéquation de la structure de représentation du réel propre à la mécanique classique, mais qu'elle a encore éclairé quelle était sa forme de déterminisme spécifique à cette dernière, à savoir le déterminisme laplacien. Il concentre sa critique sur la notion de corpuscule, en tant qu'objet détaché de l'univers, en mettant en évidence l'inadéquation de ce concept pour la théorie quantique. Langevin utilise comme argument le concept nouveau de particules indiscernables des nouvelles statistiques quantiques, celle de Bose-Einstein et celle de Pauli-Fermi-Dirac, qui exigeait, selon lui, de modifier le concept de corpuscule individualisable.

Il en donne pour exemple le cas, simple à comprendre, de deux particules qui se trouvent en deux régions de l'espace de dimensions égales. Dans la statistique classique, nous pouvons compter quatre distributions possibles parce que nous pouvons "étiqueter" - individualiser - les particules comme particule A et particule B. Dans le domaine quantique, ce calcul donne des résultats incompatibles avec les données expérimentales. Dans l'exemple ici analysé, les statistiques quantiques comptent seulement trois distributions possibles. C'est-à-dire que les statistiques quantiques n'étiquettent pas les particules. Autrement dit, elles ne les

<sup>9</sup> Langevin, P., "L'Orientation Actuelle de la Physique", in *(L'Orientation Actuelle des Sciences, Paris, Alean, 1930, 29-62)*. Cette conférence a été prononcée à l'Ecole Normale Supérieure en 1929. Nous suivons ici l'analyse de Bensaude-Vincent (1987, p.166), avec laquelle nous sommes d'accord.

<sup>10</sup> "La recherche d'un déterminisme est à tel point le mobile essentiel de tout effort de construction scientifique, qu'on doit se demander, lorsque la nature laisse une question sans réponse, s'il n'y a pas lieu de considérer la question comme mal posée et d'abandonner la représentation qui l'a provoquée" (Langevin, P., 1930, p. 62).

<sup>11</sup> Langevin, P., (*La Notion de Corpuscule et d'Atome*; Paris, Hermann, 1934, p. 35). La conférence a été prononcée le 16 oct. 1933.

individualisent pas.

Langevin exprime alors l'idée que le concept d'objet individualisable, détaché de l'univers, est un concept archaïque, qui exige d'être changé. Selon lui, "c'est seulement en renonçant à cette idée encore trop imprégnée d'anthropomorphisme, ou en la modifiant profondément, que nous arriverons à la synthèse nécessaire qui interprétera à la fois l'aspect corpusculaire et l'aspect ondulatoire"<sup>12</sup>. Il considère d'ailleurs comme insuffisante la solution de la question de la dualité onde-particule proposée par Bohr sous la forme d'un "principe de complémentarité", estimant que c'est là s'installer dans la contradiction au lieu de rechercher la synthèse.

### 1.2.a - La question du déterminisme.

En 1935, Langevin développe un peu plus son interprétation<sup>13</sup> de ces deux questions. A propos de la question cruciale de l'échec de la causalité spécifique de la physique classique face à la théorie quantique, il formule l'idée que le nouveau déterminisme engendré par cette dernière humanise la science, et il valorise ainsi ce changement conceptuel. Il opère ici un déplacement du problème physique - de la causalité - non seulement vers un problème épistémologique - celui des types de déterminisme dans la science - mais aussi vers un problème directement philosophique - les types de déterminisme dans la société.

Etant donné l'importance de cette pensée pour notre analyse, nous transcrivons le fragment suivant: "J'ajoute encore que sur le plan de l'action, cette conception du déterminisme absolu conduit au fatalisme, à l'inutilité de tout effort humain devant l'implacable déroulement des faits contenus jusqu'au moindre détail dans l'impulsion initialement reçue par l'Univers.(...) J'insiste encore sur le fait que les nouvelles conceptions rendent également la science plus humaine et plus proche de la vie grâce à leurs conséquences d'ordre moral. Loin de conduire au fatalisme devant la marche inéluctable de l'Univers-projectile au sens de Laplace, le nouveau déterminisme est une doctrine d'action, bien conforme au rôle que doit jouer la science, à ses origines, à ses buts. Tout d'abord l'action devient possible puisque, grâce au halo ondulatoire, le présent ne détermine, ne contient l'avenir qu'avec une précision décroissante à mesure que celui-ci devient plus lointain; aucune connaissance du présent, si parfaite soit-elle, ne permet de prévoir que des probabilités de plus en plus éloignées de la certitude à mesure que l'anticipation devient plus importante. De plus, les possibilités de prévision nécessaires pour diriger l'action et la rendre efficace augmentent avec l'importance de notre information et celle-ci exige l'intervention de l'observateur, c'est-à-dire l'action. Au lieu de nous écraser sous le poids d'un univers qui nous est étranger et dont le destin est déterminé une fois pour toutes en dehors de nous, le nouveau déterminisme réalise la synthèse du sujet et de l'objet, de l'homme et du monde qu'il lui appartient de transformer grâce à une information et par conséquent à des moyens d'action constamment enrichis par le développement de la science, c'est-à-

<sup>12</sup> Langevin, P. (1934, p.38-44).

<sup>13</sup> Langevin, P., "Statistique et déterminisme" in *La Statistique, ses applications, les problèmes qu'elles soulèvent*, Paris, PUF, 1944, 245-300. Exposé fait à la *Septième Semaine Internationale de Synthèse*, Paris, 1935.

dire par l'action elle-même"<sup>14</sup>.

A notre avis, ce déplacement vers le problème philosophique, le refus du déterminisme classique et la valorisation d'un nouveau déterminisme probabiliste, ont été responsables des difficultés que l'interprétation de Langevin a connues au début des années cinquante, comme nous allons le voir. Il faut souligner que, en valorisant en 1935 le nouveau déterminisme engendré par la théorie quantique, Langevin adopte une position qui a une valeur philosophique plus générale. Dans les années vingt et trente, justement, les milieux marxistes débattent de la valeur philosophique, pour le matérialisme historique, d'un type de déterminisme semblable au déterminisme propre de la physique<sup>15</sup>.

Pour situer cette pensée de Langevin dans le panorama de la physique, il faut dire que, dans la France des années trente, la question du déterminisme polarisait le débat épistémologique sur la théorie quantique<sup>16</sup>. On remarquera aussi que, lors du 5ème Conseil Solvay (1927), si l'intervention d'Einstein portait déjà sur la question, qui devait plus tard s'avérer fondamentale et qui est aujourd'hui appelée non-localité, il est également vrai que la question du déterminisme, sous la forme d'une exigence d'images nettes dans le cadre de l'espace et du temps, fut le centre des débats<sup>17</sup>. Nous sommes donc assurés que Langevin traitait bien, dans les années trente, de la question alors principale de l'interprétation de la mécanique quantique.

Il revient sur la défense du "nouveau déterminisme plus humain", en 1938<sup>18</sup>, et en 1945, dans sa dernière intervention sur la mécanique quantique. Remarquable, dans son texte<sup>19</sup> de 1945, juste après la guerre, est son insistance sur le caractère humain de la nouvelle physique et de son nouveau déterminisme. Cette insistance semble historiquement marquée. Langevin a affronté le nazisme en participant activement à la Résistance française. Il a été fait prisonnier. Il s'est évadé<sup>20</sup>. La défaite du nazisme, à laquelle il a participé activement, n'était pas

<sup>14</sup> Langevin, P. (1944, note 13). Cette conférence a été publiée seulement en 1944. Il existe des indications, dans les Archives Paul Langevin, que ce texte a été révisé avant l'édition par son auteur, quand celui-ci était sous la surveillance des occupants allemands, à Troyes.

