

La mythologie des ondes et des corpuscules

T.M. CHRISTIDIS ★

L'homme est absurde parcequ'il cherche mais il est admirable parcequ'il trouve. Paul Valéry

RÉSUMÉ. Dans ce travail nous examinons le fondement des idées qui ont été développées au cours des siècles sur le thème de la dualité onde-corpuscule ou continu-discontinu. Nous montrons que, pendant la période de gestation d'une théorie, un rôle important est joué par l'ensemble des idées, des notions, des thémata et des conceptions philosophiques qui se sont accumulés et transmis, d'une génération à une autre, par l'enseignement, la narration ou des écrits, dont les racines remontent à l'antiquité ou même jusqu'à l'ère mythologique. Nous nommerons *mythologie scientifique* l'ensemble des idées, notions, etc. qui soutendent ainsi le développement de la science. Nous examinons particulièrement comment de telles idées, anciennes ou modernes, relatives au dualisme onde-corpuscule ont influencé de Broglie, lorsqu'en 1923, il a émis l'hypothèse suivant laquelle les corpuscules quantiques ont des propriétés ondulatoires.

1. Introduction

Quand nous remontons à l'origine de l'histoire humaine, nous approchons des limites entre l'histoire et l'ère mythologique. Dans des textes de la littérature grecque ancienne (comme, par exemple, les tragédies) on

★Fondation Louis de Broglie, Paris, en congé de la Faculté de physique, Départ. d'Astronomie, d'Astrophysique et de Mécanique Théorique, Université de Thessalonique, Grèce

constate que l'élément mythologique se mélange avec les activités et les sentiments des hommes de telle sorte qu'un tout équilibré soit créé. Bien que la Théogonie d'Hésiode soit une description anthropomorphique et naïve, certaines de ses idées, comme celle du Chaos, sont pourtant restées en héritage.

On sait que la première rupture entre la mythologie et la philosophie s'est effectuée avec l'apparition des philosophes des côtes d'Ionie. Bien que cette rupture soit claire et que l'étude de la Nature soit dégagée d'éléments théosophiques, des éléments mythologiques survivent pourtant dans la pensée des philosophes présocratiques et ultérieurs. D'autre part, à toutes les époques, on trouve des idées, des notions, des thémata, même des doctrines entières qui ont leurs racine dans la tradition universelle. On peut donc dire que chaque époque a sa mythologie ¹. Nous nous rapportons ici à des notions et idées qui sont relatives à l'effort de l'homme pour comprendre la Nature et le Monde, mais qui n'ont pas encore conduit à une formulation scientifique rigoureuse. Il s'agit donc de l'ensemble des idées qui circulent d'une génération à une autre par la narration, l'enseignement, voire par des écrits, sans atteindre une formulation scientifique acceptable. Nous allons appeler cet ensemble d'idées, notions, etc. la *mythologie scientifique*. Même une idée qui s'est transformée, à un moment donné, en une théorie scientifique peut continuer de nourrir ce vaste courant d'idées, une fois abandonnée la dite théorie, et nous l'incluons dans la notion de mythologie scientifique.

D'un point de vue plus strict, la mythologie scientifique comprend

¹Le mot mythologie provient du mot grec mythos (ou muthos), qui, comme J.P. Vernant (*Les origines de la pensée grecque*, PUF, Paris, 1988) le souligne : "(mythos) veut dire 'parole', récit. Il ne s'oppose pas, tout d'abord, à logos dont le sens premier est également "parole, discours", avant de désigner l'intelligence et la raison... (Mythos) n'avait pas (donc) pour ceux qui l'employaient aux temps archaïques le sens que nous lui donnons aujourd'hui... Mais même dans ce cas (du sens que l'on a attribué après le Ve siècle avant Jésus-Christ) ne s'applique pas à une catégorie précise de récits sacrés concernant les dieux ou les héros. Multiforme comme Protée, il désigne des réalités très diverses : théogonies et cosmogonies, certes, mais aussi fables de toute sorte, généalogies, contes de nourrice, proverbes, moralités, sentences traditionnelles ; en bref, tous les on-dit qui se transmettent comme spontanément de bouche à oreille. Le mythos se présente donc, dans le contexte grec, non comme une forme particulière de pensée mais comme l'ensemble de ce qui véhicule et diffuse, au hasard des contacts, des rencontres, des conversations, cette puissance sans visage, anonyme, insaisissable que Platon nomme Phémé, la Rumeur..."

l'ensemble des idées, qui se répandent d'une génération à une autre, sans référence explicite à leurs sources. Elles influencent les savants et les philosophes comme une force motrice de leur imagination, en leur procurant un cadre de pensée, dans lequel leur esprit créatif se développe. On peut trouver de telles idées dans les textes de tous les savants et philosophes, même les plus originaux, et à toutes les époques, comme par exemple dans les travaux de Newton (dont nous parlerons plus loin), surtout dans les "Questions" par lesquelles il conclut son "Traité d'Optique" et où, malgré son principe méthodologique "hypotheses non fingo" il ne cesse de formuler des hypothèses audacieuses.

Dans le fond de la mythologie scientifique (qui se distingue du courant plus vaste encore de la mythologie ² de chaque époque qui se rapporte à tous les objets de l'activité humaine, alors que la mythologie scientifique se rapporte seulement à l'évolution des idées dans le domaine de la science) nous incluons le rôle que jouent les thémata dans le développement de la pensée scientifique et que G. Holton ³ a précisément étudié. La mythologie scientifique comprend, outre les notions, les idées et les thémata, des ensembles d'idées et des doctrines philosophiques (d'une façon très vague, il est vrai), qui se rapportent à l'ontologie, la gnoséologie et la méthodologie. De ce point de vue l'idée de mythologie scientifique s'apparente aux idées de Holton et aussi à sa méthodologie développée dans ses travaux. Dans notre travail on peut donc reconnaître l'adoption de la méthodologie de Holton, au moins en partie.

