

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΡΕΥΝΩΝ ΝΕΟΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑΣ
ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ: ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ © ΠΙΤΣΙΟΣ

CHAPITRE III.

LA LUTTE RÉCENTE DES DEUX THÉORIES

Nous avons vu comment la théorie des ondulations, après avoir triomphé pendant de longues années dans l'interprétation de la plupart des phénomènes lumineux, s'est trouvée d'abord subitement ébranlée lors de la découverte de la photo-électricité, ensuite fortement concurrencée par une nouvelle théorie corpusculaire ; les quanta qui forment la base de cette nouvelle théorie ont révélé sans cesse leur importance, leur existence étant rendue indéniable par la découverte de phénomènes nouveaux que nous avons signalés. Mais la théorie des ondulations peut-elle être en danger ? Soutenue par de solides preuves, expliquant les deux phénomènes si importants, interférences et diffraction, d'une manière complète, choses que les quanta sont incapables d'interpréter malgré les efforts de leurs créateurs, la théorie des ondulations doit subsister. Nous sommes donc en présence d'une contradiction violente et d'une extrême importance qu'il va nous falloir étudier de très près. Le problème posé par cette contradiction était trop digne d'intérêt pour échapper aux yeux des savants de l'époque. Planck, Lorentz, Einstein et bien d'autres ont senti dans

cette dualité le commencement d'une période de crise ; crise qui, nous le verrons, a duré plus de vingt ans. La théorie des ondulations explique tous les phénomènes de la réflexion et de la réfraction, l'interférence et la diffraction, les couleurs de tous les corps naturels, la polarisation de toute espèce, la double réfraction des rayons lumineux. On ne voit pas que la théorie des quanta de lumière puisse donner une explication aussi simple et aussi facile à comprendre d'un quelconque des phénomènes énumérés, sauf celui de la réflexion. C'est pour cela que la plupart des partisans de la théorie des ondulations ont accepté l'éther, non comme une vague chimère, mais comme une entité réelle, une substance douée d'inertie.

D'autre part, nous ne rappellerons pas les phénomènes qui témoignent hautement en faveur des quanta de lumière, nous remarquerons seulement qu'ils ne sont pas interprétables par les ondulations.

Considérons la théorie des quanta. La question qui vient naturellement à l'esprit est celle-ci : comment expliquer avec les photons les phénomènes d'interférence qu'il est difficile de concevoir comme produits autrement que par la combinaison de plusieurs mouvements vibratoires. La seconde question qui se pose est de savoir quel est le sens de la lettre ν , caractérisant la fréquence dans la théorie des quanta. Comment peut-on concevoir qu'un grain d'énergie possède une fréquence déterminée ? « Dans cette théorie la lettre ν nous apparaît comme un « simple coefficient numérique, différent pour les différentes sortes de quanta qui existent, et dans lequel « fait complètement défaut la représentation du nom-

« bre qui indique combien de fois un certain événement
« s'accomplit pendant l'unité de temps, et à plus forte
« raison, un événement dont la phase varie périodique-
« ment et d'une façon continue » (1).

Une troisième difficulté fut mise en évidence par Lorentz en 1910, et est relative à l'interférence et à ses rapports avec les dimensions des quanta. On sait que l'interférence de deux rayons ne peut se produire que si ces rayons émanent d'une même source. La différence de leurs chemins optiques peut être rendue très grande; cette différence de marche peut atteindre plusieurs millions de longueurs d'ondes, ce qui correspond à un déplacement de l'ordre d'un mètre. Alors on conçoit mal comment des quanta distincts, partant à des instants différents de la source, peuvent posséder cette propriété de la cohérence, car cela conduirait à penser que leurs dimensions longitudinales devraient être énormes, de l'ordre d'un mètre, dans la direction du rayon lumineux. Quant aux dimensions transversales, nous rappellerons brièvement l'expérience connue et très souvent citée qui consiste à couvrir l'une des moitiés de l'objectif d'une lunette visant une étoile. On sait que dans ces conditions l'image obtenue est un peu plus grande que dans les conditions normales d'utilisation et que ce phénomène est dû à l'interférence des rayons issus des deux moitiés de l'objectif. Ce qui nous amène à supposer que l'interférence ne peut exister que si ce qui interfère appartient à un seul et même quantum. Nous concluons de là que les dimensions transversales doivent, sans être aussi grandes que les dimensions longitudinales, être de l'or-