<sup>15</sup> Voir, par exemple, la critique de Gramsci, en 1927, à Boukharine (Gramsci, Antonio (trad. en portug.), "Notas críticas sobre uma tentativa de 'ensaio popular' de sociologia", in *Concepção dialéctica da história*, Rio de Janeiro, Civilização Brasileira, 8a. ed, 1989, p. 143-200).

<sup>16</sup> Voir l'analyse de Bensaude-Vincent (1984) sur cette période.

<sup>17</sup> Voir *Electrons et photons* (1928).

<sup>18</sup> Langevin, P., "Les Courants Positiviste et Réaliste dans la Philosophie de la Physique", in *Les Nouvelles Théories de la Physique*, Paris, Institut International de Coopération Intellectuelle, 1939, p. 231-254.

<sup>19</sup> Langevin, P., "L'Encyclopédie ou la solidarité de l'action et de la pensée", *Les Lettres Françaises*, n°60, 16 juin 1945 (fragments in "Matérialisme mécaniste et matérialisme dialectique"; *La Pensée* n° 12, 1947, 8-12).

<sup>20</sup> Langevin fut arrêté en 1940, puis placé en résidence surveillée à Troyes, d'où il s'évada pour la Suisse. En 1946 il écrivit à Einstein ces paroles pleines d'émotion: "En octobre 1940, j'ai eu l'honneur d'être le premier universitaire français arrêté par la Gestapo en raison de mon activité antifasciste d'avant la guerre, en qualité d'idéaliste "dangereux", selon l'expression du colonel qui m'interrogea pendant mon séjour de six semaines à la prison de la Santé. Le moment le plus douloureux a été celui, au début mars, 42, de l'arrestation de mon gendre (J. Solomon) et de sa femme, lui étant trois mois plus tard exécuté comme otage au Mont Valérien et elle déportée dans l'infamie camp d'Auschwitz, d'où elle est revenue par miracle le 15 mai dernier" (Lettre à Einstein, 25 janvier 1946 in Einstein, A., *Oeuvres Choisies*, tome 4: *Correspondances Françaises*, Paris, Seuil/CNRS, 1989, p.181).

préalablement déterminée. Elle a été le résultat de l'action de tous les hommes et femmes qui se sont opposés résolument à l'ordre mondial du national-socialisme.

Nous sommes donc enclin à penser que l'expérience personnelle de Langevin pendant la guerre et l'expérience historique de la lutte contre le fascisme sont en contradiction, dans la manière même dont il les a vécues et dont il les voit, avec tout attachement à un type de déterminisme tel que le déterminisme mécaniste laplacien.

Sur la question du déterminisme, nous devons aussi remarquer que Langevin a développé une campagne sur deux fronts: d'une part, la défense du nouveau déterminisme et, d'autre part, la critique de ceux qui ont soutenu la faillite du déterminisme. En 1934, il critique nommément Dirac et Eddington<sup>21</sup>. Il cite, pour la critiquer, la phrase suivante de Dirac, en 1927: "A certains moments, la nature fait un choix". Il cite aussi le livre *La nature du monde physique*, d'Eddington, où celui-ci écrit: "On pourra peut-être dire, comme conclusion à tirer de ces arguments fournis par la science moderne, que la religion est devenue acceptable pour un esprit scientifique raisonnable à partir de 1927. (...) Si notre prévision se confirme, que 1927 aura vu l'élimination définitive de la causalité stricte par Heisenberg, Bohr, Born et d'autres ...". En 1939, il revient sur le thème, en citant de nouveau Eddington et Dirac, ainsi que Jeans et Jordan<sup>22</sup>.

Revenons, maintenant, à la deuxième question développée par Langevin dans son article de 1935. Il y parle, pour la première fois, de la question, posée avec la théorie quantique, d'une interaction des objets avec les instruments d'observation. La réponse de Langevin est étonnante, parce qu'il considère cette caractéristique comme déjà incorporée par d'autres branches de la science. Il fait valoir que "...les sciences de la vie, histoire naturelle des êtres vivants, anatomie, physiologie, psychologie, présentent à ce point de vue des difficultés particulières, puisqu'il est quasiment impossible d'observer et à plus forte raison d'expérimenter dans ces domaines sans que l'objet et son comportement soient plus ou moins troublés par l'intervention du sujet"<sup>23</sup>.

Il relève pourtant que ce caractère, révélé par la nouvelle théorie, est relié à l'existence d'un minimum d'action possible dans la nature, exprimé par la constante de Planck ( $h$ ). Cette pensée de Langevin étonne, parce que l'innovation conceptuelle de la théorie quantique sur ce point n'a pas été évidente en physique. Voir, par exemple, les débats autour du "microscope de Heisenberg". On en retiendra l'indice que la pensée épistémologique de Langevin n'est pas restrictive à une branche de la science, la physique en l'occurrence.

Pour conclure ce bref exposé de l'interprétation de la théorie quantique selon Langevin, rappelons que ce dernier considérait plusieurs voies pour éclairer les questions posées par cette théorie. On ne trouve pas, chez Langevin, une argumentation plus développée, mais seulement des indications fragmentaires, très significatives cependant. Nous avons déjà parlé de son programme de changement du concept de corpuscule individualisable. Il considère encore que la théorie quantique n'a pas épuisé ses ressources conceptuelles: il insiste tout particulièrement sur le fait qu'on n'a pas encore découvert le sens profond de la

<sup>21</sup> Langevin, P. (1934, p.33).

<sup>22</sup> Langevin, P. "La Physique Moderne et le Déterminisme", *La Pensée*, n°1, 1939, 1-14. (p.1).

<sup>23</sup> Langevin, P. (1944, p. 289).

constante  $h$  et il fait une analogie avec la constante d'Avogadro ( $N$ ), dont une compréhension plus précise a été obtenue avec les travaux de Perrin sur les dimensions atomiques. "Je crois", estime-t-il, "que pour la constante  $h$  nous devons avoir quelque chose d'analogue, soit par l'intermédiaire de cette transformation même d'espace et du temps, d'une structure microscopique, soit par l'élucidation de cette notion mystérieuse du temps"<sup>24</sup>. Il signale aussi les possibilités attachées aux nouveaux domaines de la physique, comme la physique nucléaire, qu'il appelle "deuxième sous-sol". Selon ses propres termes: "peut-être, avec les nouvelles particules que cette science a permis de découvrir - neutrons, mésostrons, neutrinos, - aurons-nous autant de surprises dans ce deuxième sous-sol par rapport au premier, que nous en avons eu dans celui-ci par rapport à notre expérience macroscopique"<sup>25</sup>.

## II - COMPARAISON AVEC L'INTERPRETATION D'EINSTEIN ET AVEC CELLE DE BOHR.

Il nous semble ressortir à l'évidence de tout ceci que la riche pensée de Langevin représente une position originale et importante dans le débat sur l'interprétation de la théorie quantique<sup>26</sup>. Ceci apparaît plus clairement en prenant les positions de Bohr et d'Einstein comme pierres angulaires de ce débat. Nous nous concentrerons, peut-être à l'excès, sur la comparaison avec Einstein, parce que, dans la littérature à partir des années cinquante, il est apparu une identification entre les interprétations de Langevin et d'Einstein sur la théorie quantique, qui déforme les positions réelles, comme nous le verrons.