Un thème de la mythologie scientifique dont nous nous occuperons ici est celui du couple continu - discontinu. Les racines de ce thème se trouvent dans la philosophie grecque ancienne. Nous l'examinerons de telle façon que nous puissions mettre en évidence l'élément dramatique qui a été posé à travers ce thème dans notre siècle, après l'apparition des idées de Louis de Broglie (1923) sur l'existence simultanée des propriétés corpusculaires et ondulatoires des entités quantiques.

Nous nous proposons donc de suivre une méthodologie selon laquel-

²Cette mythologie se distingue encore de la tradition (et elle est plus vaste) parce qu'elle porte en germe l'apparition de toute nouveauté, qui se manifeste à l'aide d'un processus plus complexe que l'usage simple de la raison. Processus, donc qui associe la raison à l'imagination, à l'intuition et au rêve

³G. Holton, *Thematic Origins of Scientific Thought, Kepler to Einstein*, Harvard Un. Pr., 1980

le le développement d'une théorie scientifique est précédé par une étape mythologique (au sens de la mythologie scientifique exposée plus haut), qui comprend toutes les idées et notions qui ont été jusque là formulées par rapport à l'objet concret de l'investigation, qui constituent un noyau primaire dans l'imagination du savant et dont il est possible de tirer une théorie plus ou moins fondée scientifiquement à l'aide d'un formalisme mathématique convenable. Il est certes possible, parfois, que l'imagination d'un savant s'écarte de cet itinéraire et parvienne à un résultat par l'exploitation d'une particularité du formalisme mathématique. Tel fut par exemple le cas de la prévision du positron par P.A.M. Dirac, quand il a accepté des solutions de son équation relativiste pour des valeurs négatives de l'énergie. Mais dans ce cas même il y a à la base une idée souveraine, un principe, par exemple un principe de symétrie.

Nous allons examiner maintenant l'origine des notions de continu et de discontinu dans la pensée grecque. Si nous discutons aujourd'hui au sujet des atomes et des corpuscules élémentaires, nous devons nous rappeler que ces notions ont été soumises minutieusement à l'investigation théorique et au contrôle expérimental pendant des années et à travers des querelles scientifiques très dures (qu'on se souvienne du cas tragique de Boltzmann !). Alors qu'aujourd'hui les traces de particules élémentaires qui ont été photographiées dans les accélérateurs constituent une réalité "visible", comment ne pas admirer ce que les anciens ont dit, prédit même, sur les phénomènes physiques à l'aide de l'observation à l'oeil nu de la Nature et en ne se servant que de leur génie, de l'imagination, de l'intuition et du pouvoir énorme du retour aux principes premiers ?

2. Le "εἰ συνεχές" et le "ατομός" (le "continu indissociable" et l'atome).

Selon Aetius, Pythagore fut le premier à faire usage du mot *κοσμος* pour l'univers. Il est également, probable, selon Diogène Laërtius, que c'est également lui le premier qui a inventé le mot *φιλοσοφία*. Malheureusement il n'existe pas de témoignage digne de foi à propos du contenu et de la nature de la doctrine scientifique de Pythagore. Il est indiscutable que Pythagore a fondé à Croton une sorte de fraternité religieuse dans laquelle il enseignait ses doctrines occultes. Les deux doctrines fondamentales et universelles des pythagoriciens étaient : (i) la dualité ultime entre le fini et l'infini et (ii)

l'identification des êtres aux nombres ⁴. Dans le cas qui nous occupe nous lisons chez Aristote que, sans doute, les pythagoriciens croyaient qu'il n'est pas possible que l'être soit un et indivisible. Dès qu'un être a été créé, d'autres ont été formés d'après lui et le vide a pour rôle de tenir séparés les êtres les uns des autres (Aristote, Physique).

Dans les fragments d'Héraclite on trouve des références à Pythagore, mais avec un ton de mépris. Si on classe les fragments sauvés de l'oeuvre d'Héraclite "Περὶ Φυσεως" (De la Nature), on peut reconnaître trois parties : (i) Dans la première il présente sa théorie du Logos, c'est-à-dire le sens des choses et la manière dont les hommes ont accès à ce sens. (ii) Dans la deuxième il fait l'exposé de la théorie du Feu, sa théorie pyrocratique de l'univers . (iii) Dans la troisième il formule ses thèses sur les phénomènes éthiques et politiques.

On peut faire quelques remarques essentielles sur la doctrine héraclitéenne :

a) Héraclite reprend le problème cosmologique, qui a été posé par les premiers philosophes d'Ionie (Thalès, Anaximandre, Anaximène). Déjà les disciples de Thalès adoptaient une position critique envers les idées de celui-ci. C'est à ce besoin que répond l'oeuvre d'Héraclite après la première confrontation entre l'esprit physiocratique ionien et l'esprit mythocratique dorique.

b) Héraclite a constaté un besoin d'interpréter la nature et la structure des être physiques à travers une approche purement intuitive des principes généraux de l'essence et du comportement des êtres (ontologie) ; et en même temps il a soutenu la possibilité de l'homme d'avoir accès à la connaissance de ces principes et on trouve chez lui l'allusion à une méthode en vue d'un tel processus (gnoséologie).

c) C'est dans ce sens qu'Héraclite a posé les problèmes ontologiques et gnoséologiques comme présuppositions pour un examen plus critique du problème cosmologique et , en dernier compte du problème anthropologique.

d) La notion de base de la pensée héraclitéenne est celle du Logos, qui chez lui est une notion qui a plusieurs significations . La plus essentielle est que Logos exprime un schéma général de l'organisation de la matière et

⁴G.S. Kirk and J.E. Raven, *The Presocratic philosophers*, Cambridge Un. Pr. , 1957, p.229

du cosmos, c'est-à-dire que le Logos correspond à ce que nous pourrions appeler aujourd'hui la loi générale de la nature. Sur ce point Héraclite a dit que "la nature aime à se cacher" et que "l'harmonie cachée est meilleur que l'harmonie apparente". Mais, tant au niveau du Logos qu'au niveau de l'harmonie cachée, Héraclite pense qu'ils ne peuvent être connus, au plus, que par un très petit nombre d'hommes (on voit en effet aujourd'hui que les théories physiques les plus avancées ne sont accessibles qu'à un petit nombre de savants).

e) Enfin, on trouve des notions de base chez Héraclite telles que : (i) la notion dialectique du conflit des contraires et de l'unité des contraires, (ii) la notion du feu qui constitue la force motrice fondamentale et la cause du mouvement et du changement dans le cosmos, dans le monde des êtres et de leurs constituants (donc le feu est l'énergie de la terminologie moderne), (iii) la notion de symétrie ("ὁδὸς ἀνω κατὰ μίαν καὶ ὡς ἓν" : la voie en haut et en bas est une et la même).

