

Acceptation de la théorie de l'onde de matière au Japon

CHIEKO KOJIMA

Nihon University
5-2-1, Kinuta Setagaya Tokyo 157-8570, Japan
email: kojima.chieko@nihon-u.ac.jp

RÉSUMÉ. Cet article analyse comment la théorie de Broglie, qui se distingue par son idée unique dans l'histoire de la mécanique quantique, a été acceptée au Japon. Il est révélé que T. Takeuchi a été l'un des premiers physiciens à introduire la théorie de Broglie au Japon. Nous elucidons également la raison pour laquelle S. Watanabe a osé traduire le livre de de Broglie au lieu du livre de l'école de Copenhague de manière délibérée. Et même après que de Broglie se soit éloigné de l'interprétation principale de la mécanique quantique dans les années 1950, T. Takabayashi a introduit l'idée de de Broglie au Japon, mentionnant une possibilité de réexaminer la base de la mécanique quantique.

ABSTRACT. This paper analyzes how de Broglie's theory, which stands out for its unique idea in the history of quantum mechanics, was accepted in Japan. It is revealed that T. Takeuchi was one of the first physicists who introduced de Broglie's theory in Japan. We also elucidate the reason why S. Watanabe dared to have translated de Broglie's book instead of Copenhagen school's book in a purposeful manner. And even after de Broglie's departure from main interpretation of quantum mechanics in 1950s, T. Takabayashi introduced de Broglie's idea in Japan, mentioning a possibility to reexamine the base of quantum mechanics.

1 Introduction

Le physicien français Louis de Broglie (1892-1987), après l'établissement de la mécanique quantique, a pris ses distances avec l'école de Copenhague et adopté une interprétation différente de la mécanique quantique, ce qui l'a isolé dans le milieu scientifique. De plus, la théorie des ondes de matière de de Broglie a été reléguée au second plan de l'histoire de

la mécanique quantique par le développement de la mécanique ondulatoire par E. Schrödinger (1887-1961). Cette étude analyse la réception de la théorie des ondes de matière de de Broglie au Japon, une proposition singulière dans l'histoire de la mécanique quantique. Il est révélé que Tokio Takeuchi (1893-1944) a été le premier à attirer attention sur cette théorie et à la présenter au Japon, dans le contexte de l'unification de la théorie de la relativité et de la théorie quantique. De plus, les raisons pour lesquelles Satoshi Watanabe (1910-1993) a délibérément introduit la théorie des ondes de matière de de Broglie en provenance de la France au Japon, plutôt que d'autres pays tels que le Danemark ou l'Allemagne, qui étaient au cœur de la recherche en mécanique quantique, sont examinées. A la fin, Il souligne que Takehiko Takabayashi (1919-1999) a assisté aux séminaires de de Broglie dans les années 1950, ce qui a contribué à une meilleure compréhension de la théorie de de Broglie au Japon, qui prenait une position différente de l'interprétation de Copenhague. Alors que les études existantes portent généralement sur l'introduction générale de la mécanique quantique au Japon, cette étude se concentre spécifiquement sur la théorie des ondes de matière de de Broglie, clarifiant pour la première fois sa réception au Japon [1].

2 Concept des ondes de matière de de Broglie

2.1 Théorie de de Broglie en 1923

Lorsque l'on parle de la théorie de de Broglie (1892-1987), il s'agit du concept des ondes de matière, où aujourd'hui nous comprenons que ce concept représente la nature ondulatoire de la matière, et que la longueur d'onde des ondes de matière est exprimée par l'équation suivante en fonction de la quantité de mouvement des particules p et de la constante de Planck h . Cette longueur d'onde est également appelée "longueur d'onde de de Broglie".

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Cependant, dans sa thèse où de Broglie a proposé pour la première fois l'idée des ondes de matière en 1923, cette équation de longueur d'onde n'était pas présente. De plus, le processus de réflexion de de Broglie comprenait plusieurs hypothèses, et sa théorie n'était pas facilement acceptable pour les physiciens de l'époque. En 1923, de Broglie a publié trois articles sur le concept des ondes de matière, et dans le

premier article où il a proposé le concept des ondes de matière intitulé "Ondes et quanta" [2], il attribuait deux énergies différentes aux particules de matière ayant une masse au repos m_0 : l'énergie obtenue de la relativité $E = m_0c^2$ (où E est l'énergie et c est la vitesse de la lumière), et l'énergie obtenue de la théorie quantique $E = h\nu_0$, en les considérant équivalentes.

$$m_0c^2 = h\nu_0 \tag{1}$$

Selon de Broglie, ν_0 représente la fréquence de vibration des phénomènes périodiques internes des particules. Ensuite, il a examiné les transformations relativistes lorsque cette particule se déplace à une vitesse $v = \beta c$ ($\beta < 1$) par rapport à un observateur fixe. À partir de la relation relativiste selon laquelle "les horloges en mouvement ralentissent", on obtient

$$\nu_1 = \nu_0 \sqrt{1 - \beta^2} = m_0c^2/h \times \sqrt{1 - \beta^2} \tag{2}$$

D'autre part, selon la relativité, la masse dans ce cas devient

$$m = m_0/\sqrt{1 - \beta^2} \tag{3}$$

à partir de celle-ci et de $mc^2 = h\nu$, on obtient

$$\nu = m_0c^2/h\sqrt{1 - \beta^2} \tag{4}$$

De Broglie a été longtemps troublé par l'apparition de deux fréquences différentes ν_1 et ν [3].