Nous allons faire une comparaison avec la position qu'Einstein<sup>27</sup> a exprimée à partir des années trente, celle de l'Einstein "de la maturité": la théorie quantique est logiquement consistante, avec une très forte base empirique, mais incomplète. Incomplète, parce qu'elle s'appuie sur un critère de réalité physique sur lequel il n'est pas d'accord et parce qu'elle entraîne une propriété (aujourd'hui appelée non-séparabilité) qu'il considère physiquement inacceptable. C'est une théorie statistique, qui ne traite pas des phénomènes individuels<sup>28</sup>.

<sup>24</sup> Langevin, P. (1939, p. 245).

<sup>25</sup> Langevin, P. "La physique moderne et le déterminisme", *La Pensée*, n° 1, 1939, p. 13.

<sup>26</sup> Nous avons relevé dans ce débat une similitude de position entre Langevin, V.A. Fock et M. Taketani. Nous l'avons appelée "une pensée matérialiste et dialectique de la mécanique quantique". Voir Freire Jr., O., *Estudo sobre interpretações (1927/1949) da teoria quântica: epistemologia e física*, Dissertação de mestrado, USP, São Paulo, 1991.

<sup>27</sup> Nous pensons qu'il y a une évolution dans l'interprétation d'Einstein. De 1927 jusqu'à 1931 il cherche à limiter la validité des relations de Heisenberg. Effectivement, de 1935 jusqu'à sa mort, il a exposé la position ci-dessus que nous appelons position "de la maturité". Pour une analyse de la pensée einsteinienne, voir Paty, M. ("The Nature of Einstein's Objections to the Copenhagen Interpretation of Quantum Mechanics", texte manuscrit d'une conférence au *Israel Colloquium for the History, Philosophy and Sociology of Science*, Tel-Aviv University, 1986), Pais, Abraham ("Einstein and the Quantum Theory", *Review of Modern Physics* 51, 1979, n° 4, 863-914) et Freire Jr. (1991).

<sup>28</sup> Voir Einstein, A. ("Physics and Reality" in Einstein, A., *Ideas and Opinions*, New York, Dell Publishing Co., 1973.); Einstein, A., "Autobiographical Notes" et "Reply to Criticism", in Schilpp, P.A., *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, New York, Tudor Pub Co. 1957, 4ème édition, p. 2-95 et 665-688.

La comparaison de la pensée de Langevin avec celle d'Einstein devient plus claire lorsque nous considérons les raisons qui ont contribué à la formation de la position du second. Selon moi, ces raisons<sup>29</sup> sont les suivantes:

1. la défense de son programme pour le développement ultérieur de la physique ("fonctions continues dans le continu quadridimensionnel comme concepts de base de la théorie"), concrétisé dans sa recherche d'un champ unifié de la gravitation et de l'électromagnétisme;
2. l'attachement d'Einstein au type de déterminisme propre à la physique classique; cependant il faut dire que, chez Einstein, le déterminisme n'est pas un point de départ, mais qu'il est associé à son programme pour le développement de la physique;
3. sa conception de la réalité physique, où il fonde en une seule la question de l'existence de la réalité indépendamment de l'observateur et celle de la possibilité de décrire la réalité sans l'interférence des moyens d'observation.

Si nous faisons une comparaison avec la brève description qui précède de l'interprétation de Langevin, il est évident que, sur toutes ces questions, les positions de Langevin sont quelque peu différentes.

D'ailleurs, il est notable que, malgré la variété des sujets évoqués dans la correspondance de Langevin avec Einstein<sup>30</sup>, nous n'y trouvons pas beaucoup de références aux problèmes quantiques. La seule mention<sup>31</sup> que nous avons relevée se trouve dans une lettre de Langevin à Einstein, où il l'informe d'une conférence de Louis de Broglie à des philosophes sur le problème du déterminisme. On peut y voir un indice de la nature du problème épistémologique principal que Langevin considérait dans la théorie quantique, à savoir celui du déterminisme, quand on sait qu'il existe une différence entre Langevin et Einstein, précisément sur cette question.

Il est vrai que Langevin n'a pas développé la question de la non-séparabilité, qui n'est devenue que dans les années soixante le centre des préoccupations des physiciens directement intéressés aux fondements de la théorie quantique<sup>32</sup>. Il se concentre sur le problème du déterminisme, qui était la question centrale dans les années trente. Mais il aperçoit le problème de la non-séparabilité, et sa préoccupation pour le nouveau concept d'objet non-individualisable (qui

<sup>29</sup> Freire Jr. (1991).

<sup>30</sup> Sur la correspondance entre Einstein et Langevin, voir Langevin, L. (1972) et Einstein (1989, p. 164-183). D'Einstein à Langevin, mentionnons les deux lettres, du 3 oct. 1935 et du 10 juil. 1939. Dans la première, il refuse l'invitation pour le prochain Conseil Solvay et il formule son opinion sur la théorie quantique et sur son développement. Dans la deuxième, il écrit à Langevin: "Sur le plan scientifique, je travaille toujours à une théorie relativiste de la matière dont j'attends qu'elle remplace un jour le traitement statistique des phénomènes quantiques par une méthode plus satisfaisante. Mais cette attente me laisse plus seul que jamais dans une vaste campagne".

<sup>31</sup> Lettre à Einstein, 10.10.1929, in Langevin, L. (1972).

<sup>32</sup> La question de la non-séparabilité a été posée, explicitement, sous la forme d'une "expérience de pensée" ("Gedankenexperiment"), dès 1935 par Einstein, A., Podolsky, B. et Rosen, N. ("Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?", *Physical Review*, 1935, 47, 777-780.), et a été l'objet d'une réponse de Bohr, N. ("Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?", *Physical Review*, 1935, 48, 696-702). La question n'est cependant revenue au premier plan du débat que dans les années soixante, avec les travaux de Bell, J. S. ("On the problem of hidden variables in quantum mechanics", *Review of Modern Physics* 38, 1966, 447-452). Voir Paty, M. ("La non-séparabilité locale et l'objet de la théorie physique", *Fundamenta Scientiae* 7, 1986 (n°1), 47-87).

incorpore l'indiscernabilité des statistiques quantiques) est plus proche d'un programme épistémologique de "penser la non-séparabilité"<sup>33</sup> que d'un refus de cette nouvelle propriété des objets quantiques.

Une analyse d'ensemble de la pensée de Niels Bohr sur la théorie quantique échappe à l'objet de cet article. Mais on peut estimer que la pensée de Langevin est plus proche de celle de Bohr, sans toutefois lui être assimilable. En effet, d'une part Bohr n'était pas d'accord avec le programme de recherche sur le nouveau concept d'objet non-individualisable. Il considérait qu'il y a des corpuscules exclusivement quantiques comme les photons, et des corpuscules ayant certaines propriétés classiques comme les électrons<sup>34</sup>. D'autre part, Langevin n'était pas satisfait de la complémentarité conçue comme une synthèse bien résolue.

