



SOUVENIRS PERSONNELS SUR LES DÉBUTS DE LA MÉCANIQUE ONDULATOIRE

Peu de chapitres de l'histoire générale sont plus difficiles à écrire que ceux ayant trait à l'histoire des idées scientifiques. Pour étudier l'histoire d'une science particulière, ou même plus modestement pour relater avec exactitude certains épisodes importants de son développement, il faut en effet connaître à fond l'état présent de cette science et toutes les péripéties qui l'ont peu à peu amenée à être ce qu'elle est aujourd'hui : c'est là une condition essentielle pour pouvoir apprécier exactement l'importance de chaque progrès accompli et les raisons pour lesquelles ces progrès se sont opérés de telle ou telle façon. Mais il ne suffit pas à qui veut étudier le passé d'une science d'avoir à son sujet des connaissances étendues et précises, il faut aussi posséder les qualités essentielles de l'historien et les méthodes de la critique historique. Comme ces qualités diverses sont assez rarement réunies en un même individu, l'histoire des diverses branches de la science ne peut être abordée avec fruit que par un petit nombre de spécialistes, et elle ne semble pas avoir pris jusqu'ici toute l'extension que justifierait cependant le grand intérêt qui s'y attache.

Si l'étude de l'évolution des sciences jusqu'à l'époque contemporaine est déjà difficile, combien l'est-elle plus encore si l'on veut la prolonger jusqu'au temps présent ! La multiplication des publications dans tous les pays et dans toutes les langues, le prodigieux développement des découvertes expérimentales, l'intense foisonnement des idées théoriques qui, souvent, dans les époques de progrès rapide, se transforment entièrement d'une année à l'autre, tout cela offrira à la sagacité des futurs historiens des sciences un écheveau de faits presque inextricable, au milieu

duquel ils auront bien de la peine à retrouver la marche exacte de l'évolution des découvertes et des doctrines et à suivre les étapes successives de la pensée des novateurs.

Afin de faciliter, dans la mesure du possible, l'œuvre que les historiens de la science auront à accomplir, il n'est sans doute pas inutile que des savants ayant participé à quelques-unes de ces grandes crises de croissance dont est jalonnée l'histoire de chaque science cherchent à résumer eux-mêmes les états d'esprit successifs par lesquels ils ont passé et à faire le récit des diverses circonstances qui ont peu à peu orienté leur pensée. On s'apercevra alors bien souvent que le cours de cette pensée a dû décrire de nombreux méandres avant de s'orienter finalement dans la voie où elle a pu trouver son plein épanouissement.

J'ai donc pensé qu'il pourrait être intéressant que je cherche à faire un semblable retour sur le passé au sujet des origines de la Mécanique ondulatoire. Bien qu'il soit assurément peu louable de trop parler de soi-même, il me semble qu'on pourra ici m'en excuser, car, en exposant le cours de mes pensées anciennes, j'aurai comme but principal de fournir un document à ceux qui voudraient plus tard aborder l'histoire de la grande crise subie par la Physique à l'époque où les quanta y ont fait leur troublante apparition. Je ne porterai d'ailleurs pas, dans le présent exposé, ma principale attention sur l'éclosion dans mon esprit des idées originales que j'avais mises en avant dans mes premiers travaux et qui ont servi de bases aux développements ultérieurs de la Mécanique ondulatoire. Mon intention est, au contraire, d'insister surtout sur les difficultés que j'ai rencontrées et les hésitations que j'ai éprouvées quand j'ai cherché à interpréter physiquement d'une façon approfondie les conceptions fondamentales de la Mécanique ondulatoire, et à comprendre la portée réelle du dualisme onde-corpuscule impliqué dans la structure même de la doctrine dont je m'étais fait le protagoniste. Je voudrais expliquer aussi comment peu à peu, parti de la conception déterministe classique des phénomènes physiques, que j'adoptais plus par habitude d'esprit que par conviction philosophique, j'ai été amené à me rallier entièrement à l'interprétation probabiliste et indéterministe que MM. Bohr et Heisenberg ont donnée de la nouvelle mécanique et dont les fameuses « relations d'incertitude » sont la traduction analytique.

Peut-être cette « confession » aura-t-elle aussi l'avantage d'empêcher certains chercheurs, comme il s'en rencontre encore assez souvent aujourd'hui, de s'efforcer à revenir en arrière, à remettre en question les conceptions nouvelles de la physique des incertitudes. Tous ceux, en effet, qui tentent un effort de ce genre sont amenés à reprendre, sous une forme ou sous une autre, les tentatives que divers chercheurs, dont moi-même, avait faites, il y a une quinzaine d'années, pour essayer de sauver les images précises et les croyances déterministes de la physique classique. Telle est, par exemple, la tentative connue sous le nom d'interprétation hydrodynamique de Madelung, que j'avais précisée en l'appelant la théorie de l'onde-pilote, et que j'ai dû abandonner ensuite. On verra ainsi que ce n'est pas de gaieté de cœur, mais plutôt contraint et forcé, que j'ai abandonné les positions traditionnelles de la physique classique : peut-être cette constatation montrera-t-elle aux incrédules combien ces positions traditionnelles étaient devenues difficiles à défendre. Le souvenir des efforts infructueux, qui s'oublie vite précisément parce qu'ils sont infructueux, est loin d'être inutile, car il épargne à beaucoup de recommencer un travail voué à l'échec et de s'engager dans des voies en impasse où d'autres auparavant se sont momentanément égarés.

L'évolution de mes propres conceptions dans la période critique 1923-1928 en ce qui concerne l'interprétation de la Mécanique ondulatoire prouve aussi à quel point celui qui lance les idées fondamentales d'une doctrine nouvelle n'en aperçoit pas toujours de prime abord toutes les conséquences : guidé par ses intuitions personnelles, poussé par la force interne des analogies mathématiques, il est entraîné presque malgré lui dans une voie dont il ignore lui-même où elle le conduira finalement. Ayant des habitudes d'esprit dues pour une grande part aux enseignements qu'il a reçus et aux idées qui règnent autour de lui, il hésite souvent à rompre avec ces habitudes et cherche à concilier avec elles les idées nouvelles dont il aperçoit la nécessité. Cependant, peu à peu il se voit contraint d'en arriver à des interprétations qu'il n'avait pas du tout prévues à l'origine, et dont il finit souvent par être d'autant plus convaincu qu'il a plus longtemps tenté en vain de les éviter. Et c'est là l'intérêt que peut aussi présenter pour l'étude psychologique des découvertes l'exposé que je vais entreprendre.