Alors, de Broglie a postulé que ν est la fréquence des ondes fictives accompagnant la particule, se propageant dans la même direction que la particule à une vitesse c/β . De Broglie a utilisé le terme "ondes fictives" car ces ondes se déplacent plus rapidement que la vitesse de la lumière. De plus, de Broglie a prouvé que si la phase des phénomènes périodiques internes de la particule et la phase de l'onde fictive coïncident à $t = 0$, alors la coïncidence de phase se maintient à un temps arbitraire t .

Si on l'appelle hypothétiquement la "loi de la concordance de phase", alors la découverte de cette loi était extrêmement importante pour de Broglie [4]. En effet, de Broglie considérait la "loi de la concordance de phase" comme étant fondamentale pour la dualité onde-particule, interprétant ainsi que les particules matérielles sont accompagnées d'une onde dont la phase est toujours en concordance avec les vibrations internes des particules.

De plus, dans son premier article, de Broglie a appliqué la loi de la concordance de phase aux électrons se déplaçant à une vitesse proche de celle de la lumière sur une orbite fermée, démontrant qu'elle satisfaisait les conditions déterminant l'état stationnaire des électrons dans l'atome de Bohr.

À $t = 0$, l'électron commence à tourner autour de l'orbite circulaire à la vitesse $v = \beta c$ ($\beta < 1$), accompagné d'une onde virtuelle se déplaçant à la vitesse c/β . Bien que l'onde virtuelle devance l'électron, après avoir parcouru un tour complet, elle rattrape l'électron au temps τ .

Si la période de rotation de l'électron est T , la distance parcourue par l'onde de phase au temps τ est donnée par

$$(c/\beta) \times \tau = (c^2/v) \times \tau = v(\tau + T)$$

qui peut être réécrite comme

$$\tau = v^2/(c^2 - v^2) \times T = \beta^2/(1 - \beta^2) \times T \quad (5)$$

Par conséquent, lorsque l'onde de phase rattrape l'électron, la phase du phénomène périodique interne de l'électron est obtenue à partir de (2) et (5)

$$2\pi\nu_1\tau = (2\pi m_0 c^2/h) \times T \times \beta^2/\sqrt{1 - \beta^2} \quad (6)$$

Ici, de Broglie exige que lorsque l'onde virtuelle rattrape l'électron sur son orbite, la phase de l'onde virtuelle soit en phase avec le phénomène périodique interne de l'électron, et que l'onde virtuelle résonne dans l'orbite, ce qui donne les conditions suivantes à partir de (6),

$$\begin{aligned} 2\pi\nu_1\tau &= 2\pi n \\ &= (2\pi m_0 c^2/h) \times T \times \beta^2/\sqrt{1 - \beta^2} \end{aligned}$$

C'est-à-dire

$$m_0\beta^2 c^2/\sqrt{1 - \beta^2} \times T = nh \quad (n \text{ est un nombre entier}) \quad (7)$$

et la condition (7) est équivalente à la condition quantique d'Einstein pour l'état stationnaire de l'électron,

$$\int_0^T (p_x dx + p_y dy + p_z dz) = nh$$

ce qui est prouvé comme suit :

$$\int_0^T \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}} (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2) dt = \frac{m_0 \beta^2 c^2}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

Dans son deuxième article intitulé "Quanta de lumière, diffraction et interférences" [5], de Broglie a renommé les ondes virtuelles de son premier article en "ondes de phase", affirmant que la vitesse de groupe des ondes de phase est égale à la vitesse des particules, et que la trajectoire des particules est déterminée par la normale aux surfaces d'équiphase des ondes de phase. De plus, il a prédit que lorsque des particules passent à travers une ouverture de taille comparable à la longueur d'onde des ondes de phase, ces dernières se diffractent, suggérant que "les électrons passant par des ouvertures très petites montreront des phénomènes de diffraction". Dans le même article, de Broglie a également établi une analogie entre le principe de Maupertuis en mécanique et le principe de Fermat en optique, suggérant que la nouvelle mécanique quantique par rapport à la mécanique classique est comparable à l'optique ondulatoire par rapport à l'optique géométrique, tout en indiquant également la direction de la mécanique ondulatoire.