De ce qui précède, il résulte qu'Héraclite accepte la structure discontinue de la matière ainsi que l'organisation de la matière dans l'univers d'après une loi générale que l'on peut connaître. Nous avons insisté sur la pensée héraclitéenne, car il nous semble qu'elle a profondément marqué la pensée de tous ceux qui se sont penchés après lui sur l'étude du monde et des phénomènes physiques. Ses idées "grandioses" ont contribué à l'accroissement de la mythologie scientifique. "Mais comme les lois chaque fois proposées sont, en partie tout au moins, démenties par l'opposition, l'expérience et la lassitude - fonction universelle -, le but convoité est, en fin de compte, une déception, une remise en jeu de la connaissance. La fenêtre ouverte avec éclat sur le prochain, ne l'était que sur l'en dedans, le très enchevêtré en dedans. Il en fut ainsi jusqu'à Héraclite. Telle continue d'aller le monde pour ceux qui ignorent l'Ephésien"⁵.

Nous allons maintenant considérer quelques traits fondamentaux de la pensée des principaux tenants des notions de continu et de discontinu depuis l'antiquité. Si Héraclite a été appelé le "scotinos" (obscur) à cause des difficultés de compréhension de son oeuvre, une pareille dénomination pourrait être justifiée aussi pour Parménide d'Eléa, étant donné qu'il est probable que la signification exacte de quelques unes de ses propositions ne

⁵René Char, Oeuvres complètes, ed. Gallimard, Paris, 1983, p. 720

pourra jamais être accepté à l'unanimité ⁶.

Son poème philosophique se compose de deux parties, "La voie de la Vérité" et "La voie de l'Apparence". Dans la première partie, partant de l'hypothèse de l'εστι (c'est-à-dire qui est, qui existe), Parménide fait usage de la logique exclusivement, sans référence aux sensations, infère tout ce qu'il est possible de connaître à propos de l'être et conclut en niant toute validité vraie aux sensations, ainsi qu'à toute réalité que ces sensations prétendent percevoir. Dans la deuxième partie, soudain il rétablit le monde des apparences et propose une cosmogonie de forme traditionnelle ⁷. Nous nous référerons à un point de la première partie qui nous intéresse ici. Procédant de l'hypothèse de l'εστι, Parménide en induit la négation du temps, du vide et de la pluralité ⁸ : "οὐδὲ ποτ'ἦν οὐδ'εσται, ἐπει νῦν ἐστίω οἴου παν, εἰ, συνεχές" (L'être ne fut jamais et pas même ne sera, parce qu'il est maintenant un tout ensemble, un et continu). C'est l'idée fondamentale de Parménide, l'idée de l'un, intemporel, indivisible et continu. De cette façon il introduit une notion (et même une philosophie) qui dans l'avenir s'intégrera au corpus de la mythologie scientifique : la notion de continu.

Quelques années passeront avant que Leucippe et Démocrite ne viennent contredire l'enseignement de Parménide. Selon Simplicius, Leucippe d'Eléa ou de Milet, ayant connu la philosophie de Parménide "n'a pas suivi la même voie que Parménide et Xénophane, tout au contraire". Leucippe considère que tous les corps (de la nature) se composent d'atomes (ατομους, qui ne peuvent plus se diviser), qui sont infiniment nombreux (απειρους) et en mouvement perpétuel. La genèse et le changement dans le monde sont des processus sans fin. En même temps le vide, qu'il nomme le non-être (το μη ον), existe lui aussi de même que l'être. Selon Aristote (Métaphysique) Leucippe dit que les deux, ensemble, sont les causes matérielles de l'existence des corps (nous dirons que c'est la proposition a).

Démocrite, disciple de Leucippe, a développé et complété cette théorie de l'atomisme et du discontinu. Selon Diogène Laërtius, Démocrite affirme que "tout se fait par besoin et que le tourbillon est la cause de la genèse de tout (être)". Et même, selon Aëtius : "Démocrite a dit qu'il y a une sorte

⁶Kirk and Raven, op. cit., p. 265

⁷Ibid, p. 266

⁸Ibid, p. 272

de mouvement, qui provient de la *vibration*”.

Quelques années plus tard Epicure a essayé de présenter la théorie de l'atomisme comme sienne (quoiqu'il se soit référé à Démocrite). Il est probable que la notion de vibration (des atomes) est une idée d'Epicure. Celui-ci a usé de ce mot pour décrire l'oscillation invisible que les atomes subissent quand ils sont limités dans un corps complexe (Nous l'appellerons proposition b).