D'ailleurs Langevin a soutenu son interprétation en prenant comme référence philosophique le réalisme<sup>35</sup> et, ultérieurement, dans l'écrit de 1945, la dialectique matérialiste. Ce n'est pas le cas de Bohr. Celui-ci ne parle pas d'une réalité ayant une existence objective. Il est vrai qu'il ne parle pas non plus d'une absence de cette réalité; de fait, il ne se pose pas cette question.

Le rapprochement m'apparaît concerner la question du déterminisme. Il existe d'ailleurs un dialogue entre Langevin et Bohr. A la suite d'une conférence de Langevin, où celui-ci reprit ses thèses déjà soutenues en 1935 sur le nouveau déterminisme, Bohr exprima très exactement sa position dans les termes ainsi rapportés dans le compte-rendu<sup>36</sup>: "Le Prof. Bohr tient d'abord à exprimer la grande admiration qu'il a éprouvée pour l'exposé du professeur Langevin, qui a si finement caractérisé l'esprit de l'évolution générale de la science: il voudrait cependant, pour éviter tout malentendu sur la signification du mot 'indéterminisme', rappeler que dans les effets quantiques nous n'avons pas affaire à un comportement indépendant des objets, mais que les phénomènes observables dépendent essentiellement de l'interaction de ces objets avec les instruments de mesure qui fixent les conditions de l'expérience. C'est pour cette raison que nous nous trouvons là devant une situation toute nouvelle en physique et dans laquelle les conceptions traditionnelles de déterminisme ou d'indéterminisme ne sont pas applicables univoquement. Il est vraiment merveilleux qu'en dépit de cette situation, nous soyons en mesure, à l'aide d'abstractions mathématiques, de mettre tant d'ordre dans un domaine si vaste et si riche d'expérience, d'une manière entièrement rationnelle et excluant tout mysticisme".

<sup>33</sup> Dans le sens de Paty, M. "L'inséparabilité quantique en perspective", *Fundamenta Scientiae* 3, 1982, 79-92.

<sup>34</sup> Voir Bohr (1938, in Langevin, P., 1939, p. 246).

<sup>35</sup> Langevin, P. ("Les Courants positiviste et réaliste dans la philosophie de la physique", 1939), *op. cit.*

<sup>36</sup> Bohr et Langevin ont participé à la réunion de l'Union Internationale de Physique, qui a eu lieu à Varsovie en 1938; voir Bohr (1938, in Langevin, P., "Les courants...", 1939, *op. cit.*, p. 246-247).

### III - LES REPERCUSSIONS DE L'INTERPRETATION DE LANGEVIN APRES LA GUERRE.

La pensée de Langevin sur la théorie quantique n'a pas eu d'influence sur la physique et l'épistémologie françaises après guerre. C'est seulement à partir des années soixante-dix et dans les années quatre-vingt que certains auteurs comme Paty, Maiocchi, Bensaude-Vincent et Ceruti ont valorisé cette interprétation. Quelles sont les motifs de ce silence, sur l'interprétation de Langevin durant les années cinquante et soixante?

Il y a tout d'abord un problème de continuité. Dans les années trente, Langevin intervient tout autant sur les problèmes scientifiques, philosophiques, éducationnels et politiques. Et dans le champ scientifique même, il travaille sur plusieurs directions de recherche. Son élève - et son gendre - Jacques Solomon<sup>37</sup>, qui travaillait sur la théorie quantique, fut tué par les nazis pendant la Deuxième Guerre. Quant à Langevin, il est mort en 1946. D'où une rupture dans la continuité du travail dans cette direction<sup>38</sup>.

Mais cette raison n'est pas suffisante à elle seule. Je voudrais considérer également la possibilité qu'il y a eu un blocage épistémologique chez les scientifiques et les philosophes français qui auraient pu, autrement, reprendre et élargir son programme d'interprétation de la mécanique quantique.

Il faut souligner ici qu'avant la guerre, Langevin a vécu un processus de rapprochement politique avec le PCF, suivi d'une évolution philosophique vers le marxisme. Son action politique dans la Résistance française consolida ce rapprochement. Il s'affilia aussitôt la fin de la guerre au PCF, et son texte de 1945, déjà cité, consacre le choix du marxisme comme référence philosophique.

Dès 1948, le PCF fut fortement influencé par les positions explicitement hostiles aux idées de Bohr sur la théorie quantique qui avaient été formulées en Union Soviétique. Les philosophes et physiciens soviétiques qui soutenaient cette position considéraient la théorie quantique comme une théorie statistique, incapable de décrire les phénomènes atomiques individuels. Terletski en exprime l'idée essentielle de la manière suivante:<sup>39</sup> "(...) [avec] le bilan de la discussion de 1947-

<sup>37</sup> Solomon, en 1935, après la conférence de Langevin, donne son opinion sur l'hypothèse des variables cachées et d'une formulation causale pour la théorie quantique dans les termes suivants, qui sont éclairants sur sa conception et sur celle de Langevin lui-même: "La théorie statistique succède à la théorie déterministe; mais il peut sembler que la théorie statistique actuelle ne soit qu'une façade derrière laquelle se cache une théorie déterministe relative à des éléments ignorés. C'est ce qu'on voit chez Klein avec sa théorie des paramètres cachés. Mais de telles tentatives ne donnent pas de résultats. Elles sont des retours en arrière et non des pas en avant. C'est en élargissant la notion de déterminisme qu'on pourra vraiment faire un pas en avant." (Solomon, J., 1935, in Langevin, P., 1944, p. 299). Solomon a aussi publié une démonstration sur l'impossibilité des variables cachées; (Solomon, J., "Sur l'indéterminisme de la mécanique quantique", *Journal de Physique* 4, 1933, 34-37). Pour une analyse de cette démonstration voir Jammer, M. (*The philosophy of quantum mechanics - The interpretations of quantum mechanics in historical perspective*, New York, J. Wiley & Sons, 1974, p. 271).

<sup>38</sup> Avant la guerre, il y eut aussi les travaux de Paulette Février et Jean Louis Destouches. Sur leur analyse et leur rapport avec Langevin, voir Maiocchi, R., "Paul Langevin's Epistemological considerations on quantum mechanics and their repercussions upon French science before the last war", *Scientia*, 1975, année LXIX, 110, 519-538.

<sup>39</sup> Terletski, I. P., "Problèmes du Développement de la Théorie Quantique" in *Questions Scientifique*, Les Éditions de la Nouvelle Critique, Paris, 1952, t.I, p. 131-146, cf. p.137).

1948 [il est] établi que la mécanique quantique n'est pas une théorie du micro-objet individuel, comme on le considèrerait selon le principe de complémentarité, c'est-à-dire [qu'elle est] une théorie applicable seulement aux ensembles statistiques de micro-objets. La mécanique quantique ne peut représenter complètement le mouvement d'un micro-objet individuel (électron, photon, etc.), mais représente seulement le comportement d'un ensemble de micro-objets identiques, apparaissant soit simultanément, soit dans une série d'expériences consécutives".