Ce qui est remarquable ici, c'est que de Broglie affirme la présence d'atomes de lumière qu'il a lui-même proposés, accompagnés d'ondes de phase, pour expliquer les phénomènes d'interférence de la lumière. Les atomes de lumière sont une notion introduite par de Broglie en 1922 dans son article "Rayonnement noir et quanta de lumière" [6]. Dans cet article, de Broglie tente de traiter le problème du rayonnement en utilisant uniquement la thermodynamique, la théorie cinétique et la théorie quantique, sans recourir à l'électromagnétisme. De plus, de Broglie adopte la théorie des quanta de lumière d'A. Einstein et considère le rayonnement en équilibre comme un gaz d'atomes de lumière, auxquels il attribue une masse infime et auxquels il associe des ondes de phase. Autrement dit, de Broglie avait déjà envisagé l'idée que la lumière pourrait être équivalente à des particules matérielles avant même de proposer sa théorie des ondes de matière. Il convient également de noter que des résumés des premiers et deuxièmes articles sur les ondes de matière de de Broglie ont été publiés dans la revue Nature en 1923 [7].

Dans le troisième article intitulé "Les quanta, la théorie cinétique des gaz et le principe de Fermat" [8], de Broglie fait également référence aux "atomes de lumière" de 1922, en attribuant des ondes de phase

aux atomes de gaz. De plus, il affirme que les rayons d'ondes de phase correspondent à des trajectoires mécaniquement possibles, développant ainsi une analogie entre l'optique et la mécanique, similaire au deuxième article.

Ainsi, la théorie de de Broglie de 1923 était en grande partie inspirée par l'idée des "atomes de lumière" de 1922, qui attribuait une masse infime aux photons. Bien que les éléments essentiels de la conception de de Broglie sur les ondes de matière aient été largement présents dans sa théorie de 1923, ces petites parties étaient souvent fragmentées et spéculatives. Étant donné que la notion des ondes de matière de de Broglie a été développée à partir des atomes de lumière, il est possible que l'article de 1923 ait été interprété comme une théorie des "quanta de lumière" plutôt que comme une théorie des "ondes de matière". En fait, en 1924, un article en anglais regroupant les trois articles de 1923 de de Broglie a été publié dans le *Philosophical Magazine* sous le titre "A tentative theory of light quanta" [9].

2.2 Thèse de doctorat de De Broglie

Les trois articles de 1923 étaient chacun de courts documents de moins de trois pages, mais ils ont été systématiquement regroupés dans une thèse de doctorat de plus de 100 pages. La thèse de De Broglie a été acceptée le 25 novembre 1924 et publiée dans les *Annales de Physique* en 1925. Intitulée "*Recherches sur la théorie des quanta*", l'objectif de la thèse était d'unir les perspectives particulaire et ondulatoire, qui se sont opposées tout au long de l'histoire de la physique, afin de poursuivre le véritable sens du quantum. Dans sa thèse, De Broglie maintenait ses idées sur l'association d'ondes de phase avec les atomes de matière et de lumière, et ses idées étaient basées sur des hypothèses généralement difficiles à accepter, telles que l'attribution d'une masse à la lumière et la vitesse des ondes de phase dépassant la vitesse de la lumière.

D'autre part, dans l'article de 1923, l'équation $\lambda = h/p$ pour la longueur d'onde λ de l'onde de matière n'était pas présente et cette relation a été introduite dans la thèse de doctorat de de Broglie en 1924.

Dans le dernier chapitre de sa thèse, intitulé "Mécanique statistique et quantique", de Broglie aborde le problème de l'équilibre des gaz en traitant statistiquement les ondes de phase des atomes, en supposant que, tout comme les ondes de phase des électrons se trouvent en état stationnaire à l'intérieur des atomes, les ondes de phase des atomes eux-mêmes doivent être en état stationnaire à l'intérieur du gaz. Il considère

que les conditions de résonance des ondes de phase sont remplies dans un gaz toujours en équilibre, et en ignorant les termes relatifs à la relativité restreinte, il suppose que si la vitesse des molécules *vest* suffisamment faible, la longueur d'onde de ces ondes de phase est $\lambda = c/\beta \times h/m_0c^2 = h/m_0v$ et que les conditions de résonance sont $l = n\lambda = nh/m_0v$ (où n est un nombre entier). Il souligne alors que, comme les longueurs d'onde des ondes stationnaires ne peuvent prendre que des valeurs discrètes, les vitesses moléculaires ne peuvent également prendre que des valeurs discrètes. C'est ainsi que la célèbre formule de la longueur d'onde de de Broglie fait son apparition pour la première fois [10].