Il serait sans doute intéressant de commenter, du point de vue du physicien, tout ce que ces esprits pionniers nous ont légué. La proposition (a) n'apparaît-elle pas extraordinaire, étant donné le rôle que joue aujourd'hui le vide dans les théories physiques les plus avancées, aussi que les propriétés qui sont attribuées au vide ? Mais la proposition (b) n'apparaît-elle pas comme une anticipation de la notion d'oscillateur atomique ou même des propriétés ondulatoires des corpuscules élémentaires ? Dans un cas comme dans l'autre nous n'entendons pas par là, bien sûr, une prévision spéculative et intuitive, de la part des philosophes de l'antiquité, des notions et des propriétés qui sont comprises aujourd'hui dans les théories physiques, ce qui serait imprudent et évidemment indémontrable. Ce qui nous intéresse ici c'est l'édification, dans le domaine des idées vraiment originales, de ce qui nous avons appelé la mythologie scientifique. De ce point de vue ce ne sont pas, souvent, les doctrines elles-mêmes, mais les idées qui en découlent, qui se sont propagées d'une manière plutôt informelle et qui peuvent jouer un rôle décisif, implicitement ou explicitement, dans la science en quête perpétuelle de vérité.

Nous avons fait un retour aux racines des notions fondamentales qui constituent, même aujourd'hui après tant de siècles, le noyau des problèmes graves et compliqués de la science et de la philosophie. Mais le courant de ces idées ne s'est jamais interrompu s'enrichissant d'idées nouvelles et élargissant son lit. Ces idées, vues d'une manière profonde et synthétique, ont nourri la pensée des deux philosophes grecs les plus éminents, Platon et Aristote, qui durant plusieurs siècles restèrent la source unique de la méditation philosophique, surtout pendant le Moyen-Age, et furent les points de référence de commentaires innombrables. Quant au développement de la science une page nouvelle s'est ouverte au cours du 17^{ème} siècle avec l'introduction de la méthode expérimentale. Dans ce qui suit, nous allons examiner l'évolution des notions de continu et de discontinu dans les temps modernes, particulièrement sur le problème de la nature de

la lumière en nous rapportant, quand cela s'avèrera nécessaire, à la pensée des philosophes de l'antiquité.

3. Les temps modernes

Au début du 18ème siècle, ont été développées, à peu près à la même époque, deux théories sur la nature de la lumière dont l'une était basée sur la notion de discontinu et l'autre sur celle de continu. Ces deux théories ne sont, toutefois, pas nées du néant.

Newton ⁹ a présenté sa conception corpusculaire de la lumière à la fin

⁹Il convient de dire un mot sur la découverte de la loi de la gravitation universelle par Newton. La première idée que la Terre "vole" dans l'espace, par le fait qu'elle est entourée par des corps célestes, est due à Anaximandre, qui critiqua l'opinion de son maître Thalès disant que la Terre flotte sur l'océan. Mais la mythologie scientifique est assez riche, en ce domaine, au temps même où Newton réfléchissait sur ce problème. Comme Solovine le souligne dans son introduction à l'édition française du *Traité d'Optique* de Newton (Gauthier-Villars, Paris 1955) : "Il est indubitable que Newton connaissait Borelli et Bouliau, puisque dans la lettre adressée à Halley le 20 juin 1686 pour réfuter Hook, qui prétendait avoir découvert avant lui la loi de la gravitation universelle, il mentionne ces deux auteurs et dit que Hook n'a fait que publier l'hypothèse de Borelli sous son propre nom. Et il est possible que Newton ait reçu la première idée pour l'étude du problème de la gravitation en lisant Borelli. Mais son mérite extraordinaire est d'avoir transformé *les opinions et les conjectures* de ses devanciers en un système cohérent établi sur une base mathématique irréfutable". Qui sont ces devanciers de Newton ? "Newton commença à méditer sur le problème de la gravitation en 1666; Roberval (1602-1675) soutenait dans son ouvrage "Aristarchi Samii de mundi systemate", publié en 1644 que toutes les parties de la matière s'attirent réciproquement et Fermat (1601-1665) avait la même conception. Bouliau (1605-1696), tout en n'étant pas favorable à l'hypothèse de la gravitation universelle, disait néanmoins (1645) que, si elle existait, elle diminuerait avec le carré de la distance. Et Borelli (1608-1679) dit en 1666 que les satellites qui tournent autour des planètes ainsi que celles-ci, qui tournent autour du soleil, sont maintenus dans leurs orbites par la force de ce dernier" (Solovine, Ibid). Cet exemple nous paraît assez significatif. Les idées de Bouliau et de Borelli n'étaient, selon Solovine (et il a sans doute raison) que des positions et des conjectures, autrement dit, elles avaient à peu près autant de valeur que les idées de Leucippe, de Démocrite ou d'Épicure (mais pourtant ces conjectures étaient bien près de la vérité). Nous prétendons que toutes ces idées constituaient, en quelque sorte, la mythologie scientifique de l'époque sur ce sujet. On n'en finirait jamais si on recherchait les devanciers des Bouliau et des Borelli, puis les devanciers des devanciers. Toutes les idées, ou presque, ont des racines aussi lointaines.

de son *Traité d'Optique* sous forme de question ; il semble qu'il ne l'ait pas considérée comme rigoureusement exacte. Mais déjà chez les grecs anciens on trouve cette hypothèse : Démocrite croit que les corps lumineux émettent des particules qui viennent influencer l'oeil. Pour d'autres philosophes c'est l'oeil qui projette des corpuscules. Platon choisit une voie intermédiaire en disant que, tant l'oeil que l'objet examiné, envoient des particules dont la rencontre provoque la vision. Enfin le philosophe latin Lucrèce pense que la lumière, comme la chaleur, est formée "d'éléments subtils qui, se poussant les uns les autres n'hésitent pas, sous l'impulsion de ces chocs successifs, à traverser les régions de l'air" (*De rerum Natura*). Sans doute ces idées se sont répandues pendant la grande période des scolastiques au Moyen-Age.

Le même phénomène se présente quant à la conception, selon laquelle la nature de la lumière est ondulatoire qui fut soutenue, au niveau de la science, pour la première fois par Huygens. Mais, à vrai dire encore une fois l'idée n'était nouvelle. Sous une forme très vague, elle faisait partie de ce fond inépuisable transmis par les philosophes grecs. Descartes avait bien évoqué quelque chose qui ressemblait à cette théorie mais sous une forme très obscure.