Les origines : 1923-1924.

Dans le cours des années 1922-1923 s'était manifestée clairement à mon esprit la nécessité de rapprocher en une sorte de synthèse les notions d'onde et de corpuscule, depuis longtemps utilisées, mais en quelque sorte isolément l'une de l'autre, par la physique théorique.

La notion d'onde, d'abord liée à l'image intuitive d'un mouvement vibratoire se propageant dans un milieu matériel, avait joué un rôle essentiel dans le développement de la physique des corps solides, liquides et gazeux : la théorie de l'élasticité, l'hydrodynamique, l'acoustique en avaient fait un grand usage et une étude approfondie. Puis, les ondes étaient devenues, grâce à Augustin Fresnel qui avait ressuscité les idées d'Huyghens, la clef de l'explication des phénomènes lumineux et, dans ce domaine de l'optique, elles étaient apparues comme représentant les mouvements vibratoires d'un milieu très subtil pénétrant tous les corps, l'éther lumineux. Les propriétés de cet éther apparaissaient d'ailleurs comme passablement paradoxales, puisqu'il devait être assez subtil pour n'exercer aucun freinage sur les corps qui s'y déplacent, et cependant être infiniment rigide, car il ne devait pouvoir transmettre que des ondes transversales, la lumière ne contenant jamais d'ondes longitudinales d'une intensité décelable. Bientôt la théorie électromagnétique de la lumière avait donné à l'onde lumineuse un caractère plus abstrait, car elle avait défini tous les rayonnements comme constitués par des champs électromagnétiques se propageant par ondes dans l'espace, sans pouvoir préciser clairement si ces champs représentaient vraiment la vibration d'un milieu. La conception d'un éther, support des champs électromagnétiques, s'était heurtée à tant de difficultés qu'elle était tombée dans un certain discrédit : le développement de la théorie de Relativité devait lui porter le coup de grâce. Mais l'hypothèse d'ondes représentant des champs vibratoires en propagation à travers l'espace était restée la base solide et indispensable d'une explication complète des phénomènes de l'optique physique, en particulier de ces phénomènes d'interférences et de diffraction dont l'étude comporte tant de précision.

D'autre part, la notion de corpuscule, aussi ancienne que la

pensée scientifique et déjà en honneur chez les philosophes de l'antiquité, avait acquis une importance de plus en plus marquée au fur et à mesure que s'étaient développées, dans le courant du XIX^e siècle, les conceptions de la physique atomique et moléculaire. La découverte successive des molécules, des atomes, des ions, des électrons, appuyée sur des preuves expérimentales de plus en plus nombreuses et irréfutables, avait déterminé chez tous les physiciens la conviction que l'explication des phénomènes naturels doit essentiellement faire intervenir les discontinuités de structure que schématise la notion de corpuscule. Le corpuscule leur apparaissait comme un individu physique localisable dans l'espace à divers instants, et même, on l'admettait comme évident à cette époque, susceptible en principe d'être localisé dans l'espace à tout instant; des grandeurs physiques qui le caractérisent, telles que sa masse et sa charge électrique, lui sont attachées d'une façon permanente; à chaque instant il possède une énergie et une quantité de mouvement, et ces grandeurs ne varient que quand il les échange avec d'autres entités physiques, conformément aux grands principes de conversation.

Telles qu'elles se présentaient à l'esprit des théoriciens, les images d'ondes et de corpuscules formaient entre elles un contraste frappant : tandis que les champs à caractère ondulatoire étaient, par hypothèse, répandus d'une manière continue et homogène dans des régions étendues de l'espace, les corpuscules étaient essentiellement conçus comme localisés, doués d'individualité, et constituant dans l'espace des sortes de singularités mobiles à existence permanente. En principe il n'y avait pas d'objection logique à employer l'une des deux images dans certaines branches de la physique et l'autre dans d'autres branches, à faire, par exemple, intervenir les ondes dans l'explication des phénomènes électromagnétiques et lumineux, et à interpréter par l'existence des corpuscules leurs mouvements et leurs interactions, la structure et les propriétés des corps matériels quand on les envisage à très petite échelle. Mais certains symptômes, dont le nombre et l'importance avaient été en croissant, me paraissaient, vers 1923, indiquer nettement qu'un semblable cantonnement des notions d'ondes et de corpuscules dans des régions différentes du monde physique ne correspondait pas à la réalité, et qu'il était nécessaire de faire partout intervenir simultanément les

deux images rivales. J'ai souvent, dans d'autres exposés, expliqué quels étaient ces symptômes et je n'en ferai ici qu'un résumé rapide.

A l'époque à laquelle je me reporte, la découverte et l'étude des lois de l'effet photoélectrique, celle, beaucoup plus récente, de l'effet Compton, et, peut-on dire, tout l'ensemble des phénomènes quantiques d'interactions entre la matière et le rayonnement imposaient irrésistiblement l'idée qu'il devenait nécessaire, suivant l'hypothèse suggérée dès 1905 par M. Einstein, de réintroduire dans la théorie de la lumière la notion du corpuscule, en admettant que, dans toute onde lumineuse monochromatique de fréquence ν , l'énergie est concentrée en grains de valeur $h\nu$, où h est la constante des quanta de Planck. Ces grains de lumière, ces photons comme on commençait alors à les nommer, se manifestent par des actions locales, et on peut leur attribuer une énergie et une quantité de mouvement obéissant aux lois générales de conservation. Sans doute, les photons différaient sur plus d'un point des particules de lumière autrefois imaginées par Newton et par les partisans de la théorie de l'émission ; leur apparition en physique n'en constituait pas moins un retour offensif bien imprévu de la discontinuité corpusculaire, dans un domaine où la continuité des ondes paraissait s'être entièrement imposée depuis la grande œuvre de Fresnel. Bien entendu, cette grande œuvre n'était en aucune façon ébranlée en ce qui concernait l'explication des phénomènes physiques, de sorte que la conception des ondes lumineuses restait tout aussi nécessaire qu'auparavant. Il semblait donc falloir s'orienter vers une théorie synthétique de la lumière, reposant sur un dualisme onde-corpuscule, dont la nature restait très mystérieuse.