2.3 Perception de la théorie des ondes pilotes

En 1926, il a été démontré que la mécanique matricielle de W. Heisenberg (1901-1976) et la mécanique ondulatoire de Schrödinger étaient mathématiquement équivalentes [11], et que les théories de transformation développées par P. Jordan (1902-1998) et P.A.M. Dirac (1902-1984) ont ouvert la voie à la naissance de la mécanique quantique [12]. Lors de la 5ème Conférence Solvay en 1927, un célèbre débat a eu lieu entre Einstein et N. Bohr (1885-1962) concernant l'interprétation de la mécanique quantique [13]. Lors de cette conférence, de Broglie a présenté la théorie des ondes pilotes comme une extension du concept d'ondes de matière [14]. Cependant, cette présentation n'a pas attiré beaucoup d'attention, dans l'ombre de la controverse, et n'a pas suscité de sympathie en dehors d'Einstein [15]. Cette théorie des ondes pilotes, également appelée la théorie de la double solution, est basée sur le même principe de « co-existence des particules et des ondes » que le concept d'ondes de matière de de Broglie. Dans cette théorie, deux types d'ondes émergent en tant que solutions de l'équation de Schrödinger : les ondes (probabilistes), qui représentent la probabilité de trouver les particules, et les ondes singulières, qui agissent comme des singularités représentant les particules elles-mêmes. Les deux phases sont alignées, et l'image est celle d'une particule guidée par l'onde probabiliste. Cependant, dans le cadre de la mécanique quantique, l'interprétation de Copenhague, qui considère la dualité onde-particule comme une complémentarité entre particule et onde, est devenue dominante. C'est pourquoi la théorie des ondes pilotes de de Broglie est désormais perçue comme marginale.

En 1927, la même année que la 5e conférence Solvay, des expériences de diffraction d'électrons ont été réalisées par C. Davisson (1881-1958) et L. Germer (1896-1971) [16], et indépendamment par G. P. Thomson

(1892-1975) [17]. Ces expériences ont confirmé la nature ondulatoire des électrons. Bien que l'existence des ondes de matière ait été reconnue, la théorie de la matière ondulatoire de de Broglie, selon laquelle les particules et les ondes coexistent, a conduit à la disparition de la notion de particules au profit de la seule caractéristique de l'ondulation de la matière.

3 Acceptation de la théorie de de Broglie au Japon

3.1 Thèse de de Broglie

3.1.1 Extrait de Tokio Takeuchi

Le premier abrégé publié de la thèse de de Broglie, soutenu en 1924, a été incluse dans *Recueil de nouvelles mécaniques et de mécanique ondulatoire*, publié en juin 1927 par Tokio Takeuchi (1893-1944) [18]. Ce recueil rassemble des articles sur la mécanique ondulatoire de Schrödinger, la mécanique matricielle de Heisenberg et leur relation, ainsi que les fondements philosophiques de la théorie quantique. Il s'agit d'une compilation d'articles existants plutôt que d'un travail original de Takeuchi. Dans l'introduction, Takeuchi mentionne avoir discuté plusieurs années auparavant dans son livre *Théorie quantique* de la possibilité de fusionner la théorie quantique et la relativité, une idée qui, selon lui, a été réalisée par de Broglie. Ce livre de Takeuchi, *Théorie quantique*, a été publié en 1922, avant la parution des articles sur les ondes de matière de de Broglie [19]. C'était en janvier de la même année, avant la visite d'Einstein au Japon en novembre. Dans l'introduction du livre de Takeuchi, *Théorie quantique*, il est écrit "Dédié au Dr. Einstein lors de sa visite au Japon". Dans cette introduction, Takeuchi déclare que "la théorie quantique, tout comme la théorie de la relativité, est un principe révolutionnaire majeur qui, bien qu'incomplet, trouve déjà de vastes applications directes, ce qui la rend plus cruciale pour nous que la théorie de la relativité". Il mentionne également que, bien qu'il n'y ait pas encore de texte complet sur la théorie quantique au Japon, ce livre, en étant le premier à aborder le sujet, est largement inspiré par *Die Quantentheorie* de Fritz Reiche (1883-1969) [20]. En d'autres termes, le livre "Théorie quantique" de Takeuchi est le premier ouvrage sur la théorie quantique au Japon et il suit en grande partie *Die Quantentheorie* de Reiche. Sur les sept chapitres du livre, le troisième est consacré à "L'hypothèse des quanta de lumière d'Einstein". Il soulève la difficulté selon laquelle, bien que l'audacieuse hypothèse des quanta de lumière proposée par Einstein

en 1905 puisse expliquer l'effet photoélectrique, elle ne peut expliquer les phénomènes d'interférence. En conclusion, il est écrit : "Il faudra attendre le génie futur pour résoudre le grand problème de savoir si le rayonnement se propage également dans l'espace sous forme de particules de lumière, et quel lien étroit existe entre la théorie quantique et la théorie de la relativité. Nous espérons que le jour de cette gloire viendra le plus tôt possible". Dans l'introduction de *Recueil de nouvelles mécaniques et de mécanique ondulatoire*, il est également mentionné que dans son propre livre, il avait discuté de la possibilité de fusionner la théorie quantique et la relativité, un point précisément adressé ici et cela a été réalisé par de Broglie. Et étant donné que dès 1922, Takeuchi espérait la fusion des deux théories, il semble avoir été fortement intéressé par la thèse de de Broglie, qui appliquait la relativité à la théorie quantique pour dériver les ondes de matière.