De cette façon on est entré dans la période moderne de la science avec deux conceptions rivales, dont on connaît bien l'histoire. Nous nous permettrons seulement d'insister sur un point, qui nous semble assez important de notre point de vue. Il s'agit en effet d'une contribution remarquable que Newton a apportée à ce que nous avons appelé la mythologie scientifique, malgré sa répugnance à faire des hypothèses. Dans son "Traité d'Optique" (liv. II, part II) il écrit, à propos de la disposition de la lumière à être réfléchié ou à être transmise en traversant une lame mince (il s'agit de l'expérience des anneaux de Newton) : " De savoir ce que c'est que cette action ou disposition ; si elle consiste en un mouvement de circulation ou de vibration dans le Rayon ¹⁰, ou dans le milieu, ou en quelqu'autre chose, c'est ce que je n'examine point ici ¹¹. Ceux qui n'aiment point à admettre aucune nouvelle découverte, à moins qu'ils ne puissent l'expliquer par une hypothèse, peuvent supposer pour le présent, que les Rayons de la lumière venant à tomber sur une surface quelconque réfringente ou réfléchissante, produisent des vibrations dans le milieu ou dans le corps réfringent ou

¹⁰I. Newton, op. cit., p.33, souligné par l'auteur de ce travail

¹¹Et pourtant il a émis son hypothèse

réfléchissant...”. On peut remarquer l’hésitation discrète par laquelle Newton se dispose à faire son hypothèse. Dans la première phrase, où se trouve l’élément qui nous intéresse se rapportant à une vibration à l’intérieur du Rayon, il le fait par une figure de style. Comme Louis de Broglie commente ¹² : “ Si Newton avait poursuivi dans cette voie, il serait peut-être parvenu, devançant ainsi de deux siècles l’oeuvre actuelle de la Physique , à concevoir une synthèse de sa conception atomique de la lumière avec la conception adverse des ondes...”.

Après Huygens c’est Young qui a définitivement introduit la notion de périodicité dans la théorie ondulatoire et qui a donné l’explication correcte des couleurs des lames minces (anneaux de Newton), et a aperçu la nécessité des vibrations transversales pour expliquer les phénomènes de polarisation. Enfin c’est Fresnel qui , avec son mémoire extraordinaire qu’il présenta devant l’Académie des Sciences en 1819, a fait triompher la conception ondulatoire. Avec Maxwell, se termine la période classique de la dispute sur la nature de la lumière . Dans les premières années du 20ème siècle se termine aussi une autre dispute classique, avec le triomphe de l’atomisme.

4. Einstein et de Broglie

La fin de la période classique de la physique est marquée par un schisme qui consistait à maintenir séparés d’une part la physique du discontinu, avec la théorie atomique et la dynamique du point matériel, y compris la théorie des électrons de Lorentz , et, d’autre part, la physique du continu, celle des radiations , domaine dans lequel, outre la lumière proprement dite, se sont joints les ondes hertziennes, les rayons X et les rayons γ .

En 1905 Einstein réintroduit la conception corpusculaire de la lumière et fait avancer le problème de la coexistence des deux conceptions-corporelle et ondulatoire - jusqu’alors adverses, coexistence qui s’est avérée extrêmement difficile à admettre. Notons qu’il a fallu dix-sept ans pour que la communauté scientifique adopte cette curieuse idée des photons. En 1923 de Broglie introduit la conception ondulatoire pour les électrons et les autres particules de la physique atomique. Il s’agit d’une idée extrêmement révolutionnaire qui ouvre la voie à une nouvelle mécanique, la mécanique ondulatoire.

¹²L. de Broglie, Revue de Métaphysique et de morale, nov.1927

Nous allons maintenant examiner de plus près les degrés successifs qui ont conduit à la formulation de ces deux hypothèses géniales qui font partie de la mythologie scientifique moderne. Au niveau de deux problèmes de la dualité continu-discontinu (ou des propriétés ondulatoires-corpusculaires) le processus du développement des théories en physique n'est ni simple ni linéaire, il semble même n'y avoir pas d'autre exemple, dans l'histoire de la science, de tant de retours en arrière, de confirmations et de réfutations. Or, la mythologie scientifique avait procuré son soutien aux deux conceptions. Avec Newton c'est la théorie corpusculaire qui prédomine pendant plus d'un siècle. Avec Fresnel c'est la théorie ondulatoire qui triomphe. Mais ce triomphe ne signifie pas que les idées du discontinu et de la nature corpusculaire de la lumière aient été abandonnées pour autant. Hamilton est un cas exceptionnel de tentative de synthèse entre les deux points de vue, tentative qui, pourtant, s'est basée plutôt sur l'aspect mathématique du problème.

L'indifférence à l'égard du rapprochement de ces deux points de vue peut être expliquée par le fait que, quoique les rayons, déterminés par le principe de Fermat, correspondent vraiment aux trajectoires des particules qui se déterminent par le principe de Maupertuis et les surfaces des ondes aux surfaces de l'action d'Hamilton, pourtant on n'a pas pu établir une correspondance entre la vitesse de la particule et celle de l'onde (c'est ce qu'a compris Louis de Broglie avec la vitesse de groupe). On a ainsi considéré le formalisme d'Hamilton comme une analogie formelle, dépourvue de signification physique profonde¹³. Mais, à cause de son analogie mécanique-optique, Hamilton est souvent considéré, et à juste titre, comme un précurseur direct de l'hypothèse de de Broglie. Comme Jammer l'a présenté : "l'intérêt d'Hamilton, il est clair, s'est basé entièrement sur les concepts formels et mathématiques et non sur le problème de la nature physique de la lumière". Hamilton lui-même avait déclaré : "Soit nous adoptons la théorie de Newton, soit celle de Huygens, soit n'importe quelle autre théorie physique pour l'explication des lois qui contrôlent les lignes de communication lumineuses ou visuelles, nous pouvons regarder ces mêmes lois et les propriétés et les relations de ce chemin linéaire de la lumière comme une étude importante et séparée et comme constituant une science séparée,

¹³M. Jammer, *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, Mc Graw-Hill, 1966, p.238

que l'on appelle Optique mathématique" ¹⁴.