1. CHWOLSON, *op. cit.*, p. 42.

dre de plusieurs centimètres. Nous voilà donc en présence de quanta énormes. Comment ces quanta peuvent-ils traverser l'ouverture de la pupille de notre œil qui est loin d'atteindre leurs dimensions ? Si l'on accepte ce passage, il nous faut poser de nouvelles hypothèses plus ou moins arbitraires donnant aux photons la faculté de se diviser avant de pénétrer dans l'œil et de se reformer entièrement sur la rétine ; cette dernière cause étant obligatoire puisque c'est la rétine qui est capable de différencier les quanta au moyen de la fréquence qui les caractérise.

Ces dimensions énormes des photons, mises en évidence par Lorentz et déduites de ses expériences que nous venons de citer, plongèrent le savant dans l'embarras. Le phénomène photo-électrique, en effet, ne montre-t-il pas que le corpuscule d'énergie peut être englouti par cette chose si petite qu'est l'atome ? D'autre part, en 1923, une nouvelle expérience vint encore apporter à la science d'autres preuves irréfutables de la petitesse du photon. Il s'agit de la découverte de l'Américain A. H. Compton, qui se rattachait pleinement à la conception corpusculaire de la lumière.

Compton remarqua que, si une substance est frappée par un faisceau de rayons X, la fréquence des rayons diffusés est variable avec l'azimut. Elle est maximum et inaltérée dans la direction des rayons incidents et plus petite dans les autres directions. Voilà l'explication de ce fait : « Compton admet que, lorsqu'un tel quanta « de lumière frappe un électron libre, le choc doit obéir « aux lois du choc entre corps matériels quelconques, « c'est-à-dire aux deux lois suivantes :

« 1^o Au principe de la conservation d'énergie ;
« 2^o Au principe de la conservation de la quantité
« de mouvement (troisième loi de Newton) » (1). Alors
« l'énergie et le moment du quantum passent en partie
« à l'électron, il se forme un nouveau quantum d'éner-
« gie et de moment moindres et, par suite de plus basse
« fréquence et, de plus, suivant une direction oblique
« par rapport à celle où se mouvait le quantum primi-
« tif. C'est comme si une bille de billard, après s'être
« mise à rouler dans une direction oblique par rapport
« à sa direction première, perdait un peu de son poids
« rencontrant une bille. » (2)

On voit que ce raisonnement donné par Compton et par Debye, est très élémentaire « il est même si simple
« qu'il peut paraître au premier abord enfantin et gros-
« sier » (3). Il s'est cependant toujours montré en par-
fait accord avec les faits expérimentaux et permet l'affirmation que tout se passe comme si la lumière était de nature corpusculaire. Ainsi, comme nous venons de le montrer, chacune des deux théories, ondulations et corpuscules, a son domaine de phénomènes dans lequel elle se montre maîtresse souveraine. Comment les concilier ? C'est le problème ardu qui se pose. La théorie des quanta doit prendre la place de la théorie des ondulations. Mais le peut-elle ? Evidemment non, dans l'état actuel des choses. Nous savons parfaitement ce

1. R. MILLIKAN, *op. cit.*, p. 309.

2. G. CASTELFRANCHI, *op. cit.*, p. 506.

3. E. BAUER, « *Introduction historique à la physique des quanta* ». Les bases expérimentales immédiates de la théorie des quanta. Paris, Hermann, 1933, p. 23.

qu'elle n'explique pas et nous savons aussi que là où elle échoue, la théorie concurrente triomphe.

Arrivé à ce point de notre exposé nous allons mettre en évidence le caractère de la dualité profonde des deux théories ; « la lutte qui se poursuit devant nous présente un tableau étrange qui ne s'est jamais montré dans l'histoire de la physique, ni peut-être dans l'histoire d'aucune autre science » (1).