La conception de la théorie quantique comme une théorie statistique a constitué l'interprétation commune dominante en URSS, dès 1947 et jusqu'en 1957. Dans ce cadre commun, on note des différences. Blokhintsev, par exemple, se limite à cette conception statistique. Il ne cherche pas une nouvelle théorie causale, dans le sens classique, pour remplacer la théorie quantique.<sup>40</sup> Terletski, cependant, cherche, quant à lui, une nouvelle formulation, non-linéaire, pour la théorie<sup>41</sup> On compte, par ailleurs, des défenseurs de conception de Bohr de la théorie quantique: il est vrai que ces positions n'ont pas prévalu et n'ont pas été divulguées en dehors de l'URSS durant cette période. Les plus importants sont L. Landau<sup>42</sup>, qui n'a pas donné d'argumentation épistémologique, et V.A. Fock<sup>43</sup>, qui a proposé une analyse qui lui est propre, fondée sur la dialectique matérialiste.

Les positions dominantes comme celle de Terletski reflétaient, en fait, une position du Parti et de l'Etat soviétiques, et constituaient une sorte de ligne politique et idéologique qui devait être suivie par tous les Partis Communistes<sup>44</sup> Loren Graham a bien analysé cette période (1947-1957) de la physique quantique en Union Soviétique. Il la situe dans la période de l'histoire de la culture soviétique connue sous le nom de "jdanovisme".<sup>45</sup> Il qualifie cette période comme étant celle de l'exil de la complémentarité en URSS<sup>46</sup>.

En France, parmi les marxistes français des années cinquante, il a eu tout

<sup>40</sup> Blokhintsev, D.I., "Critique de la Conception Idéalist de la Théorie Quantique", in *Questions Scientifiques*, Paris, Les Éditions de la Nouvelle Critique, 1952, v. 1, 95-130.

<sup>41</sup> Terletski 1952.

<sup>42</sup> Landau, L. et Lifchitz, E. *Mécanique quantique: théorie non relativiste*, Moscou, Ed. MIR, 1966.

<sup>43</sup> Fock, V.A., "On the interpretation of quantum mechanics", *Czechoslovak Journal of Physics*, 1957, 7, 643-656.

<sup>44</sup> Chez les marxistes occidentaux, il existe des positions distinctes, même dans cette période. Parmi eux, le physicien le plus notoire entre les défenseurs de l'interprétation de Bohr fut Léon Rosenfeld. Voir Rosenfeld, L., *Selected Papers of Léon Rosenfeld* (ed by R.S. Cohen and J.J. Stachel), Dordrecht, D. Reidel, 1979.

<sup>45</sup> Graham, L.R., *Science and Philosophy in the Soviet Union*, New York, Vintage Books, 1974. Voir aussi Freire Jr., O. ("Ciência e Filosofia na experiência socialista", *Princípios* (São Paulo) 21, 70-78, 1991), où nous établissons une corrélation entre ces problèmes d'interprétation de la théorie quantique et un ensemble de conceptions et de pratiques en vigueur à cette époque dans le Parti et dans l'Etat soviétiques, sous le pouvoir de Staline. Cependant, l'analyse de cette période en URSS ne peut pas être isolée du contexte de la Guerre froide. Selon Graham lui-même (p.19): "In the very period when Soviet politicians were finding 'bourgeois idealism' lurking in the minds of Soviet scientists, many American politicians were convinced that the State Department was infested with Communists".

<sup>46</sup> Nous trouvons une évidence remarquable de cet exil dans la rupture de la correspondance entre Bohr et les savants soviétiques dans cette période, justement. Landau et Bohr ont échangé 21 lettres avant la guerre, et seulement 7 entre 1957 et 1962. Avec Kapitza, on compte 4 lettres jusqu'en 1946, et puis plus rien. Entre Fock et Bohr, 2 lettres en 1936 et 16 de 1957 jusqu'à 1962. Voir *Catalog of the Bohr Scientific Correspondance*, in *Archives for the History of Quantum Physics*.



un développement propre dans cette direction. Ce mouvement a culminé en 1953, avec la réalisation des "Journées Nationales d'Études des intellectuels Communistes", événement au cours duquel a été formulée cette position sur la théorie quantique, exprimée dans le discours d'Eugène Cotton:<sup>47</sup>

"Dès après la grande discussion de 1947", déclare celui-ci, le véritable caractère de la mécanique quantique était ainsi démontré, la loi de Heisenberg reprenant son véritable caractère, celui d'une théorie statistique d'un ensemble de micro-objets... Des articles ont paru, par ailleurs, dans des revues scientifiques de divers pays; Janossy, collaborateur d'Einstein, rentré en Hongrie, Vigier, Régnier et Schatzman en France, Bohm, physicien progressiste américain travaillant au Brésil, en publiant des tentatives théoriques pour aller au delà de la mécanique actuelle, ont critiqué sérieusement la vieille conception complémentariste..."

Quant à Langevin, Cotton le présente non comme le promoteur d'un nouveau déterminisme basé sur la théorie quantique, mais seulement comme le contestataire de la "fin du déterminisme".

La conclusion de G. Cogniot, dirigeant du PCF, à la fin des Journées<sup>48</sup>, en confirmant les thèses présentées, est révélatrice, à mon sens, d'un effort pour mobiliser les jeunes chercheurs marxistes et orienter leurs travaux scientifiques selon le programme tracé. Cette hypothèse a été confirmée par l'entretien que j'ai pu avoir personnellement avec Philippe Leruste<sup>49</sup>.

Ce mouvement a enregistré une large adhésion en 1952, lorsque Louis de Broglie revint à ses positions de 1927 en cherchant une formulation causale, déterministe au sens classique, de la théorie quantique. Sa position<sup>50</sup> a été largement saluée dans les milieux marxistes français. Vassails fait une véritable apologie de cette attitude de Louis de Broglie. Il minimise même son désaccord sur la référence de de Broglie à une vision cartésienne de la représentation de l'espace-temps<sup>51</sup>: "Mais notre désaccord ici avec Louis de Broglie est accessoire. L'essentiel, c'est notre accord..."<sup>52</sup> Vassails établit aussi une corrélation entre la collaboration Vigier-Bohm-de Broglie et la thèse des deux sciences<sup>53</sup>, en présentant une manière de direction idéologique pour le travail scientifique des

47. Cotton, E. "Intervention au Cercle des Physiciens". *La Nouvelle Critique*, n° 45, 1953, 166-173, p.170).

48. Voir *La Nouvelle Critique*, 1953, 45, p.356.

49. Leruste, un jeune physicien marxiste affilié au PCF dans les années cinquante, a réalisé ses premières productions scientifiques dans ce programme en cherchant une formulation causale de la théorie quantique. Voir, par exemple, Glasko, V. B., Le ruste, Ph., Terletski, Y., P., et Chouchourine, S. "An investigation of particle-like solutions of a nonlinear scalar field equation", *Soviet Physics JETP*, 1959, v.35(8), n° 2, 312-315.

50. De Broglie, L. "La physique quantique restera-t-elle indéterministe?", in de Broglie, Louis, *Nouvelles Perspectives en Microphysique*, Paris, Albin Michel, 1956.

51. "...Le retour à des conceptions claires, cartésiennes, respectant la validité du cadre de l'espace et du temps, satisfèrait certainement beaucoup d'esprits et permettrait non seulement de lever les objections troublantes d'Einstein et de Schrödinger, mais aussi d'éviter certaines conséquences étranges de l'interprétation actuelle." (de Broglie, 1956, p.140).