S'il était ainsi presque évident en 1923, pour tout physicien sans prévention, que les corpuscules envahissaient à nouveau un domaine qu'on croyait bien réservé définitivement aux ondes, sans d'ailleurs parvenir à expulser celles-ci de ce domaine, il fallait une hardiesse beaucoup plus grande pour suggérer que les ondes devaient, à leur tour, envahir le domaine jusque-là réservé aux corpuscules. Ce fut cependant la conviction qui peu à peu, à cette époque, s'imposa à mon esprit. L'analogie du principe de Fermat, qui domine l'optique géométrique, et du principe de moindre action, qui règle le mouvement des corpuscules, le

caractère très particulier des mouvements quantifiés que les électrons possèdent, suivant les vues de Bohr, à l'intérieur des systèmes atomiques, et qui sont caractérisés par des nombres entiers, comme les phénomènes d'interférences en théorie des ondes, d'autres rapprochements encore, me paraissaient indiquer de plus en plus clairement que la mécanique des corpuscules, du moins à l'échelle atomique, doit faire intervenir des images ondulatoires, des propagations d'ondes, dont on n'avait pas tenu compte jusqu'alors.

De plus, l'intervention des quanta et de la constante h de Planck dans ces questions, aussi bien dans la théorie des photons que dans celle de la quantification des mouvements électroniques, me semblait démontrer clairement que la liaison des deux termes du dualisme onde-corpuscule se faisait par l'intermédiaire du quantum d'action, et devait par suite s'exprimer mathématiquement par des formules où apparaîtrait la constante h . Ceci était déjà le cas pour les relations qui, en théorie du photon, exprimaient l'énergie et la quantité de mouvement du corpuscule de lumière en fonction de la fréquence et de la longueur d'onde de l'onde lumineuse, et la forme de ces relations donnait une indication sur la liaison à établir dans le cas général d'un corpuscule quelconque, puisque la théorie des photons devait évidemment rentrer comme un cas particulier dans la théorie générale.

D'autres considérations encore pouvaient me servir de guide. On savait depuis l'œuvre presque séculaire du géomètre Hamilton que, si l'on considère un corpuscule d'une espèce donnée se déplaçant dans un champ de force permanent, les trajectoires possibles de ce corpuscule se divisent en classes, chaque classe formant l'ensemble des rayons d'une certaine propagation d'onde du type de l'optique géométrique. Si donc on imagine, non pas un seul corpuscule, mais une infinité de corpuscules identiques et sans interactions mutuelles, ils peuvent décrire simultanément tous les rayons d'une même onde qui se propagerait dans le champ de force suivant des lois bien définies conformes à celle de l'optique géométrique. Mais naturellement on a généralement affaire à un seul corpuscule, qui décrira un seul des rayons de l'onde. Cependant, si l'on imagine par la pensée une infinité de corpuscules identiques décrivant simultanément tous les rayons d'une même onde, on aperçoit que la propagation de chacune de

ces ondes représente l'ensemble des mouvements possibles du corpuscule qui appartiennent à une même classe. D'ailleurs, en optique géométrique, chaque rayon est uniquement déterminé par les conditions physiques qu'il rencontre devant lui en progressant, et l'on peut par suite prévoir sa forme sans avoir à s'inquiéter de celles des autres rayons de la même onde. Or, la forme de chaque rayon est déterminée entièrement, en optique géométrique, par le classique principe de Fermat ou du temps minimum : il est donc facile de pressentir, puisque chaque rayon est une trajectoire possible du corpuscule, qu'il doit y avoir un lien étroit entre ce principe de Fermat, qui détermine les formes possibles des rayons, et le principe de moindre action de Maupertuis, qui détermine les formes possibles des trajectoires. Cette analogie entre la dynamique classique des corpuscules et l'optique géométrique, si clairement mise en évidence par les travaux de Hamilton, puis par ceux, un peu postérieurs, de Jacobi, n'avait paru à cette époque qu'une curieuse équivalence analytique permettant de développer sous une forme très élégante et souvent très utile les théories générales de la dynamique. Certaines difficultés paraissaient d'ailleurs s'opposer à toute interprétation physique de cette équivalence analytique et, pendant près d'un siècle, aucun effort ne fut tenté dans cette voie. Dans l'état d'esprit où je me trouvais en 1923, je parvins immédiatement à me convaincre qu'il fallait au contraire essayer de développer le parallélisme entre la dynamique corpusculaire et la propagation des ondes, en lui donnant un sens physique et en y faisant intervenir les quanta.

Je ne veux point rappeler ici en détail comment je suis parvenu à développer ces points de vue nouveaux, d'abord dans des notes parues dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, à la fin de 1923, puis dans un exposé plus complet, qui a constitué ma thèse de Doctorat, soutenue en 1924. Je dirai seulement que je parvenais dans ces travaux à associer à tout mouvement d'un corpuscule obéissant aux lois classiques de la dynamique une propagation d'ondes, et à établir des relations quantitatives exactes entre la fréquence et la longueur d'onde de l'onde d'une part, et l'état de mouvement du corpuscule d'autre part, à l'aide de formules où figurait la constante de Planck et qui permettaient d'identifier le principe de Fermat à celui de

Maupertuis. Je montrais de plus comment cette théorie, tout à fait générale, contenait comme cas particulier la théorie des photons, et comment aussi, appliquée aux électrons intraatomiques, elle permettait d'interpréter l'existence des états stationnaires pour ces électrons comme étant l'effet d'une sorte de résonance de leurs ondes associées.

Enfin, sachant bien que, du point de vue général de l'optique ondulatoire, l'optique géométrique apparaît seulement comme une approximation valable dans certaines conditions, et constatant que la dynamique classique des corpuscules s'avérait comme traduisant l'optique géométrique des ondes associées aux corpuscules, j'émettais l'opinion qu'il fallait s'efforcer de constituer une mécanique des corpuscules plus générale que la mécanique classique et qui soit, par rapport à celle-ci, ce qu'est l'optique ondulatoire par rapport à l'optique géométrique. De même que l'optique physique permet de prévoir des phénomènes, tels qu'interférences et diffraction, qui échappent complètement aux prévisions de l'optique géométrique, parce qu'ils sont au-delà des limites d'applicabilité de cette discipline, de même je prévoyais dès ce moment qu'il devait être possible d'obtenir avec des corpuscules, avec des électrons en particulier, certains phénomènes d'interférences ou de diffraction tout à fait impossibles à prévoir à l'aide de la dynamique classique.

Obstacles et progrès : 1925-1926.