La tendance de Takeuchi attiré par de Broglie est confirmée par le fait qu'il consacre 10 pages à l'annexe "Fondements de la nouvelle mécanique ondulatoire" au début de *Recueil de nouvelles mécaniques et de mécanique ondulatoire*, pour présenter le contenu de la thèse de de Broglie. Bien que l'article de Schrödinger sur la mécanique ondulatoire ait été publié en janvier 1926, Takeuchi ait détaillé la thèse de de Broglie dans *Recueil de nouvelles mécaniques et de mécanique ondulatoire* même après l'émergence de la mécanique ondulatoire parce qu'il a profondément sympathisé avec le fait que de Broglie ait dérivé les ondes de matière en utilisant la relativité. Il convient de noter que la prononciation du nom de de Broglie était incorrecte, mais cela pourrait être dû à la faible notoriété de de Broglie et à la particularité de la prononciation d'origine noble italienne du nom.

L'annexe "Fondements de la nouvelle mécanique ondulatoire", qui apparaît au début de *Recueil de nouvelles mécaniques et de mécanique ondulatoire*, est le texte de la conférence présentée lors de la 4^{ème} réunion générale de l'Association pour l'éducation physique et chimique des écoles secondaires de Tokyo, qui a eu lieu le 1^{er} mai 1927. Takeuchi commence par considérer la thèse de de Broglie comme la base de la mécanique ondulatoire de Schrödinger, et il apprécie également la théorie des ondes de matière de de Broglie comme comblant les lacunes de la mécanique classique de Newton-Einstein et de la théorie quantique. Il explique ensuite que le contraste entre l'optique géométrique et l'optique physique correspond au contraste entre la mécanique et la mécanique ondulatoire, en avançant l'idée que le principe de Maupertuis dans le

premier cas correspond au principe de Fermat dans le second, ce qui a servi de base à la proposition de de Broglie sur la théorie des ondes de matière.

Ensuite, fidèle à la thèse de de Broglie, il attribue deux énergies, $E = m_0c^2$ de la relativité et $E = h\nu_0$ de la théorie quantique, à une particule de matière de masse m_0 au repos, en supposant qu'elles sont égales $m_0c^2 = h\nu_0$, et en utilisant la relativité, il explique que la particule est accompagnée d'une onde de phase qui se propage plus vite que la vitesse de la lumière. À ce sujet, il ajoute que l'onde de phase n'est pas une vraie onde mais une fausse onde fantôme. De plus, il démontre que la vitesse de groupe de l'onde de phase est égale à la vitesse de la particule, et que les conditions de stabilité de l'orbite de l'électron sont exprimées par des multiples entiers de la longueur de l'onde de phase. En conclusion, il affirme : "Maxwell a considéré la lumière comme un phénomène électromagnétique, plaçant ainsi la lumière et l'électromagnétisme sous le même toit. Maintenant que la matière est également réduite à une forme d'ondes, cela nous donne une grande satisfaction, car la lumière, l'électromagnétisme et la matière sont unifiés sous un seul concept."

Takeuchi a également publié un extrait de la thèse de de Broglie dans le "Journal de la Société japonaise de mathématiques et de physique" (prédécesseur de l'actuel Journal de la Société japonaise de physique), fondé en septembre 1927 [21]. Il a condensé les 100 pages de la thèse en 8 pages, mais le contenu recoupe celui du *Recueil de la nouvelle mécanique et de la théorie des ondes*. L'auteur écrit que l'attribution d'énergies égales à une particule de masse au repos, obtenues respectivement de la relativité et de la mécanique quantique, et que, grâce à la théorie de la relativité, la particule est accompagnée d'onde de phase se propageant à une vitesse supérieure à celle de la lumière, et que la condition selon laquelle la longueur totale de l'orbite de l'électron est un multiple entier de la longueur d'onde de phase dans un état stationnaire. L'analogie entre le principe de Maupertuis en mécanique et le principe de Fermat en optique est traitée.

Tokio Takeuchi appartenait à l'époque à l'École supérieure d'ingénierie de Tokyo (futur Université de technologie de Tokyo) et participait également aux séminaires du laboratoire de physique chimique, RIKEN. Plus tard, Kohji Fushimi (1909-2008) se souvenait ainsi de Takeuchi : "M.Takeuchi était quelqu'un qui intégrait très rapidement les nouvelles publications. À cette époque, les journalistes scientifiques se précipitaient chez lui dès qu'une nouveauté se présentait. Le nom de M.