52. Vassails, G. "Louis de Broglie et l'indéterminisme physique", *La Nouvelle Critique*, 1953, 43.

53. Sur la thèse des deux sciences (science bourgeoise, science prolétarienne) et son influence dans les milieux marxistes français des années cinquante, voir Casanova, L. ("A propos de la science", *La Nouvelle Critique*, n°30, 1951, 9-16) et Darciel, M.; Desanti, J. T.; Vassails, G., "Science bourgeoise, science prolétarienne", *La Nouvelle Critique*, n°8, 1949, 32-41.

chercheurs marxistes.

#### IV - UN CAS DE BLOCAGE EPISTEMOLOGIQUE.

Ainsi, dans les années cinquante, le programme du marxisme français quant à la théorie quantique est-il caractérisé par une opposition en bloc à l'interprétation de Bohr et par la recherche d'une formulation causale, au sens du déterminisme classique, dans la perspective de remplacer la théorie quantique usuelle. Ce programme est donc très différent des conceptions de Langevin telles que nous les avons analysées, et même en opposition avec elles. La différence concerne précisément d'une part l'analyse, telle que Langevin la propose, de la question du déterminisme et d'autre part son dialogue avec la pensée de Bohr - voire sa proximité avec celle-ci. Le programme déterministe a été diffusé, nous l'avons vu, dans le cadre d'une polarisation idéologique et politique. Il est clair qu'une interprétation de la théorie quantique dans le sens de celle de Langevin était à contre-courant de celle défendue par le marxisme français des années cinquante. L'interprétation de Langevin s'est heurtée, dans ce contexte, à un blocage épistémologique, directement provoqué par des raisons d'ordre idéologique.<sup>54</sup>

Notre analyse peut sembler exagérément 'externaliste' en valorisant l'influence d'une institution politique (un parti) et d'un courant politique et idéologique (le marxisme) sur une question épistémologique. On se rappelle, cependant, comme d'un fait notoire, combien fut grande l'influence du PCF sur les physiciens français dans la période qui a suivi la Deuxième Guerre mondiale<sup>55</sup>. Mais il est vrai aussi qu'une autre raison s'y est ajoutée, dans ces années cinquante, relativement indépendante de ce blocage idéologique, mais le renforçant. Il s'agit du "renouveau des variables cachées" ("revival of hidden variables") selon l'expression employée par Max Jammer<sup>56</sup> pour désigner les travaux scientifiques effectués à la suite de la parution de l'article de David Bohm, "Proposition d'une interprétation de la théorie quantique en termes de 'variables cachées'" ("A suggested interpretation of the quantum theory in terms of 'hidden variables'")<sup>57</sup>. Cette direction de recherche a eu le concours, en France, de Jean-Pierre Vigié et de Louis de Broglie. Ce dernier revint, en 1952, à ses positions de 1927, comme nous l'avons déjà mentionné<sup>58</sup>. Ces travaux ont contribué, à mon sens, à

54. J'utilise ici le concept de "blocage épistémologique" dans un sens distinct, plus général et plus fort, que celui d'"obstacle épistémologique" de Bachelard (Bachelard, G., *La formation de l'esprit scientifique, Contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*, Paris, Librairie J. Vrin, 1938). Bachelard écrit que "la notion d'obstacle épistémologique peut être étudiée dans le développement historique de la pensée scientifique et dans la pratique de l'éducation" (p.17). La dimension idéologique et politique qu'a eue, dans les milieux marxistes, la défense de cette interprétation de la théorie quantique, dans le cadre cité ici du physicien soviétique Terletski, nous a amené à utiliser ce concept, peut-être imprecis, de "blocage épistémologique" en analogie avec celui de Bachelard.

55. Outre Langevin, Joliot-Curie (prix Nobel) a été membre du PCF. Parmi les plus jeunes, Vigié, Lurçat, Fer, Leruste, Halbwachs, entre autres, le furent à cette époque.

56. Jammer (1974)

57. Bohm, D., "A suggested interpretation of quantum theory in terms of 'hidden variables'", Part I et Part II, *Physical Review*, 1952, 85, 166-79 et 180-93.

58. Voir de Broglie (1956). Sur son interprétation de 1927, voir L. de Broglie ("La mécanique ondulatoire et la structure atomique de la matière et du rayonnement", *Journal de Physique*, 1927.

l'éclaircissement des fondements de la théorie quantique. Ils ont aussi servi d'inspiration pour le travail fondamental de J.S. Bell dans les années soixante<sup>59</sup>.

Ces deux courants relativement indépendants, l'un idéologique et politique, l'autre scientifique avaient un point en commun: la défense d'une formulation causale, dans le sens classique, des théories scientifiques<sup>60</sup>. Ce point commun, précisément, était en opposition avec l'analyse par Langevin de la question du déterminisme. Ainsi, le blocage épistémologique à l'égard d'interprétations comme celle de Langevin s'est-il trouvé renforcé.

En France, la défense du courant causal et déterministe était affectée d'une charge idéologique importante. Vigier, par exemple, parlait de la "théorie que nous essayons de développer avec David Bohm, théorie qui constitue à mon avis une illustration du matérialisme dialectique et que nous proposons de substituer aux conceptions classiques"<sup>61</sup>.

Sans doute faut-il voir dans ce blocage épistémologique et idéologique la raison de l'absence de textes de Langevin sur la mécanique quantique, ou d'études sur son interprétation<sup>62</sup>, dans la masse des publications éditées à l'époque par les marxistes français sur ces questions. Tous les textes publiés, dont les auteurs étaient français ou soviétiques, allaient dans le sens exprimé plus haut dans la citation de Terletski.

En même temps, dans cette période, Langevin était traité avec une grande révérence pour ses idées et ses engagements politiques, recevant de nombreux hommages - mérités -, tant des français en général que des communistes français en particulier<sup>63</sup>, ainsi que des communistes du monde entier. Mais personne ne s'est intéressé à son interprétation de la théorie quantique, et il n'a pas été lu sous ce rapport, alors que la physique quantique constitue assurément la plus grande et la plus étonnante révolution scientifique de notre siècle. Il n'a pas été lu parce que le cadre politique et idéologique du marxisme français des années cinquante n'était pas favorable à ses idées sur la théorie quantique, qui ont été occultées.

Les rares exceptions à ce silence que furent les publications sur Langevin, ou les réimpressions de ses textes faites dans cette période, confirment notre thèse. La biographie accompagnée d'extraits "*Paul Langevin, scientifique*,

serie VI, tome VIII, 5, 225-241).

59. Bell, J. S. (1966).

60. J.P. Vigier a exprimé récemment cette position en ces termes "If model D is confirmed by subsequent experiment all material particles motions occur in space-time  $E_4$  ..., thus vindicating Descartes, Einstein's, de Broglie's, and Yukawa's ideas on the fully deterministic behaviour of the material world (...)" (J. P. Vigier, "Real physical paths in quantum mechanics. Equivalence of the Einstein de Broglie and Feynman points of view on quantum particle behaviour", *Proceedings 3rd International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics*, Tokyo, 1989, p. 140-152).

61. J.P. Vigier, "Quelques problèmes physiques posés par les thèses de Lénine", *La pensée*, 1954, 57, 60-69.

62. Paty, M. ("Science et humanisme", in "Langevin e il razionalismo", *Scientia*, 1973, mars-avril, 205-220) parle d'un problème plus général: la méconnaissance de l'oeuvre de Langevin. Il note le caractère incomplet de l'édition de ses *Oeuvres Scientifiques* (Langevin, P., *Oeuvres Scientifiques de Paul Langevin*, Paris, CNRS, 1950) et la non-réédition d'ouvrages fondamentaux. Ce problème persiste, vingt ans après. Mais il n'a pas le problème plus localisé que j'analyse ici.