Ainsi j'apercevais clairement dans quelle direction il fallait marcher, et le développement ultérieur de la Mécanique ondulatoire n'a fait que confirmer l'exactitude du programme que j'avais alors tracé. Mais, en même temps que m'apparaissait nettement le rôle que devait jouer la nouvelle mécanique, je voyais non moins nettement à quelles difficultés considérables on allait se heurter quand on voudrait préciser, en harmonie avec cette nouvelle doctrine, la relation exacte de l'onde et du corpuscule et concilier les deux termes de ce dualisme, sans trop s'écarter des idées classiques admettant la possibilité de représenter toutes les réalités physiques par des images dans le cadre de l'espace et du temps et d'attribuer un déterminisme rigoureux à leur évolution. C'est qu'en effet toute ma formation scientifique anté-

rieure et les principes que j'avais puisés dans l'œuvre de mes précurseurs ou dans l'enseignement de mes maîtres me portaient à considérer l'ensemble de ces idées comme formant, tout au moins sur le terrain proprement scientifique, la base intangible de tous les progrès futurs, et la norme dont on ne pouvait s'écarter sans trahir la véritable méthode de la science positive. Mais, plus je cherchais à couler dans ce moule préexistant la matière nouvelle fournie par mes idées sur la mécanique ondulatoire, plus je rencontrais d'obstacles, et le sentiment sans cesse accru de ces difficultés contribua à m'empêcher pendant toute l'année 1925 de développer rapidement la construction que j'avais entreprise. Examinons donc quels étaient ces obstacles et ces difficultés.

Dans la théorie des ondes, les grandeurs de champ qui se propagent par ondulations sont réparties dans l'espace d'une façon continue ; les divers points de l'onde ne diffèrent pas essentiellement les uns des autres, ce qu'on peut traduire en langage mathématique en disant que les ondes de la théorie ondulatoire usuelle ne présentent aucun « point singulier ». Dans le cas, assurément particulier, mais si important en optique, de l'onde plane monochromatique, tous les points de l'onde sont même strictement équivalents : l'onde est alors tout à fait homogène. Certes, on peut bien toujours tracer les rayons de l'onde quand l'optique géométrique est valable pour décrire sa propagation, car ce sont par définition les courbes orthogonales aux surfaces d'égale phase, et pour l'onde plane monochromatique, les surfaces d'égale phase étant alors des plans parallèles, ils forment simplement un faisceau de droites parallèles. Mais ces rayons jouent tous exactement le même rôle et aucun d'eux n'est privilégié. Dans la théorie de Hamilton-Jacobi, dont nous avons parlé plus haut, on assimile toutes les trajectoires possibles d'un corpuscule dans un champ de force donné, s'ils appartiennent tous à une même classe, aux divers rayons d'une onde, et ceci respecte l'équivalence des rayons, puisque toutes les trajectoires *possibles* sont évidemment équivalentes. Si l'on avait affaire à une infinité de corpuscules identiques décrivant toutes les trajectoires possibles, l'équivalence se maintiendrait par suite d'un effet statistique : mais, en pratique, on a généralement affaire à *un* corpuscule décrivant *une* des trajectoires possibles. Alors, dans l'onde de la

théorie de Hamilton-Jacobi se trouve à tout instant un point ayant un rôle particulier, savoir le point occupé par le corpuscule à cet instant, et la trajectoire décrite par le corpuscule au cours du temps est un rayon ayant un caractère *singulier*, puisqu'il est effectivement décrit par le mobile, tandis que les autres rayons ne sont que des trajectoires possibles, mais non effectivement décrites. Dans le cadre de la théorie classique d'Hamilton-Jacobi ces constatations n'entraînent aucune difficulté, puisque l'onde et ses rayons y jouent seulement le rôle d'une représentation fictive permettant de grouper les trajectoires possibles en diverses classes, sans avoir à considérer aucunement cette onde comme ayant une existence physique réelle. Tout autre est le point de vue de la Mécanique ondulatoire, qui, en associant une propagation d'onde à tout mouvement corpusculaire, met en quelque sorte sur un pied d'égalité les deux termes du dualisme onde et corpuscule. Pour elle, il devient donc très difficile d'expliquer comment l'onde associée peut avoir le caractère de continuité (et même d'homogénéité parfaite dans le cas de l'onde plane) que postule la théorie classique des ondes, alors que la présence du corpuscule devrait naturellement créer au sein de cette onde une sorte de point singulier, la trajectoire de ce point singulier au cours du temps définissant un rayon privilégié. Et cependant, il était absolument certain que l'onde associée au corpuscule devait avoir le caractère de continuité des ondes de la théorie ondulatoire classique : dans le cas particulier de la lumière, en effet, l'explication des phénomènes d'interférences et de diffraction exige impérieusement l'intervention des ondes continues employées en optique depuis Fresnel, et par suite les ondes associées au photon doivent nécessairement avoir ce caractère. Le développement de la Mécanique ondulatoire prouvait d'ailleurs déjà, et devait prouver de plus en plus, que les ondes associées à tout corpuscule doivent avoir les propriétés de continuité des ondes classiques.

Une grande difficulté se présentait ainsi quand on cherchait comment devaient être associés l'onde et le corpuscule, et cela même dans le cas où, l'optique géométrique étant valable pour la propagation de l'onde, le mouvement du corpuscule peut être décrit par les équations de la mécanique classique dans le cadre de la théorie de Hamilton-Jacobi. Mais des obstacles encore

plus redoutables paraissaient se dresser devant moi quand je cherchais à extrapoler mes conceptions nouvelles en dehors du domaine de l'optique géométrique, en tentant de constituer la Mécanique ondulatoire dans toute sa généralité, suivant le programme que je m'étais tracé. On sait en effet que, quand une propagation d'onde ne peut plus se décrire par les procédés de l'optique géométrique, par exemple quand interviennent des interférences ou de la diffraction, la notion de rayon perd entièrement son sens, et l'optique physique doit renoncer à définir des rayons dans les régions où, par suite des interférences, règne une répartition compliquée des champs vibratoires lumineux. Donnons-en un exemple, qui correspond à l'expérience décrite dans tous les traités classiques d'optique sous le nom d'expérience des trous d'Young. Un écran plan est percé de deux trous circulaires de même diamètre ; on fait tomber normalement sur la face intérieure de l'écran un faisceau de lumière formant une onde plane monochromatique. Que se passe-t-il du côté postérieur de l'écran ? La réponse est tout à fait différente suivant que le diamètre des trous percés dans l'écran est grand par rapport à la longueur d'onde de l'onde incidente, ou au contraire qu'il est du même ordre. Dans le premier cas, l'optique géométrique est applicable à la description du phénomène : du côté postérieur à l'écran, émergeront deux faisceaux de lumière cylindriques et parallèles, chacun d'eux étant exactement défini latéralement pour le contour d'un des trous d'Young. Dans ce cas, si l'on veut suivre par la pensée le mouvement d'un des photons qui traversent l'écran, on pourra imaginer qu'il suit l'un des rayons rectilignes de l'onde incidente qui vient passer par l'un des trous d'Young, et l'on ne verra alors aucune difficulté à affirmer que tel photon a dû passer par tel trou. Mais envisageons le second cas, celui où la longueur d'onde de l'onde incidente est du même ordre que le diamètre des trous d'Young : il y aura alors diffraction au passage de la lumière par chaque trou, et du côté postérieur de l'écran chacun d'eux jouera le rôle de source d'une petite onde sphérique. Si les trous ne sont pas trop éloignés l'un de l'autre, il existera une région étendue de l'espace où les ondes provenant des deux trous se superposeront avec une intensité notable, et dans cette région se produiront des phénomènes d'interférences : ce sont précisément ces phénomènes que Young a jadis observés, appor-