Certes, ce n'est pas la première fois que l'on voit apparaître en physique une lutte entre deux théories expliquant deux groupes de phénomènes se rattachant à une même partie de la science. On sait que dans de telles circonstances, la théorie qui subsiste est celle qui donne les explications les plus claires, les moins forcées, celles qui expliquent des phénomènes que l'autre n'explique pas, celle enfin qui, par généralisation, prévoit des phénomènes qui se trouvent peu à peu réalisés, et qui restent inexplicables par la théorie concurrente. « C'est un tableau tout autre qui ne s'est jamais vu et, on peut dire, très curieux que nous présente la lutte actuelle des théories ondulatoire et quantique de l'énergie rayonnante. L'essence de la question consiste à ce qui suit : L'ensemble des phénomènes de l'énergie rayonnante peut être partagée en deux groupes qui néanmoins sont tellement liés entre eux qu'il est impossible d'avoir le moindre doute que tous les phénomènes des deux groupes ne soient implantés dans le même sol, et ne doivent être expliqués par une seule et même hypothèse sur l'essence de l'énergie rayon-

1. D. O. CHWOLSON, *op. cit.*, t. II, p. 7.

« nante. Appelons premier et second ces deux groupes
« de phénomènes. Le premier groupe comprend cette
« immense variété de phénomènes que nous observons
« dans la propagation libre de l'énergie rayonnante,
« c'est-à-dire presque toute l'optique du XIX^e siècle :
« réflexion, réfraction, dispersion et interférence, dif-
« fraction, polarisation et double réfraction. Comme
« plus particulièrement caractéristique, nous sépare-
« rons l'interférence et la polarisation. On sait la façon
« brillante dont la théorie des ondulations est venue à
« bout de la tâche d'expliquer les moindres détails de
« ces phénomènes, comment elle a prévu de nouveaux
« phénomènes, comme la réfraction conique dans les
« cristaux à deux axes. Le second groupe est constitué
« par les phénomènes liés à l'émission et à l'absorption
« de l'énergie rayonnante; ils se produisent dans les ato-
« mes et les molécules de la matière. La théorie quanti-
« que donne l'explication de ces phénomènes avec moins
« de succès que ne le fait la théorie des ondulations pour
« le premier groupe. » (1)

C'est ainsi que Chwolson met clairement en valeur les succès respectifs de chaque théorie. Mais ce qui est plus étrange et plus caractéristique, c'est que la théorie des ondulations qui triomphe d'une manière absolue dans les phénomènes du premier groupe, apparaît, d'une manière aussi absolue, impuissante dans l'explication des phénomènes relatifs aux échanges d'énergie rayonnante. Les phénomènes de ce dernier groupe paraissent même illogiques et absurdes si on les considère

1. D. O. CHWOLSON, *op. cit.*, t. II, p. 8.

du point de vue des ondes. Inversement avec la théorie des quanta, il est impossible de comprendre les phénomènes du premier groupe. On a essayé en vain d'introduire des hypothèses supplémentaires. Le problème restait entier. « La physique contemporaine était positivement dans une situation étrange ; elle s'est trouvée en présence de deux théories admirables, plutôt étrangères l'une à l'autre qu'adversaires ; ces deux conceptions, la théorie des ondulations et celle des quanta, ne pouvaient se rencontrer n'ayant pas de terrain commun. » (1)

A ce sujet nous ne pouvons continuer sans citer la comparaison imagée de Sir J. J. Thomson : « Les situations respectives des deux théories sont celles d'un tigre et d'un requin. Chacun de ces animaux représente ce qu'il y a de plus puissant dans son élément. Mais la valeur de l'un d'eux est nulle s'il se trouve dans l'élément de l'autre (2). »

Les domaines de chacune des deux théories étaient bien séparés par un fossé profond. Il était difficile par exemple d'indiquer un phénomène d'énergie rayonnante qui peut être expliqué par les deux théories. La lumière se présente donc à nous sous l'aspect suivant : Un corps émet des quanta qui sont absorbés par un autre corps. Entre ces corps nous avons un mouvement vibratoire qui se propage à travers l'éther avec ses surfaces d'ondes. Comment s'effectue cette métamorphose à la sortie du premier, cette reconstitution à l'entrée du second ?