63. Ses cendres ont été transférées en 1948, avec celles de Jean Perrin, au Panthéon, sanctuaire des grands hommes de la nation française.

*éducateur, citoyen*<sup>64</sup>, de Pierre Biquard, publiée dans les années soixante, reproduit l'article de 1945, mais sans donner de commentaire sur la question traitée. Dans le recueil *La Pensée et l'Action*<sup>65</sup>, publié pour la première fois en 1950, on trouve des fragments des articles de 1935 et 1945, mais sans aucune mise en valeur dans l'introduction de l'ouvrage.

Le caractère unilatéral des publications sur la mécanique quantique est cristallin dans l'édition, en 1952, à l'initiative des Editions de la Nouvelle Critique, du livre *Questions Scientifiques, tome 1, Physique*, qui comporte seulement des articles d'auteurs soviétiques. Les quatre articles sur la mécanique quantique, dus à Souvorov, Kouznetsov, Blokhintsev et Terletski, se situent dans le cadre des conceptions telles que ce dernier les a exprimées (voir ce-dessus). On n'y trouve pas, sur la mécanique quantique, de contribution de V. A. Fock (il y a bien un article de Fock, mais il porte sur la relativité générale). Or, Fock était le plus grand physicien soviétique à s'opposer avec cohérence à cette conception, tout en s'appuyant formellement sur le matérialisme dialectique.

Ce monolithisme dans les publications scientifiques et philosophiques marxistes en France n'a été brisé qu'au milieu des années cinquante, après la mort de Staline et les répercussions de l'affaire Lyssenko<sup>66</sup>.

Pourtant, malgré ces changements, le blocage vis-à-vis de l'interprétation de Langevin de la mécanique quantique s'est poursuivi. En 1955, Lurçat, analysant la thèse de doctorat de J.P. Vigier, insiste encore sur le fait que la direction qu'il dénomme "interprétation causale de la mécanique quantique" de Vigier et de Bohm constitue l'une des réponses matérialistes possibles aux problèmes suscités par la théorie quantique: l'autre réponse étant celle proposée par Blokhintsev, qui rapporte la description probabiliste aux interactions entre les objets quantiques et les appareils macroscopiques de mesure. Dans le même article<sup>67</sup>, Lurçat reprend les idées de Langevin, mais s'en tient à celles contenues dans le texte de 1934, en évoquant encore l'échec du déterminisme; mais il ne dit rien de la nouvelle interprétation du déterminisme exposée dans le texte de Langevin de 1935.

Le blocage persiste jusqu'au début des années soixante-dix. En 1972, les *Cahiers de l'Institut Maurice Thorez* consacrent leur numéro 25 au centenaire de la naissance de Langevin, mais on n'y trouve pas un seul mot sur sa position à l'égard de la théorie quantique. Il en va de même pour le numéro 21 de *ITC Actualités* (1972), revue mensuelle des ingénieurs, cadres et techniciens du PCF. D'un autre côté, les *Cahiers du Communisme*, revue du Comité Central du PCF, publiée dans son édition de janvier 1972, deux articles où apparaissent des références au thème mais en mentionnant exclusivement la critique par Langevin du concept d'objet, laquelle, dissociée de l'ensemble de son interprétation, reste évidemment déformée.

64. Biquard, P., *Paul Langevin, scientifique, éducateur, citoyen*, Paris, Editions Seghers, 1969.

65. Langevin, P., *La Pensée et l'Action*, Paris, Editions Sociales, 1964 (1ère édition, 1950).

66. Au début de cette nouvelle phase, l'article de Joyeux, J. ("La lutte idéologique en physique", *La Nouvelle Critique*, n° 76, 1956, 103-113) se détache en identifiant expressément les difficultés qu'éprouvaient, dans le champ de la physique, les formulations causales de la théorie quantique publiées alors.

67. Lurçat, F., "La thèse de J.P. Vigier et l'état actuel de la physique quantique", *La Nouvelle Critique*, n° 62, 1955, 176.

## V. MÉCONNAISSANCE ET DÉFORMATION DE L'ANALYSE DE L'INTERPRÉTATION DE LANGEVIN.

Un des effets de ce blocage a été une méconnaissance de la position de Langevin sur la théorie quantique, qui s'est prolongée dans le temps et qui n'a pas été cantonnée aux seuls marxistes, ni même au domaine français. Blocage et méconnaissance ont eu pour résultat une analyse déformée. L'expression concentrée de cette déformation a été l'identification de la position de Langevin avec celle d'Einstein.

Dans les années cinquante, une telle analyse a été formulée par G. Vassails<sup>68</sup>. Mais lors du centenaire (1972), de la naissance de Langevin, cette identification apparaît aussi chez André Langevin<sup>69</sup>, Luce Langevin<sup>70</sup> et R. Lucas<sup>71</sup>. Pour eux, la position de Langevin sur la théorie quantique, identifiée à celle d'Einstein, représente "la position des physiciens matérialistes".

Dans le cas de Paul Labérenne<sup>72</sup>, on note certaines différences. En 1973, il analyse l'évolution de la pensée philosophique et épistémologique de Langevin et examine avec précision sa pensée sur la théorie quantique, décrivant sa critique de Dirac, d'Eddington et de Jordan, ainsi que celle qu'il fait de la notion d'objet individualisable, et également sa critique du néopositivisme. Il cite aussi le discours de 1945. Mais Labérenne ne mentionne pas les considérations de Langevin sur la crise du mécanisme, sur la physique plus humaine, sur la critique du déterminisme (fataliste) laplacien, sur la défense du nouveau déterminisme comme une doctrine d'action, ni celles sur sa conception de l'interaction entre l'appareil d'observation et le système observé.

Il est frappant que dans une étude récente faite par un chercheur français d'une génération plus jeune<sup>73</sup>, la pensée de Langevin apparaisse également déformée. D. Pestre identifie en effet la position de Langevin et celle d'Einstein, et s'appuie sur un témoignage d'Edmond Bauer, selon lequel, "jusqu'à sa mort, Langevin croyait dans la théorie de la double solution de de Broglie". La lecture de l'ensemble des textes de Langevin sur la mécanique quantique suffit à faire voir que sa position n'était pas celle-là. Pestre ne cite d'ailleurs que l'article de Langevin de 1934, et semble méconnaître les textes de 1935 et de 1938. Or, c'est précisément dans ces textes que Langevin parle du "nouveau déterminisme plus humain" dont la nécessité apparaît notamment avec la mécanique quantique.

Cette méconnaissance ou cette déformation de la pensée réelle de Langevin sur la théorie quantique n'a pas été un problème exclusivement français. Dans son ouvrage de référence sur l'évolution de la théorie quantique, Jammer<sup>74</sup>,

68. Vassails, G. "La politisation des atomes ou le prétendu "indéterminisme" physique". *La Nouvelle Critique*, n. 12, 1950, 5<sup>e</sup> - 7<sup>e</sup>.