tant ainsi un argument décisif en faveur de la théorie des ondulations, et qui sont soigneusement décrits et interprétés théoriquement dans tous les traités d'optique physique. Dans la région des interférences où la répartition des grandeurs vibratoires, quand on l'analyse en détail, apparaît assez compliquée, il n'y a plus aucun moyen de définir des rayons de lumière ayant un sens physique simple, et par suite nous ne savons plus du tout où sont les trajectoires des photons : et cependant il n'y a aucun doute que des effets photoélectriques localisés peuvent se produire dans les franges brillantes de cette région, de sorte que les photons peuvent y manifester leur existence. Des difficultés plus graves encore apparaissent à la réflexion. Si nous voulons conserver la description classique des phénomènes à l'aide d'images précises dans le cadre de l'espace et du temps, nous devons imaginer que chaque photon de l'onde incidente pénètre dans la région postérieure de l'écran en traversant l'un ou l'autre des trous d'Young. Mais, des expériences d'une portée capitale ont montré que les phénomènes d'interférences s'obtiennent sans aucune modification quand l'intensité de la lumière incidente est très faible, assez faible pour que les photons arrivent un par un, à de longs intervalles, sur l'appareil interférentiel. Il en résulte que l'arrivée sur cet appareil de chaque photon considéré isolément doit être associée à l'arrivée d'une onde continue, qui seule permet la prévision exacte des interférences provoquées par la présence des trous dans l'écran. Mais cette onde continue, homogène, doit frapper de la même façon les deux trous d'Young, car la théorie classique du phénomène, dont on ne peut s'écarter, fait intervenir les deux trous d'une façon tout à fait symétrique. Comment concilier cette intervention symétrique des deux trous d'Young avec l'hypothèse que le photon passe nécessairement par l'un ou l'autre des deux trous? Ayant analysé le problème de près, je trouvais l'obstacle insurmontable. L'examen d'autres phénomènes, celui par exemple des franges d'interférences qui se produisent au voisinage de la surface d'un miroir (franges de Wiener), celui encore de la réflexion et de la réfraction partielles que subit une onde lumineuse quand elle atteint la surface de séparation de deux milieux inégalement réfringents, posait des problèmes analogues et aussi peu solubles. J'avais le tort de vouloir les résoudre sans penser à mettre en doute les conceptions trop arrêtées et

les affirmations trop dogmatiques de la physique classique.

Pendant que je me débattais au milieu de ces contradictions, le développement mathématique de la nouvelle mécanique prenait un grand essor. En 1925, M. Heisenberg, âgé seulement de vingt-cinq ans, en se laissant guider par le principe de correspondance de Bohr et par le désir d'adopter un point de vue strictement phénoménologique, développait sa mécanique quantique ou mécanique des matrices, dont les applications se montraient tout de suite très fécondes. Puis, au début de 1926, dans une série de mémoires fondamentaux, M. Schrödinger, développant les idées contenues dans ma thèse, donnait un développement analytique complet de la Mécanique ondulatoire, l'appliquait victorieusement à la détermination rigoureuse des états quantifiés dont sont susceptibles les systèmes atomiques, et montrait enfin que la Mécanique quantique de M. Heisenberg était entièrement en accord avec la Mécanique ondulatoire, dont elle n'est au fond qu'une transposition en un langage algébrique plus abstrait. Peu après, un très jeune savant Anglais, M. P. A. M. Dirac, allait donner à toute cette construction théorique nouvelle une forme plus abstraite encore dans sa théorie des nombres q .

Les travaux de M. Schrödinger avaient naturellement éveillé dans tout le monde scientifique la plus vive curiosité : de nombreux mémoires furent alors consacrés à les développer et à en appliquer les résultats. Je n'ai pas besoin de dire avec quel intérêt passionné je suivais toute cette brusque floraison d'idées nouvelles, cherchant à bien préciser les liens qui unissaient mes conceptions primitives aux formes parfois un peu différentes qu'elles prenaient dans l'esprit d'autres chercheurs.

Cependant la véritable interprétation du dualisme onde-corpuscule me paraissait rester obscure et ne cessait pas de me préoccuper. Dans ses brillants travaux, M. Schrödinger avait paru pencher vers une solution de ce problème qui avait pu un instant paraître très séduisante, mais qui, pour ma part, ne m'avait jamais vraiment satisfait. Il proposait, plus ou moins explicitement, de supprimer un des termes du dilemme, en supposant que les corpuscules étaient seulement des apparences dues à l'existence des petits trains d'ondes. Si, en effet, on considère un train d'ondes de petites dimensions, il résulte des lois de l'optique géométrique, quand elles sont valables, que ce

petit train d'ondes doit se déplacer dans l'espace en suivant un des rayons prévus par l'optique géométrique. Si donc ce train d'ondes est assez petit pour qu'à notre échelle, nous puissions l'assimiler à un objet presque ponctuel, il constituera pour nous une sorte de corpuscule décrivant dans l'espace l'une des trajectoires prévues comme possibles par la mécanique classique. De là à supposer que les corpuscules ne sont en réalité que des petits trains d'ondes, il n'y avait qu'un pas, que M. Schrödinger paraissait disposé à franchir. Malheureusement cette interprétation séduisante ne pouvait résister longtemps à un examen critique. Un petit train d'ondes de ce type devait aller sans cesse en s'étalant, d'où la conséquence inadmissible suivante : au bout d'un temps très court, le corpuscule qu'il constituerait au début se serait pour ainsi dire dilué dans l'espace et aurait cessé d'exister. De plus, si, dans le cas où l'optique géométrique est valable, la conception du corpuscule-train d'ondes pouvait, abstraction faite de la difficulté précédente, paraître acceptable, elle perdait tout sens net en dehors du domaine de l'optique géométrique, par exemple dans les régions d'interférences. Où trouver au milieu des franges d'Young ou de Wiener de petits trains d'ondes en propagation susceptibles de nous offrir une représentation du photon au sein de ces franges ? La tentative était sans espoir. Promptement l'interprétation proposée par M. Schrödinger dut être abandonnée.