Takeuchi apparaissait presque toutes les semaines dans les journaux" [22]. En effet, Takeuchi fournissait de nombreux articles scientifiques, principalement au journal Yomiuri Shimbun [23]. Malgré ses diverses réalisations en tant que physicien, le Yomiuri Shimbun, dans son annonce nécrologique, le décrivait comme "le Professeur Takeuchi, connu en tant que journaliste". Il était donc plus connu en tant que journaliste scientifique que comme physicien [24]. De plus, en 1941, Takeuchi s'est également fait connaître par l'incident du sel artificiellement radioactif [25]. En 1936, il avait publié un article décrivant la production de substances radioactives en irradiant du sel avec des rayons gamma, et en avril 1941, il avait obtenu un brevet pour du sel artificiellement radioactif. Cependant, Yoshio Nishina (1890-1951) du RIKEN ont déposé une objection, et en juin 1941, lors d'une réunion de la Société japonaise de mathématiques et de physique, une discussion a eu lieu, aboutissant finalement à la reconnaissance par Takeuchi de son erreur et au retrait de son brevet. Cet incident est devenu l'affaire du sel artificiellement radioactif, et les détails ont été publiés dans les versions du soir du Yomiuri Shimbun les 12 et du 13 juin 1941 [26]. Takeuchi, grâce à des ouvrages tels que *Recueil de la nouvelle mécanique et de la théorie des ondes*, a été l'un des premiers à introduire la mécanique quantique au Japon, inspirant ainsi de jeunes étudiants en physique et exerçant en tant que journaliste scientifique, jusqu'à sa mort, à l'âge de 51 ans en 1944, des suites d'une carie de la moelle épinière.

3.1.2 *Recueil de documents en physique, premier volume*

La thèse de de Broglie a également été abrégée dans le *Recueil de documents en physique, premier volume*, édité par l'Iwanami Shoten en août 1927, avec une sélection traduite par Kamekichi Shiba (1897-1995) [27]. Le document de 100 pages de la thèse de de Broglie a été résumé en 42 pages, comprenant l'introduction, les chapitres 1 à 7 et des ajouts. Plus précisément, en suivant la thèse de de Broglie, le résumé commence par l'introduction, le chapitre 1 traitant de l'onde de phase, le chapitre 2 abordant le principe de Maupertuis et le principe de Fermat, et le chapitre 3 expliquant les conditions quantiques de stabilité des orbites. Ensuite, le chapitre 4, intitulé "Diverses applications de nouvelles idées", résume les sections sur les quanta de lumière du chapitre 5, la diffusion des rayons X et du chapitre 6, et la mécanique statistique et les quanta du chapitre 7 de la thèse de de Broglie, ainsi que les ajouts sur les quanta

de lumière. Ainsi, la sélection publiée dans le "*Recueil de documents en physique, premier volume*" permet de comprendre l'ensemble de la thèse de de Broglie.

Le *Recueil de documents en physique, premier volume*, contient, en plus de la thèse de de Broglie, d'autres articles sur la mécanique quantique, notamment le deuxième article sur la mécanique ondulatoire de Schrödinger [28], la théorie des perturbations en mécanique ondulatoire [29], les fondements de la nouvelle mécanique quantique de W. Heisenberg [30], la mécanique quantique matricielle de M. Born & P. Jordan [31], et la mécanique par l'algèbre quantique de P.A.M. Dirac [32]. Hideki Yukawa (1907-1981), Shinichiro Tomonaga (1906-1979), ainsi que leurs aînés Sotohiko Nishida et Matsuhei Tamura (1904-1994), qui ont intégré l'Université impériale de Kyoto en 1926, ont étudié la mécanique quantique en lisant les ouvrages originaux [33]. Dans la région de Tokyo également, un "cercle d'études en physique" a été fondé en mars 1926, principalement par de jeunes chercheurs tels que Uzumi Doi (1895-1945), Masamichi Kanamitsu, Kamekichi Shiba, Akira Suzuki, Ukichiro Nakaya (1900-1962) et Yoshio Fujioka (1903-1976). Bien que de nombreux membres aient été affiliés à RIKEN, le cercle était une initiative indépendante de l'institution et la première réunion a probablement eu lieu le 18 mars 1926. Les participants à ce cercle d'études en histoire de la physique sont ceux qui ont publié le *Recueil de documents en physique, premier volume* [34].