69. Langevin, A., *Paul Langevin, mon père*, Paris, Les Éditions français réunis, 1971.

70. Langevin, L. (1972).

71. Lucas, R., "Les prolongements de l'œuvre scientifique". *Les Cahiers Rationalistes*, 1972, n° 288, 289, 43-51.

72. Labérenne, P., "Itinéraire philosophique de Paul Langevin". *La Pensée*, 1974, 175, 24-37.

73. Pestre, D., *Physique et physiciens en France : 1918-1940*, Paris, éditions des Archives contemporaines, 1984, p. 144.

74. Jammer (1974).

lorsqu'il se réfère à la pensée de Langevin, cite seulement l'article de 1934 et assimile Langevin aux partisans de l'interprétation statistique de la théorie quantique, comme Einstein, Popper, Slater et Kemble. Par ailleurs, un auteur tel que Cauter<sup>75</sup>, qui a publié plusieurs livres sur les intellectuels et le PCF, et qui a étudié l'affaire Lyssenko et ses répercussions en France, ne dit rien sur la question que nous avons soulevée.

## VI - CHANGEMENTS.

Un changement s'opère toutefois, dans les années soixante-dix, et particulièrement dans les années quatre-vingt. Des auteurs comme Paty, Maiocchi, Bensaude-Vincent et Ceruti, entre autres, ont valorisé<sup>76</sup> la pensée de Paul Langevin dans le sens de la lecture que nous en avons faite ici.

Dès 1973, Paty<sup>77</sup> décele les deux types de déterminisme chez Langevin tels qu'ils ressortent de son analyse critique du déterminisme mécaniste, analyse selon laquelle "avec la découverte des domaines atomique et nucléaire on est sorti de la région de validité de la mécanique classique et du type de déterminisme que lui est propre". En 1982, encore, en analysant les résultats des tests expérimentaux des inégalités de Bell, il détache Langevin du programme des variables cachées et montre que la pensée réaliste, dans le sens précis qui lui paraît devoir prévaloir aujourd'hui, a déjà été dessinée et indiquée par Langevin<sup>78</sup>. Dans son livre *La matière dérobée*<sup>79</sup>, publié en 1988, il s'appuie sur une analyse de l'interprétation de Langevin de la théorie quantique.

En 1975, Maiocchi<sup>80</sup> fait cette remarque, précise et tout à fait vraie selon moi, que Langevin cherchait à montrer dans la théorie quantique même le réalisme et la rationalité des processus scientifiques: il souligne que cette position est en conséquence, distincte de celle d'Einstein, de Popper et des scientifiques soviétiques, qui refusaient à la théorie quantique la dignité d'être une théorie exhaustive et complète: elle est distincte aussi du néopositivisme qui privait la science de sa valeur cognitive (en limitant sa validité aux plans linguistiques et épistémologiques), et très différente également des conclusions idéalistes et même irrationnelles de Dirac, Eddington et Jeans.

75. Cauter, D. (*Le Communisme et les intellectuels français 1914-1966*, trad. de l'anglais par M. Paz, Paris, Gallimard, 1967) et Cauter, D. (*Les compagnons de route 1917-1968*, trad. de l'anglais par G. Liébert, Paris, Robert Laffont, 1979). Cet auteur a analysé ce rapport PCF/intellectuels avec une évidente antipathie envers le PCF et le marxisme.

76. Une lecture inverse de la nôtre nous mènerait à considérer que "Langevin, allait, de même, sous la pression de l'interprétation de Copenhague de la théorie quantique, faire des concessions à la philosophie idéaliste". Voir "La Physique et l'impérialisme", *Études dialectiques*, n° spécial, sous la dir. de Aldo Grenani, Poitiers, 1985.

77. Voir Paty (1973, p. 210).

78. Paty (1982).

79. Paty, M. (*La matière dérobée. L'appropriation critique de l'objet de la physique contemporaine*, Paris, éditions des Archives contemporaines, 1988), spécialement les chapitres V et VI pour la critique de la notion classique de corpuscule comme objet individualisable.

80. Maiocchi (1975, p. 519) analyse, dans cette étude rigoureuse, le rapport entre Langevin, Bachelard, Gonthier, Destouches et Février sur le plan épistémologique concernant la théorie quantique. Il est cependant notable que Maiocchi ne cite pas les textes de 1935 et 1938 où Langevin a développé plus encore sa conception du nouveau déterminisme.

Bensaude-Vincent<sup>81</sup>, dans sa biographie, belle et très complète, du savant français, consacre tout un chapitre, intitulé "Autour de la crise du déterminisme", à l'interprétation de la théorie quantique. Elle procède à une analyse de la répercussion de cette position dans la France de l'avant-guerre et elle retranscrit des fragments des textes de 1935, 1938 et 1945. Bensaude-Vincent détache, en la mettant spécialement en valeur, la défense du nouveau déterminisme qui humanise la science.

Ceruti<sup>82</sup> analyse l'interprétation de Paul Langevin dans un contexte plus ample: "Le matérialisme dialectique et la science des années trente". Quoiqu'il ne cite pas les textes de 1935 et 1938, il met en lumière l'essentiel de la pensée du savant français sur l'interprétation de la théorie quantique, et insère sa conclusion dans le cadre de l'histoire du marxisme: "Langevin se situe du côté opposé au matérialisme dialectique officiel de l'URSS, qui, basé sur une adhésion à des conceptions substantialistes de type classique, tendaient dans ces années à rejeter complètement la mécanique quantique ou à l'interpréter exclusivement selon la ligne de pensée des variables cachées".

En achevant ce travail, nous prenons connaissance d'un article publié récemment par A. Cross<sup>83</sup>, intitulé "The crisis in Physics: Dialectical Materialism and Quantum Theory". Il analyse justement la période que nous venons d'étudier et où nous avons vu un blocage épistémologique. Il analyse en détail le cas français, car "les discussions qui ont eu lieu en France sont très éclairantes sur le style des arguments utilisés".

On voit apparaître encore, dans ce travail, la même analyse déformée de l'interprétation de Langevin. En s'appuyant exclusivement sur le texte *La notion de corpuscule et d'atome*, publié en 1934, l'auteur présente Langevin comme critique de l'interprétation orthodoxe de la mécanique quantique. Il écrit aussi que ce texte de Langevin "connut une large diffusion et était souvent cité dans les discussions des années cinquante". Il est vrai que Langevin est présenté comme celui qui "a proposé une interprétation [alternative] statistique, très semblable à celle que Blokhintsev devait exposer plus tard". On soulignera ici un détail qui a son importance, l'interprétation de Blokhintsev n'étant pas identique à celle d'Einstein<sup>84</sup>. Mais cette présentation de Langevin est inexacte, et elle ne mentionne pas l'analyse du mécanisme ni la défense du nouveau déterminisme quantique, plus humain.

Concluons qu'il reste encore du travail à faire pour surmonter la méconnaissance de Langevin et pour analyser de manière moins unilatérale son interprétation de la théorie quantique. Mais cela nécessite une réédition des textes, en particulier ceux de 1934, 1935, 1938, 1939 et 1945.

81. Bensaude Vincent (1987).

82. Ceruti, M., "O materialismo dialético e a ciência dos anos 30" (traduction en portug.), in Hobsbawm, E.J. (org), *História do Marxismo*, v.9, Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1987.

83. Cross, A., "The Crisis in Physics: Dialectical Materialism and Quantum Theory", *Social Studies of Science*, 21, 1991, 735-59.

84. Graham analyse bien ces différences. Voir Graham (1974).