Malgré les succès étonnants remportés par la Mécanique ondulatoire, la véritable interprétation du dualisme onde-corpuscule sur lequel elle reposait apparaissait donc encore comme tout à fait mystérieuse quand s'ouvrait l'année 1927, qui devait être dans l'évolution de ce problème une année décisive.

Ultimes tentatives et conversion finale : 1927-1928.

Rappelons d'abord que le printemps de 1927 devait apporter à la Mécanique ondulatoire la preuve expérimentale directe qui lui manquait encore. MM. Davisson et Germer annoncèrent alors qu'ils avaient réussi à obtenir des phénomènes de diffraction en envoyant un faisceau d'électrons monocinétiques sur un cristal de nickel, et ce phénomène, tout à fait analogue à la diffraction

des rayons X par les cristaux, était bientôt obtenu à nouveau, dans des conditions variées, par M. G. P. Thomson, puis par beaucoup d'autres physiciens; il a permis une vérification quantitative de plus en plus exacte des prévisions de la Mécanique ondulatoire. C'était un beau succès pour cette théorie! Néanmoins, cette découverte, en mettant en évidence pour les électrons un phénomène du type de l'optique physique, accentuait les difficultés d'interprétation qui me préoccupaient. Comment se figurer, en effet, le mouvement d'un électron lorsqu'il subit la diffraction par un cristal? Dans l'image classique du choc élastique d'un corpuscule sur un cristal, ce rebondissement devrait dépendre uniquement des propriétés de la surface du cristal au point où s'effectue l'impact, et aucunement de la structure globale du corps cristallisé. Or, les expériences de diffraction montraient au contraire que le phénomène était conditionné par toute la structure du cristal. Au point de vue de la Mécanique ondulatoire ceci s'expliquait aisément, puisque dans les expériences de Davisson l'onde associée à l'électron, tout comme l'onde électromagnétique des rayons X dans les expériences de Laue, atteint toute une partie étendue du cristal et subit la réaction de tout l'ensemble des centres diffractants régulièrement distribués qui y sont contenus. Mais comment se figurer le trajet d'un électron individuel dans un tel phénomène? Telle était toujours la pierre d'achoppement.

Obsédé par ces difficultés, j'ai fait pendant le cours de l'année 1927 deux tentatives successives et distinctes pour briser le cercle des obstacles où l'interprétation physique de la Mécanique ondulatoire me paraissait fâcheusement enfermé : ce furent l'hypothèse de la double solution et la théorie de l'onde pilote. Ces deux tentatives, qui furent toutes deux vaines, eurent l'avantage de me faire mieux apercevoir la nécessité d'adopter les idées entièrement nouvelles que développèrent pendant le cours de la même année MM. Bohr et Heisenberg.

Pour faire comprendre la nature de mes efforts, il est nécessaire que je rappelle l'un des principes qui s'étaient dégagés tout naturellement des premiers développements de la Mécanique ondulatoire. En théorie ondulatoire de la lumière, c'est, on le sait, le carré de l'amplitude de l'onde lumineuse, souvent nommée intensité lumineuse, qui mesure en chaque point de l'espace la

grandeur des effets que la lumière peut y produire. Cette hypothèse est, en particulier, tout à fait nécessaire pour mener à bien la prévision exacte des phénomènes d'interférences et de diffraction. Il suffit d'un peu de réflexion pour voir qu'en mécanique ondulatoire on devra généraliser cette hypothèse sous la forme du principe suivant, souvent appelé « principe de localisation » ou « principe des interférences » : « Le carré de l'amplitude de l'onde associée à un corpuscule mesure en chaque point et à tout instant la probabilité pour que le corpuscule manifeste sa présence en ce point à cet instant. » Ce principe a été tout de suite un des plus évidents et des mieux établis dans l'interprétation physique de la Mécanique ondulatoire.

Or, si l'on suppose connue la forme de l'onde associée à un corpuscule, l'intensité de cette onde en chaque point et à chaque instant pourra être considérée connue définissant la densité d'un fluide fictif se déplaçant dans l'espace au cours du temps, et alors la quantité de ce fluide contenue dans un petit volume dv donnera la probabilité pour que le corpuscule manifeste sa présence dans le volume dv . Si à l'onde considérée est associé, non pas un seul corpuscule, mais une infinité, un nuage de corpuscules identiques, le fluide fictif que nous venons d'imaginer représenterait évidemment la répartition statistique moyenne dans l'espace des corpuscules du nuage. L'étude des équations de la Mécanique ondulatoire permet d'ailleurs de définir, à partir de l'expression de l'onde, le mouvement de toutes les parties du fluide fictif. Il est alors tentant de supposer que le mouvement de tout corpuscule associé à l'onde coïncide constamment avec le mouvement ainsi calculé pour l'un des éléments du fluide fictif : l'ensemble des corpuscules d'un même nuage serait alors en quelque sorte la réalisation physique du fluide fictif ; mais, même dans le cas d'un seul corpuscule, le mouvement de ce corpuscule se trouverait entièrement déterminé par la connaissance de son onde associée et le principe des interférences se trouverait automatiquement satisfait. Cette interprétation physique de la Mécanique ondulatoire, qui a dû depuis être entièrement abandonnée, est souvent nommée l'interprétation hydrodynamique de Madelung, du nom du physicien qui en avait eu, indépendamment de moi, la première idée. Cette interprétation hydrodynamique, qui respecte les conceptions de la physique classique, j'ai cherché de

deux manières différentes, en 1927, à la développer d'une façon plus complète.