Dans la préface, du "*Recueil de documents en physique, premier volume*", il est écrit : "Le nombre de rapports de recherche publiés chaque mois dans la littérature physique est extrêmement important, avec environ 200 à 300 rapports apparaissant dans Science Abstracts et Physikalische Berichte. Même en sélectionnant ceux qui sont pertinents pour les étudiants spécialisés, on n'en trouve pas moins de dix, de sorte qu'il n'est pas facile de les lire attentivement. Comme une méthode pour surmonter cette difficulté, des groupes de quelques personnes se sont réunis chaque semaine pour organiser des séminaires sur les articles et en discuter, et ce livre est une version imprimée de ces réunions. Il est difficile de déterminer quels articles sont les plus importants, mais en général, de nombreux articles, traitant principalement des travaux théoriques récents sur la physique des atomes et des molécules, ont été sélectionnés".

Selon une interview avec Akira Suzuki, participant à un séminaire sur la physique, il n'était pas nécessairement motivé par la mécanique quantique pour créer le séminaire d'histoire de la physique [35]. En

fait, dans l'introduction du *Recueil de documents en physique, deuxième volume* publié en 1928 [36], il a écrit : "Dans le premier volume, les questions principalement liés à la physique atomique et moléculaire ont été résumés, mais cela était dû à l'émergence de la nouvelle mécanique. Bien que de nouveaux articles dans ce domaine continuent à paraître les uns après les autres, il semble qu'une certaine stabilité ait été atteinte, de sorte que le deuxième volume traite de domaines plus vastes". Dans ce deuxième volume, seul l'article de Born sur le principe adiabatique est publié en tant qu'article sur la mécanique quantique [37].

Les ouvrages de Takeuchi, *Recueil d'essais sur la nouvelle mécanique et la théorie des ondes* et *Recueil de documents en physique, premier volume*, ont été publiés en 1927, et la même année le *Journal de la Société de mathématiques et de physique du Japon* a été publié pour la première fois. L'année 1927, au cours de laquelle les articles de de Broglie ont été traduits dans ces ouvrages et revues, a été une période où les physiciens japonais de l'époque ont activement lu et traduit des documents fondamentaux sur la mécanique quantique, marquant ainsi le début de leur publication. Dans une interview ultérieure, Kanetaka Ariyama (1904-1992), diplômé de l'Université impériale de Tokyo en 1928, a rappelé qu'il n'y avait pas de cours sur la mécanique quantique pendant ses études universitaires, et Toshinosuke Muto (1904-1973) a déclaré dans ses mémoires qu'à l'époque, il n'y avait pas de manuels systématiques sur la nouvelle mécanique quantique. D'autre part, Masao Kotani (1906-1993), qui était un an plus jeune, se souvient avoir lu des documents sur la mécanique quantique [38]. D'après ces déclarations, on peut considérer que les extraits traduits des articles de de Broglie publiés dans *Recueil d'essais sur la nouvelle mécanique et la théorie des ondes*, *Journal de la Société de mathématiques et de physique du Japon* et *Recueil de documents en physique, premier volume* en 1927 ont été, comme d'autres articles liés à la mécanique quantique, largement lus, en particulier par de jeunes physiciens de l'époque, et ont contribué à la diffusion de la mécanique quantique.

3.2 Introduction à l'étude de la Mécanique ondulatoire

3.2.1 Mécanique ondulatoire et de Broglie

En 1928, le livre de de Broglie intitulé *La mécanique ondulatoire* a été publié par Gauthier-Villars, mais il n'a pas été traduit en japonais à l'époque [39]. En revanche, *Introduction à l'étude de la Mécanique on-*

dulatoire publié par Hermann en 1930 [40], a été traduit en japonais par Satoshi Watanabe (1910-1993) sous le titre *Introduction à l'étude de la Mécanique ondulatoire*, publié par Iwanami Shoten en 1934 [41]. Une traduction en anglais et en allemand de cet ouvrage a également été publiée, et le prix Nobel de physique décerné à de Broglie en 1929 a rehaussé sa notoriété, ce qui serait l'une des raisons pour lesquelles le livre a été traduit en langues étrangères.

La thèse de de Broglie était une traduction abrégée, mais *Introduction à l'étude de la Mécanique ondulatoire* a été fidèlement traduit de l'introduction jusqu'au 19ème chapitre, ce qui en fait le premier livre de de Broglie à être entièrement traduit. Cela permet de lire avec précision les pensées de de Broglie sur la mécanique ondulatoire à l'époque.

Ce livre commence par expliquer la théorie de Hamilton-Jacobi de la mécanique classique ainsi que la propagation et la dispersion des ondes, comme bases théoriques pour comprendre la mécanique ondulatoire. Ensuite, il aborde la relation entre la mécanique classique et la mécanique ondulatoire, ainsi que les expériences de diffraction des électrons. Il développe ensuite sa propre théorie des ondes pilotes, dans laquelle les particules sont accompagnées d'ondes et les particules sont guidées par des ondes, ainsi que la mécanique ondulatoire des particules de lumière dans laquelle les particules de lumière sont accompagnées par des ondes. D'autre part, il présente les théories de la mécanique quantique de Heisenberg et de Bohr, et mentionne des objections d'Einstein à celles-ci. Enfin, il démontre comment la quantification de la mécanique ondulatoire peut résoudre les problèmes de la mécanique quantique classique, et explique la relation entre la mécanique ondulatoire et la mécanique quantique de Heisenberg. Bien que ce livre soit une introduction à la mécanique ondulatoire, il offre un commentaire original sur le sujet grâce aux interprétations uniques de de Broglie, telles que sa théorie des ondes pilotes et la théorie ondulatoire des particules de lumière, et ainsi qu'une analogie similaire à celle de la thèse de de Broglie, dans laquelle la relation entre l'optique géométrique et l'optique ondulatoire correspond à la relation entre la mécanique classique et la mécanique ondulatoire.