Outre Hamilton il y a encore le cas de quelques penseurs non orthodoxes qui, sur des bases physiques ou philosophiques, avaient soutenu l'idée de l'identité ultime des particules et des ondes. Tel est le cas du Baron Nicolai Dellingshausen, qui en 1872 publie un essai sur "Les fondements d'une théorie vibratoire de la Nature". Dans cet essai Dellingshausen a identifié les atomes à des ondes stationnaires et a interprété le mouvement des particules comme des processus vibrationnels. Selon lui les corps sont "des centres étendus de mouvement vibrationnel" et "la nature de la matière est l'extension en mouvement" ¹⁵.

Un autre cas, caractéristique d'un autre point de vue, est celui de W.K. Clifford, qui avait vu dans la conception de l'espace de Riemann la possibilité d'une fusion de la physique avec la géométrie. Nous devons porter une attention particulière à l'idée de Clifford, à savoir que le mouvement de la matière peut être interprété comme une manifestation des changements de la courbure de l'espace ¹⁶.

D'autre part chez les expérimentateurs il y avait, vers la fin du 19ème siècle, une problématique concernant la nature des rayons X et γ , qui venaient d'être découverts. L'émission des rayons γ par les noyaux radioactifs en compagnie des particules α et β , leur pouvoir d'ioniser les gaz et quelques autres propriétés suggéraient une nature corpusculaire. W.H. Bragg dans une publication avec H.L. Porter, déclarait : "Des considérations sur l'énergie, nous sommes conduits directement à supposer que les rayons X et γ sont de nature corpusculaire dans la mesure où chaque rayon est une identité séparée, qui se meut à travers l'espace, tout comme un projectile libre". En résumant la situation en 1912 Bragg écrivait : "Le problème devient, me semble-t-il, non pas de décider entre deux théories des rayons X mais de trouver, comme je l'ai dit ailleurs, une théorie qui possède les capacités de toutes les deux" ¹⁷.

Des phrases comme celle-ci, qui semblent être plutôt des hypothèses que des constatations bien établies, contribuent aussi à la création d'ensembles d'idées sur lesquelles la mythologie scientifique s'entretient.

¹⁴Ibid, p.241, traduit par l'auteur de ce travail

¹⁵Ibid., p.241

¹⁶Ibid., p.241

¹⁷Ibid, p. 239

C'est exactement dans cette voie que Maurice de Broglie, le frère aîné de Louis de Broglie, considérait la nature des rayons X qu'il expérimentait dans son laboratoire, à Paris. "Mon frère", a déclaré Louis de Broglie ¹⁸, "considérait les rayons X comme une combinaison d'onde et de particule, mais, comme il n'était pas un théoricien, il n'avait pas des idées particulièrement claires sur ce sujet". C'est dans ce laboratoire que Maurice a initié son frère à sa recherche expérimentale. Louis de Broglie a souligné ¹⁹: "Nos longues conversations sur les difficultés où se trouvait engagée la Physique quant à ses interprétations théoriques, l'insistance avec laquelle vous attiriez mon attention sur l'importance et l'indéniable exactitude du double aspect corpusculaire et ondulatoire des radiations orientaient peu à peu ma pensée, depuis longtemps consciente de la relation de ces énigmes avec l'existence des quanta". Il est vrai que Maurice de Broglie à cette époque (1920-23) fait des expériences célèbres sur les rayons X et, en particulier, sur le phénomène photoélectrique de ces rayons. Or, les rayons X faisaient partie du rayonnement électromagnétique et les expériences de Maurice de Broglie confirmaient et supportaient fortement l'hypothèse des photons d'Einstein. Louis de Broglie lui-même, dans ses premières publications qui nous intéressent ici (de 1922-1923), avait déjà adopté l'hypothèse des quanta de lumière; tout particulièrement dans une publication de 1922 sur le rayonnement du corps noir il écrit ²⁰, "J'ai adopté l'hypothèse des quanta de lumière" et cela une année avant l'exploitation du phénomène Compton, qui a établi définitivement l'existence des photons. Dans ce travail Louis de Broglie a établi la loi de Planck en se basant sur l'hypothèse des "atomes de lumière", sur la thermodynamique et sur la théorie cinétique des gaz. Il faut souligner que, dans un sens, ce travail fut le précurseur de la statistique de Bose. Dans une autre publication ²¹, parue dans cette même année, Louis de Broglie a étudié les fluctuations d'énergie dans le rayonnement du corps noir. Comme il l'a déclaré, ce travail a été le point de départ de son travail ultérieur.

Dans la première de ses publications de 1923 aux comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences de Paris, de Broglie fait la référence suivante ²²,: "Au sujet de la présente Note, voir M. Brillouin, C. R. Ac. Sc,

¹⁸Ibid., p. 239

¹⁹L. de Broglie, *Savants et découvertes*, ed. Albin Michel, Paris 1951, p. 302

²⁰L. de Broglie, *J. de Phys.*, Series VI, 3 (1922) 422

²¹L. de Broglie, *C. R. Ac. Sc.*, (1922) 811

²²L. de Broglie, *Com. r. Ac. Sc.*, 177 (1923) 507

168 (1919) 1318". (C'est dans cette Note que de Broglie a introduit pour la première fois les propriétés ondulatoires des particules). A vrai dire Marcel Brillouin dans une série de publications avait traité du sujet qu'aujourd'hui nous appellerions un modèle hydrodynamique d'un atome en vibration. A cause de ces travaux de Broglie a caractérisé M. Brillouin de "véritable précurseur" de la mécanique ondulatoire ²³.