Tout d'abord, et ce fut l'origine de ma première tentative, il m'avait paru avec raison que, pour rester réellement en accord avec les idées classiques, il fallait parvenir à *incorporer* le corpuscule à l'onde, de façon à obtenir une image claire et cohérente du dualisme onde-corpuscule dans le cadre de l'espace et du temps. Le seul moyen me parut être de supposer que les corpuscules sont en réalité des singularités à caractère permanent au sein d'une onde étendue. La vraie onde associée à un corpuscule serait alors une onde à singularité. Mais nous avons vu que la mécanique ondulatoire, tout comme l'optique de Fresnel, avait été amenée à considérer des ondes continues, sans singularités, dont la propriété fondamentale était que leur intensité fournissait en chaque point la probabilité de présence du corpuscule. Comment concilier ces deux conceptions opposées de l'onde associée au corpuscule, conceptions qui me paraissaient alors également nécessaires? Pour le faire, j'essayai de développer l'idée que les équations de la mécanique ondulatoire admettraient toujours deux solutions couplées, dont l'une, à singularité, représenterait réellement la structure du dualisme onde-corpuscule, tandis que l'autre, continue, donnerait seulement l'aspect statistique du déplacement d'un nuage de corpuscules. J'espérais ainsi obtenir une théorie représentant le dualisme onde-corpuscule conformément aux idées de l'ancienne physique, tout en justifiant l'emploi des ondes continues et en leur attribuant la propriété essentielle exprimée par le principe des interférences. L'on devait bien ainsi retrouver l'interprétation hydrodynamique de Madelung, mais doublée pour ainsi dire par l'image structurale des ondes à singularités corpusculaires. Cette tentative hardie et ingénieuse, trop ingénieuse peut-être, fut, je crois, la seule qui fut effectivement tentée pour sauver les idées classiques. Je l'esquissai dans un article du *Journal de Physique* rédigé au début de 1927, et l'on en trouvera aussi des traces dans le texte d'un fascicule du *Mémorial des Sciences physiques*, écrit à la même époque¹. Je m'aperçus malheureusement que la justification de mon hypothèse, en dehors de cas tout à fait simples comme celui du mou-

1. *La Mécanique ondulatoire*, Paris, Gauthier-Villars, 1928.

vement rectiligne uniforme, comportait d'énormes difficultés mathématiques, et je ne tardai pas à me convaincre qu'il était impossible d'aboutir réellement dans cette voie. Je cherchai alors à m'établir plus solidement sur une sorte de position de repli en adoptant un point de vue en principe moins satisfaisant, mais peut être plus facile à défendre. L'occasion m'en fut offerte par la préparation d'un rapport au 5^e Conseil de Physique Solvay, qui devait se réunir à Bruxelles au mois d'octobre 1927.

L'intérêt immense qu'avait soulevé dans les milieux scientifiques de tous les pays l'éclosion de la nouvelle mécanique avait fait choisir l'étude de cette doctrine sous ses divers aspects comme thème de la réunion projetée. L'illustre H. A. Lorentz (qui devait mourir au début de l'année suivante), chargé d'organiser et de présider ce Conseil de Physique, m'écrivit, en juin 1927, pour me demander de lui adresser un rapport sur la Mécanique ondulatoire et son interprétation, rapport qui devait être distribué aux membres du Conseil avant sa réunion et fournir l'une des bases de la discussion. Convaincu à ce moment que mon hypothèse de la double solution était trop difficile à justifier, je me décidai à adopter, dans mon rapport, un point de vue plus mitigé. J'admettais d'un côté l'existence des corpuscules, imaginés, à la façon classique, comme de petits objets ponctuels, et de l'autre celle des ondes associées continues, transposées de l'optique physique en mécanique ondulatoire. Le corpuscule placé dans l'onde se trouvait donc coïncider avec un élément du fluide fictif de probabilité dont nous avons parlé plus haut : mon hypothèse était alors que le corpuscule suivait à tout instant le mouvement de l'élément du fluide fictif avec lequel il coïncidait, et le principe des interférences en résultait immédiatement. Ainsi, je plaçais en quelque sorte d'autorité le corpuscule au sein de l'onde, et je supposais qu'il était entraîné suivant une certaine loi bien définie par la propagation même de l'onde : je retrouvais donc, en la précisant, l'image hydrodynamique de Madelung. Dans mon hypothèse, l'onde « pilotait » en quelque sorte le corpuscule, d'où le nom de « théorie de l'onde-pilote » que je donnais à cette conception. Cette théorie était assurément beaucoup moins complète que celle que j'avais espéré pouvoir édifier avec l'hypothèse de la double solution, puisqu'elle ne parvenait plus à incorporer le corpuscule dans l'onde et *constatait* le dualisme

onde-corpuscule sans tenter d'en approfondir la nature ; mais elle avait alors à mes yeux l'avantage de conserver la notion traditionnelle de corpuscule ponctuel bien localisé dans l'espace, et de maintenir le déterminisme rigoureux de ses mouvements. Telle fut la solution dont je donnai une esquisse dans mon rapport au Congrès Solvay. Mais, là encore des difficultés se présentaient, et surtout, comme toujours, quand, dépassant les limites de l'optique géométrique, on cherchait à imaginer le mouvement des corpuscules dans les régions d'interférences. Assurément les formules auxquelles je parvenais me permettaient de décrire ce mouvement d'une façon complète, et j'en fis notamment l'étude pour le photon dans le cas des franges de Wiener au voisinage d'un miroir. Mais les mouvements ainsi attribués aux corpuscules dans les régions d'interférences avaient un caractère assez artificiel et, au fur et à mesure que j'approfondissais cette théorie de l'onde-pilote, j'en apercevais mieux la fragilité et les difficultés.

Les plus sérieuses de ces difficultés étaient liées à l'existence d'un nouveau principe qui s'était introduit en mécanique ondulatoire à côté de celui des interférences et commençait à y jouer un rôle tout aussi important : je veux parler du principe de Born ou de décomposition spectrale. Ce principe, lui aussi, était suggéré par la théorie ondulatoire de la lumière. Considérons un faisceau de lumière blanche : on sait que divers dispositifs, tels que prismes ou réseaux, permettent de décomposer cette lumière en un spectre, c'est-à-dire d'isoler les diverses composantes monochromatiques qui, par leur « superposition », donnaient cette lumière blanche. La lumière blanche doit donc être représentée par une fonction d'onde formée par la somme d'ondes planes monochromatiques, et les dispositifs en question ont pour effet d'isoler ces différentes composantes monochromatiques. En employant le langage mathématique, on peut dire que le prisme isole les composantes de la série de Fourier qui représente analytiquement la lumière blanche incidente. Si l'on introduit alors l'idée de photon, on devra dire qu'après son passage à travers le prisme, un photon incident peut manifester sa présence dans l'un ou l'autre des faisceaux colorés qui en sortent, et la théorie ondulatoire exige alors que la probabilité pour que le photon manifeste sa présence dans l'un de ces faisceaux colorés soit