1. G. CASTELFRANCHI, *op. cit.*, p. 517.

2. J. J. THOMSON, *La structure de la lumière*, trad. R. Fric. Paris, Blanchard, 1929, p. 8.

Nous avons vu plus haut l'obscurité qui règne sur la nouvelle théorie, nous voulons parler de celle qui vient de ce que l'on ne peut pas se représenter les photons. Ses dimensions nous échappent. Toutes les déductions faites pour trouver ses dimensions aggravent encore la confusion. De même on pourrait trouver dans la théorie des ondulations des points faibles et des questions embarrassantes. Si bien qu'en définitive le fléau de la balance reste horizontal malgré la tendance bien légitime du physicien qui voudrait le faire pencher vers la théorie moderne. La lutte serait terminée si l'une des théories réussissait à conquérir le domaine de l'autre. Les tentatives orientées vers ce but ne manquent pas. En partant de l'une ou de l'autre des deux théories et surtout de la théorie quantique, des savants se sont efforcés de compléter la théorie des quanta par des hypothèses qui donneraient la possibilité d'expliquer les phénomènes de réflexion, de réfraction, etc... D'autres savants admettent à la fois l'existence des ondes et des corpuscules et essaient d'opérer la fusion des deux théories en une seule. D'autres encore proposent des théories entièrement nouvelles. Nous n'insisterons pas sur toutes ces vaines tentatives. Le prochain chapitre nous montrera qu'en envisageant résolument le problème sous un jour nouveau, et en s'aidant des nouvelles théories mathématiques, Louis de Broglie a pu donner une explication satisfaisante des phénomènes lumineux et jeter un pont entre les deux théories. Et nous verrons apparaître le rôle important joué par les probabilités dans cette explication, rôle qui semble s'étendre à l'ensemble du monde physique. « La physique du discontinu

« s'impose aujourd'hui, nous devons nécessairement
« faire usage du raisonnement statistique, nous servir
« constamment du calcul des probabilités qui est le seul
« lien possible entre le monde des atomes et nous, entre
« les lois élémentaires et nos observations (1). »

1. P. LANGEVIN, *op. cit.*, p. 191.



CHAPITRE IV.

LA CONCILIATION DES DEUX THÉORIES

Dans le précédent chapitre nous nous sommes étendu sur les données du problème qui s'offrait aux physiciens en 1925. Nous avons vu l'impasse dans laquelle la physique se trouvait engagée, le choix impossible qui se présentait devant elle. Or, pouvait-on accepter à la fois la conception ondulatoire pour expliquer les phénomènes d'interférence et la conception corpusculaire, le mystérieux photon, pour expliquer les lois du rayonnement thermique et de la photo-électricité? « Il a fallu « s'orienter, bon gré, mal gré, vers une théorie synthétique qui admet que les radiations sont formées à la fois d'ondes et de corpuscules intimement liés. Seulement cette théorie est très difficile à développer et c'est pour cela qu'il y a crise (1). »

Avant de développer la théorie proposée par Louis de Broglie faisons une remarque au sujet des ondes lumineuses, telles qu'elles étaient envisagées dans l'ancienne conception. Ces ondes lumineuses constituaient les vibrations de ce milieu hypothétique appelé éther.

1. LOUIS DE BROGLIE, *op. cit.*, p. 55.

L'énergie radiante était transportée par elle et on admettait naturellement qu'elle était distribuée dans ces ondes d'une façon continue. Or, nous savons que cette idée est en opposition formelle avec l'effet photo-électrique qui exige que l'énergie lumineuse soit concentrée en corpuscules. Il fallait donc une théorie qui rende compte de cette localisation d'énergie en grains et qui conserve l'idée des ondes pour pouvoir définir la fréquence et la longueur d'onde et rendre compte de l'interférence.