Nous avons ainsi été amenés à poser la question suivante : Comment de Broglie est-il parvenu à formuler son hypothèse géniale que les particules, comme l'électron, avaient des propriétés ondulatoires ? Sans doute, puisqu'il connaissait parfaitement l'histoire des idées en Physique, il devait être au courant de toute la mythologie scientifique sur le sujet du dualisme onde-corpuscule . Il connaissait Newton et Hamilton de manière très approfondie et il était aussi au courant des idées formulées pendant des siècles par des savants et philosophes et dont nous avons déjà fait un court exposé. Ces connaissances et sa familiarité avec la mythologie scientifique, aussi bien que sa conviction que le mouvement de chaque particule pourrait être décrit dans l'espace-temps usuel d'une façon causale, ont, sans doute, joué un rôle important dans le processus de la conception de l'idée de l'association d'une onde au corpuscule, même sous forme stationnaire dans son système propre. Mais le rôle décisif semble avoir été joué par l'apparition des nombres entiers dans les théories de Bohr et de Sommerfeld pour l'atome d'hydrogène. Dès sa première publication de 1923 de Broglie applique son idée des propriétés ondulatoires de l'électron au cas d'un électron décrivant une trajectoire fermée. Dans ce cas de Broglie souligne : "Il est presque nécessaire de supposer que la trajectoire de l'électron n'est stable que si l'onde fictive passant en O' retrouve l'électron en phase avec elle : l'onde de fréquence ν et de vitesse c/β doit être en résonance sur la longueur de la trajectoire"²⁴. Ensuite de Broglie écrit la condition de cette résonance et montre que cette condition est bien celle des théories de Bohr et de Sommerfeld.

Mais étant donné la réaction des savants à l'hypothèse des photons d'Einstein, comment de Broglie a-t-il eu l'audace de formuler une hypothèse aussi révolutionnaire ? Certes la découverte scientifique, théorique ou expérimentale, vient d'un processus assez complexe, qui contient souvent un élément accidentel ou inattendu ²⁵. Les savants ne nous communiquent

²³M. Jammer, op. cit., p.242 A voir aussi la note 159

²⁴Cf. réf. 21

²⁵cf. Héraclite, fr.18 : "Si l'on n'espère pas, on ne trouve pas l'inespéré, parce

pas ce processus qui reste ainsi impossible à dépister. Ce qu'ils nous communiquent ce sont leurs publications scientifiques, qui sont rédigées d'une manière formelle et stricte sans référence aux éléments qui nous intéressent ici.

Toutes les connaissances générales que de Broglie avait acquises pendant ses années d'investigation théorique ne déprécient pas la valeur de sa contribution géniale. Louis de Broglie mérite d'être considéré comme le savant de notre siècle qui a posé la question la plus dramatique au point de vue de la science pure et, en même temps, au point de vue de la philosophie des sciences : celle de l'existence simultanée des ondes et des corpuscules.

Einstein avait aussi eu l'audace d'émettre en 1905 son hypothèse des quanta de lumière, avant même que Planck ne prenne conscience de la profondeur de son idée d'introduire la notion des quanta d'énergie ²⁶ en 1900 et des implications que cette notion aurait sur le développement de la physique. Einstein était peut-être aussi au courant des idées diffusées par ses précurseurs mais, en même temps, il avait à confronter une expérience donnée celle du phénomène photoélectrique. Ainsi on constate une différence profonde entre l'hypothèse d'Einstein et la création spéculative de de Broglie. Cette dernière précède les résultats expérimentaux et, dans ce sens, est une création indicative de la manière dont la science se développe. De ce point de vue ce travail de de Broglie peut être incorporé à la grande tradition des réalisations de la pensée et de l'imagination humaine, une tradition qui a commencé depuis les grands penseurs de l'antiquité.

Or, l'idée géniale de de Broglie ne fait pas partie, à son époque d'un programme scientifique déjà énoncé ; elle constitue, à vrai dire, le point de départ d'un nouveau programme scientifique. Sans doute cette idée a-t-elle été lancée dans une période où, d'après ce que nous avons vu, la scène dans le domaine de la physique est occupée par les nouvelles idées des quanta et celle de la constitution dualistique de la lumière. On pouvait ainsi s'imaginer un programme plus vaste qui incorporerait tant l'hypothèse de photons que celui du dualisme onde-corpuscule.

A part cela, il existe une relation évidente entre les deux hypothèses

qu'il est inexplorable et inabordable"

²⁶Voir l'analyse profonde de ce sujet à : T.S. Kuhn, *Black-body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894-1912*, Oxford Un. Pr. , N.Y., 1978

d'Einstein et de de Broglie. Toutes les deux avaient reçu un accueil froid de la plupart des savants de l'époque (de Broglie fut pourtant plus heureux, parce que dès le début il avait le soutien d'Einstein, au moins). Le fait est qu'Einstein fut le premier à affronter ce climat hostile. C'était la première fois, dans sa carrière scientifique, qu'il semble avoir un peu reculé sur sa position initiale²⁷. Au premier congrès Solvay, en 1911, il déclare : "J'insiste sur le caractère provisoire du concept de quanta de lumière, qui ne semble pas pouvoir être réconcilié avec les conséquences vérifiées expérimentalement, de la théorie ondulatoire"²⁸. Cette réserve de la part d'Einstein a été parfois interprétée comme une renonciation à son idée initiale. Mais cela n'était pas le cas. Einstein, semble-t-il, avait toujours eu une réserve envers cette conception des quanta de lumière ; même au cours de sa vie avait persisté dans l'opinion que la théorie quantique était provisoire. En 1908 il écrit à un ami²⁹ : "Cette question du quantum est si proprement importante et difficile qu'elle doit concerner tout le monde". En 1951, dans une lettre adressée à son ami M.A. Besso, Einstein écrivait³⁰ : "Un total de cinquante années de spéculation consciente ne m'a pas rapproché de la réponse à la question "que sont les quanta de lumière ?".