mesurée par l'intensité de la composante de Fourier correspondante dans la série de Fourier qui représente l'onde incidente. M. Born a le premier transposé ces remarques de l'optique en mécanique ondulatoire, et cette transposition a abouti au principe général de décomposition spectrale dont voici l'énoncé : « En général, un corpuscule dont l'état est représenté par une certaine onde associée n'a pas une énergie bien définie : son énergie a seulement certaines valeurs *possibles*. La probabilité pour qu'une mesure de cette énergie fournisse l'une des valeurs possibles est mesurée par l'intensité de la composante monochromatique correspondante dans la série de Fourier qui représente l'onde associée au corpuscule dans son état initial avant la mesure. » Cet énoncé entraîne l'adoption de conceptions entièrement nouvelles, tout à fait étrangères à la physique classique, car il implique qu'en général un corpuscule n'a pas un état de mouvement bien défini, mais qu'il faut envisager l'état du corpuscule comme une « superposition » d'états de mouvement. Cette extension aux états de mouvements d'un corpuscule de l'idée de « superposition » telle que l'emploie l'optique quand elle étudie des ondes lumineuses non monochromatiques était en contradiction flagrante avec le système d'images spatio-temporelles sur lequel étaient fondées toutes les tentatives d'explication des phénomènes dans l'ancienne physique ; elle entraînait aussi l'abandon du caractère concret qu'on avait souvent jusque-là cherché à attribuer aux ondes associées. C'est la raison profonde pour laquelle la théorie de l'onde-pilote et toute l'interprétation hydrodynamique de Madelung, avec les mouvements bien définis qu'elles attribuent constamment aux corpuscules, apparaissent finalement comme inconciliables avec le principe de Born. Si l'on approfondit cette difficulté, on s'aperçoit que la théorie de l'onde-pilote étant, si l'on tient à conserver les idées classiques, directement suggérée par le principe des interférences, il existe dans le cadre des idées classiques une sorte de contradiction entre ce principe et celui de Born. Comme le développement de la Mécanique ondulatoire a montré de plus en plus clairement la nécessité d'admettre la validité simultanée de ces deux principes, ce développement devait donc entraîner nécessairement l'abandon de la représentation classique des phénomènes à l'aide d'images précises dans le cadre de l'espace et

du temps, et, par suite, du déterminisme mécanique qui lui est lié.

Ces pensées commençaient à s'imposer à moi quand, à la veille de l'ouverture du Conseil Solvay, j'eus connaissance d'un mémoire capital publié peu auparavant par M. Heisenberg où, guidé par des suggestions de M. Bohr, le jeune savant allemand énonçait pour la première fois ses fameuses relations d'incertitude et développait toutes les idées nouvelles auxquelles elles se rattachent ; mais j'hésitais encore à adopter un point de vue qui s'opposait aussi complètement à toutes mes habitudes de pensée antérieures. Les discussions sur ce sujet au Conseil Solvay furent assez vives¹. Lorentz, dans un beau discours inaugural, avait soutenu et défini avec une grande précision le point de vue de la physique classique. MM. Born, Heisenberg et Bohr affirmaient la nécessité des conceptions en quelque sorte révolutionnaires qu'entraînaient les relations d'incertitude. M. Schrödinger gardait une orientation assez classique, plutôt favorable encore à l'image des corpuscules-trains d'ondes. M. Einstein opposait aux idées nouvelles d'Heisenberg d'habiles objections, que M. Bohr réfutait par de subtils raisonnements. Sans me laisser entièrement convaincre par les arguments de MM. Bohr et Heisenberg, je commençais à en apprécier toute l'importance et la profondeur.

Rentré à Paris, je me mis à réfléchir longuement sur les incertitudes d'Heisenberg. Je faisais à ce moment un cours libre à la Sorbonne sur la Mécanique ondulatoire : j'y enseignais encore la théorie de l'onde-pilote, mais déjà je n'y croyais plus guère !

Au début de 1928, ma conviction était faite : il était nécessaire, malgré l'énorme effort de redressement intellectuel qu'elles comportaient, d'adopter les conceptions de Bohr et d'Heisenberg. Invité à faire des conférences à l'Université de Hambourg au printemps de 1928, j'y donnais pour la première fois en public mon adhésion formelle aux idées nouvelles. Au cours de l'automne suivant, je fus chargé d'un enseignement officiel à la Faculté des Sciences de Paris : je fis dans le semestre d'hiver de l'année scolaire 1928-1929 un cours où je développai le point de vue de Bohr et d'Heisenberg et où je montrai pourquoi la théorie

1. Se reporter à « Electrons et photons », rapports et discussions du 5^e Conseil de Physique Solvay, Paris, Gauthier-Villars, 1928.

de l'onde-pilote était insuffisante¹. Depuis cette époque j'ai consacré, les lecteurs de cette Revue le savent, beaucoup d'efforts à expliquer aux physiciens et aux philosophes la nature et la portée des changements que la nouvelle orientation de la physique théorique dans le domaine microscopique implique pour toute notre représentation des phénomènes naturels.

La plupart des physiciens, à quelques exceptions près, d'ailleurs notables et appartenant surtout aux anciennes générations, se sont ralliés progressivement à l'interprétation probabiliste de la Mécanique ondulatoire et aux incertitudes qui en sont la conséquence. Quelques efforts sont encore faits de temps à autre pour revenir en arrière, par exemple pour reprendre l'interprétation hydrodynamique de Madelung. Il ne semble pas que de telles tentatives puissent avoir aujourd'hui des chances sérieuses de succès.

Comme on a pu le voir par l'évocation de ces souvenirs personnels, la première période du développement de la Mécanique ondulatoire a été marquée pour moi, après les découvertes initiales, par plusieurs tentatives infructueuses pour interpréter les principes de la nouvelle doctrine sans renverser les bases toujours admises jusqu'alors de nos théories physiques. Ces tentatives m'ont causé beaucoup de tourments et m'ont fait perdre bien du temps. Néanmoins, je ne les regrette pas : elles ont eu l'avantage de bien me faire voir les raisons profondes pour lesquelles l'adoption des idées, au premier abord si surprenantes, de Bohr et Heisenberg était devenue une nécessité, imposée par l'existence même de faits expérimentaux dont la physique microscopique a le devoir de rendre compte.

LOUIS DE BROGLIE.

¹. Ce cours a été publié sous le titre : *Introduction à l'étude de la Mécanique ondulatoire*, Paris, Hermann, 1930.