C'est à Louis de Broglie que revient le mérite de cette synthèse. Après avoir indiqué en 1924 la voie où on pouvait s'engager il élaborait une théorie mathématique, une mécanique des ondes qui vint en aide à l'optique désespérée. Il associa en effet au mouvement d'un corpuscule un phénomène ondulatoire concomitant, exprimé par des relations analytiques où l'équation différentielle des ondes se montre essentielle. Une explication mathématique n'ayant pas sa place ici, nous nous reporterons à l'exposé même de l'auteur *Ondes et Corpuscules*, pour bénéficier de sa clarté.

Voici ce qu'il envisage « un faisceau de lumière dont
« la fréquence est ν et la longueur d'onde λ serait formé
« par une onde ayant cette fréquence et cette longueur
« d'onde, mais cette onde ne pourrait plus être considé-
« rée comme la vibration d'un milieu et ne transporte-
« rait aucune énergie ; sa nature physique reste donc
« obscure. De plus, cette onde entraînerait avec elle des
« corpuscules ayant chacun l'énergie $h\nu$ et leur impose-
« rait un mouvement déterminé » (1).

1. LOUIS DE BROGLIE, *op. cit.*, p. 56.

L'effet photo-électrique et le phénomène de Compton s'expliquent alors aisément, l'énergie se trouvant concentrée dans les corpuscules. L'interprétation du phénomène d'interférence est moins simple. Louis de Broglie nous rappelle à ce sujet qu'une expérience d'interférence met toujours en jeu une grande quantité d'énergie lumineuse (faisceau intense de courte durée ou pose photographique enregistrant un faisceau faible pendant un temps très long). Ce qui veut dire qu'un grand nombre de photons est nécessaire. Or, la théorie montre que le nombre de photons par unité de volume que contient une onde lumineuse déterminée est proportionnelle à l'intensité de l'onde prévue par l'ancienne théorie ondulatoire. Donc, dans une région où les ondes seront en phase, c'est-à-dire où il y aurait dans cette ancienne théorie un maximum de lumière, il passera un grand nombre de photons, et il en passera peu là où devrait avoir lieu un minimum. Voici comment L. de Broglie explique les phénomènes les plus importants de l'optique. Acceptant à la fois les ondes, les corpuscules et leurs liaisons intimes où figurent toujours la constante de Planck, il admet que l'évolution des photons au cours du temps est représentée statistiquement par l'onde de Fresnel. Il nous est possible de nous rendre compte de la répartition des photons puisque c'est une répartition d'énergie. Il est évidemment impossible de préciser l'histoire individuelle de chaque photon, et ceci constitue le point de vue de la mécanique ondulatoire en ce qui concerne la lumière. Ce point de vue est la conciliation du continu et du discontinu, des interférences et de l'effet photo-électrique. Ici, bien que cela paraisse hors

de notre sujet, nous devons parler de cette association d'ondes et de corpuscules en ce qui concerne la matière. Nous avons vu qu'elle est constituée essentiellement d'électrons. Reprenant une analogie profonde entre la matière et le rayonnement entrevue il y a un siècle par Hamilton, Louis de Broglie émet l'hypothèse hardie que ces électrons ont aussi leurs ondes associées et voici ce qu'il dit à ce sujet: « N'aurait-on pas commis pour l'électron « l'erreur exactement inverse de celle qui fut commise « en optique ? En d'autres termes, tandis qu'en optique « Fresnel et ses continuateurs avaient trop négligé l'as- « pect corpusculaire pour ne s'attacher qu'à l'aspect des « ondes, ne s'est-on pas trop attaché à l'aspect corpus- « culaire de l'électron en négligeant son aspect d'onde ? « Si l'on résoud ces questions par l'affirmative on est né- « cessairement amené à la conclusion suivante : On doit « pouvoir avec des faisceaux d'électrons obtenir des phé- « nomènes d'interférence analogues à ceux qu'on ob- « tient avec des faisceaux de photons. Cette conclusion « paraissait il y a peu d'années tout à fait insensée. Eh « bien, depuis deux ans cette prévision hardie a été vé- « rifiée. On a obtenu des phénomènes d'interférence avec « des électrons, et on a pu mesurer la longueur d'onde « de leur onde associée qui s'est trouvée en accord avec « les prédictions des nouvelles théories. Ainsi s'est trou- « vé ouvert tout un domaine nouveau de la physique « expérimentale : la spectroscopie des électrons » (1).