Au contraire de Broglie avait confiance en son hypothèse dès le début. Dans sa publication de 1923 il écrit³¹ "Un flot d'électrons traversant une ouverture assez petite présenterait des phénomènes de diffraction. C'est de ce côté qu'il faudra peut être chercher des confirmations expérimentales de nos idées". Et en 1924, devant son jury de thèse, lorsque J. Perrin l'interrogea pour savoir si ces ondes (qui accompagnent l'électron dans son mouvement) peuvent être vérifiées expérimentalement, il répondit avec confiance que cela devrait être possible par d'expériences de diffraction d'électrons.

Cette affirmation expérimentale n'a pas tardé et fut indiscutable. Louis de Broglie a reçu le prix Nobel en 1929 pour ses travaux sur les propriétés ondulatoires des corpuscules quantiques. En 1909 J.J. Thomson avait reçu le prix Nobel pour la découverte de l'électron comme une corpuscule . En

²⁷Cela n'est pas exactement vrai, comme nous allons le voir bientôt

²⁸*La théorie du rayonnement et les quanta*, C.r. du premier congrès Solvay, ed. par P. Langevin et M. de Broglie, Gauthier-Villars, Paris

²⁹Lettre à J.J. Lamb, référée à l'ouvrage de Seelig, C., 1954, *Albert Einstein* (Europa, Zürich), p.103.

³⁰A. Einstein, *Correspondance avec M. Besso*, Hermann, Paris, 1979, p. 265

³¹L. de Broglie, C. R. Ac. Sc., 177 (1923) 548

1937 G.P. Thomson, son fils , partage le prix Nobel avec C. Davisson pour la découverte expérimentale des phénomènes d'interférence aux cristaux irradiés par des électrons. Comme Jammer l'a souligné d'une façon très appropriée : "one may feel inclined to say that Thomson, the father, was awarded the Nobel Prize for having shown that the electron is a particle, and Thomson, the son , for having shown that the electron is a wave" ³².

Nous allons conclure avec la remarque que ce fut Louis de Broglie lui-même qui (à part une période de sa vie) a insisté sur la possibilité d'édifier une théorie dans laquelle les deux aspects des particules élémentaires, l'aspect corpusculaire et l'aspect ondulatoire, pourraient être unifiés ; il y a consacré presque toute sa vie scientifique et est conduit à l'élaboration de la théorie de la double solution, qui constitue le fondement de son programme scientifique de la mécanique ondulatoire.

5. Conclusion

Il est remarquable que tous les grands problèmes les plus difficiles à résoudre de la science et de la philosophie, comme celui du continu et du discontinu, ont été clairement posés par les philosophes de l'antiquité. Quant au problème qui nous occupe ici, après tant de siècles de pensée et de perfectionnement des méthodes de recherche, ce problème persiste à préoccuper les savants et les philosophes en restant toujours d'actualité.

La mythologie scientifique, au cours des siècles, s'est enrichie au niveau de ce thème et a fourni le centre de référence, qui stimule continuellement l'imagination des chercheurs et les pousse à la recherche de solutions nouvelles. De Broglie fut un cas exceptionnel de savant influencé par l'ensemble des idées et des conceptions philosophiques toujours présentes dans la mythologie scientifique, sans qu'il ait élaboré pour autant une position philosophique explicite. Ceci constitue l'une des raisons qui permettent d'interpréter sa conversion, pendant la période 1928-1951, à l'interprétation orthodoxe de la mécanique quantique en contraste avec Einstein qui, ayant fondé une position philosophique claire, est resté, pendant toute sa vie, l'adversaire principal de l'interprétation de Copenhague.

Un élément , puisé dans les textes de de Broglie de cette période de conversion (une période qui constitue une parenthèse dans son activité créative

³²M. Jammer, op. cit., p. 254

relative à ses idées initiales sur le problème de la dualité onde-corpuscule), vient renforcer notre point de vue à propos du rôle joué par la mythologie scientifique dans la formation de la pensée scientifique chez un savant. Cela est exprimé presque explicitement dans un exposé de Louis de Broglie figurant dans son ouvrage "Physique et Microphysique" ³³ où il écrit : "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..", et plus bas (p.166) : "Ayant des habitudes d'esprit dues pour une grande part aux enseignements qu'il (le savant) a reçus et aux idées qui règnent autour de lui..." Dans ce cas, l'influence immédiate de la mythologie scientifique est évidente. Mais, même dans le cas de savants, comme Einstein, qui ont une conviction philosophique, ce courant riche de thémata et d'idées philosophiques, qui imprègne les hommes et les influence à travers "l'enseignement qu'ils reçoivent" et à travers "les idées qui règnent autour d'eux", constitue une source nourricière véritable de leur imagination et de leur pensée. La mythologie scientifique est l'air que respirent les savants et les philosophes et qui est la source de leur création.

En 1951, incité par un Mémoire de D. Bohm (qui fut communiqué à de Broglie avant qu'il ne paraisse dans la Physical Review, un Mémoire qui ne faisait que reprendre la théorie de l'onde-pilote que de Broglie avait exposée au 5e conseil Solvay) de Broglie reprend ses idées primitives en essayant de "rétablir une conception déterministe de la Mécanique ondulatoire" et de "reexaminer la question en se gardant de toute idée philosophique préconçue et en se préoccupant seulement de savoir si une interprétation cohérente de tous les faits bien établis, pourrait être ainsi obtenue" ³⁴. Cette nouvelle période de sa vie scientifique fut très créative, mais les difficultés inhérentes au problème ne lui ont pas permis de voir lui-même l'aboutissement de ses efforts. C'est ainsi, encore une fois, que le problème du continu et du discontinu, du dualisme des ondes et des corpuscules, reste ouvert, comme un défi à l'imagination.

(Manuscrit reçu le 27 octobre 1987)

³³L. de Broglie, *La physique quantique restera-t-elle indéterministe ?* Gauthier-Villars Paris, 1953, p.2

³⁴L. de Broglie, *La physique quantique restera-t-elle indéterministe ?* Gauthier-Villars Paris, 1953, p.2