Cette adaptation de la conception générale au cas de la matière a été suscitée par les faits suivants; la cons-

1. LOUIS DE BROGLIE, *op. cit*, p. 57.

tante h intervient pour limiter le nombre des mouvements corpusculaires possibles et avec elle interviennent les nombres entiers. Cette intervention est chose courante dans la mécanique ondulatoire, d'où l'adaptation précitée. Cette prévision audacieuse devait donner naissance à des phénomènes semblables à ceux rencontrés en optique et particulièrement aux interférences et à la diffraction. C'est ce que l'expérience vérifia pleinement (Davisson et Germer, Thomson, Rupp). Une remarque s'impose cependant; il existe une différence fondamentale entre les ondes lumineuses et les ondes matérielles : « si les ondes électromagnétiques sont en « général comparables aux ondes élastiques qui se pro- « pagent le long d'une corde à sauter (dont on fait oscil- « ler une extrémité avec la main et dont l'autre extré- « mité traîne par terre), les ondes matérielles sont tou- « jours analogues au fuseau qui se produit quand on « pince le milieu d'une corde de violon (dont les deux « extrémités sont fixes), on dit que les ondes matérielles « sont des ondes stationnaires » (1).

On conçoit facilement quelle devait être l'importance de ces hypothèses bien confirmées au sujet de la matière tant au point de vue physique qu'au point de vue philosophique. Au point de vue physique, la théorie atomique de Rutherford-Bohr se trouvait modifiée à l'aide de cette nouvelle mécanique ondulatoire créée par Louis de Broglie et bientôt suivie des belles études de Schrodinger et de Heisenberg. Les précisions données par

1. Marcel BOLL, *Matière, Electricité, Radiations*. Paris, Delagrave, 1930, p. 118.

Bohr et Sommerfeld, au sujet des sauts d'électrons d'une orbite à une autre autour du noyau, ne conservaient plus aucun sens. La nouvelle mécanique indique qu'il nous est impossible de décrire en détail le mouvement individuel des électrons d'où impossibilité aussi de préciser leurs mouvements lorsqu'ils pénètrent dans l'atmosphère d'un noyau atomique. Au point de vue philosophique il sera particulièrement intéressant d'étudier d'abord l'analogie profonde entre la matière et le rayonnement, ensuite la transformation réciproque de ces deux états. Nous ne terminerons pas l'exposé de cette théorie sans dire un mot des obscurités qui planent encore sur l'interprétation physique de la nouvelle mécanique.

« Nous ne pouvons plus affirmer l'existence d'un déterminisme rigoureux dans la nature car tous les déterminismes de l'ancienne dynamique reposaient sur la possibilité de déterminer simultanément la position et la vitesse initiales d'un corpuscule, ce qui est impossible si l'on admet les idées de Heisenberg. Il n'y a plus alors de lois rigoureuses mais seulement des lois de probabilités. Avec cette façon d'interpréter la mécanique ondulatoire on rencontre bien des circonstances étranges. D'abord les corpuscules existent et l'on admet toujours que cela a un sens de parler de leur nombre ; néanmoins on ne peut plus, avec les idées de Bohr, s'en faire une image claire et classique, qui consiste à les regarder comme de très petits objets ayant une position dans l'espace, une vitesse et une trajectoire. En second lieu, l'autre terme d'idéalisme, l'onde, n'est plus qu'une représentation purement symbolique et analytique de certaines probabilités et ne constitue

« plus du tout un phénomène au sens ancien du mot »(1).

La nature profonde des ondes et des corpuscules qu'elles « pilotent » et leurs rapports exacts sont encore enveloppés de mystère. Néanmoins un grand pas est fait. Il est maintenant certain que le dualisme existe et que la répartition des photons dans l'espace ne peut se prévoir que par des considérations ondulatoires.

L. Louis DE BROGLIE, *op. cit.*, p. 37-38.