De plus, l'introduction de ce livre offre un aperçu du point de vue de de Broglie sur la mécanique quantique de son époque. Selon de Broglie, l'hypothèse des quanta de lumière d'Einstein pour expliquer l'effet photoélectrique a conduit à reconnaître la nature particulière de la lumière, mais cela a soulevé la question de la dualité particule-onde de la lumière. De manière similaire, l'introduction par de Broglie de la nature ondu-

toire de la matière a également soulevé la question de la dualité de la matière, en particulier avec les phénomènes de diffraction des électrons. En 1927, avec l'introduction de la mécanique ondulatoire de Schrödinger, les particules, ou les électrons, étaient considérés comme des paquets d'ondes superposées, mais cela signifiait que la notion de particules en tant que telles étaient obscurcie. Ainsi, lors de la 5ème Conférence Solvay en 1928, de Broglie a proposé l'introduction de l'onde pilote, suggérant que les singularités des ondes de phase étaient en fait des particules, mais il n'a pas réussi à obtenir une équation d'onde satisfaisante. En revanche, la question de la dualité particule-onde était largement traitée par le principe d'incertitude de Heisenberg et l'interprétation de la complémentarité de N. Bohr, où l'image classique des particules était en fait éclipsée. De Broglie conclut que, malgré l'avènement de la mécanique quantique, la question de la dualité particule-onde reste enveloppée de mystère. De cette manière, de Broglie ne croyait pas que la mécanique quantique, même avec l'interprétation de Heisenberg et de Bohr, avait résolu le problème de la dualité particule-onde [42], et il maintenait que l'interprétation de la mécanique quantique était incomplète [43].

3.2.2 Satoshi Watanabe et de Broglie

Introduction à l'étude de la Mécanique ondulatoire était un ouvrage explicatif sur la mécanique ondulatoire écrit d'un point de vue différent de celui des physiciens allemands et de Copenhague, qui étaient au cœur de la recherche en mécanique quantique. Le traducteur Watanabe a souligné ce point et a exprimé l'importance de la traduction dans les notes du traducteur comme suit :

"En observant l'évolution de la communauté scientifique japonaise jusqu'à aujourd'hui, on peut constater une tendance à la prédominance de la physique allemande. La clarté de la physique française a été négligée face à la robustesse de la physique allemande. L'approche intuitive et directe de la physique française n'a pas été aussi répandue que la logique complexe de la physique allemande."

Bien que reconnaissant que la physique allemande, solide et systématique, était plus naturellement favorisée que la physique française, intuitive et imaginative, Watanabe estimait que la mentalité japonaise était plutôt proche de la physique française. C'est pourquoi il entreprit la traduction des ouvrages du physicien français de Broglie, espérant ainsi contribuer au développement de la physique japonaise. Cependant,

Watanabe n'acceptait pas toute la théorie de de Broglie ; il exprimait des doutes, en particulier sur le point où de Broglie traitait les photons et les particules de matière sur un pied d'égalité, affirmant que la véritable mécanique ondulatoire des photons était encore en cours d'élaboration.

Watanabe a toujours été intéressé par la recherche à l'étranger depuis ses années de lycée. Il avait lu *Recueil d'essais sur la nouvelle mécanique et la théorie des ondes* de Tokio Takeuchi et était également compétent en langues. Pendant ses études à la Faculté des Sciences de l'Université impériale de Tokyo, il fréquentait l'Alliance française pour perfectionner son français [44]. En 1933, après avoir obtenu son diplôme universitaire, il est parti pour étudier à Paris avec une bourse du gouvernement français, sous la tutelle de de Broglie. La raison de son séjour en France semble avoir été, comme il l'a écrit dans les notes de traduction d'*Introduction à l'étude de la Mécanique ondulatoire*, son attirance pour la simplicité intuitive de la physique française. De plus, depuis ses années à l'université de Tokyo, il avait été sous la direction de Torahiko Terada au RIKEN, ce qui aurait également eu une influence sur lui. Terada est surtout connu pour ses travaux sur la diffraction des rayons X, mais il a également étudié des phénomènes familiers de la vie quotidienne et, en 1931, il a publié un article sur les fractures [45]. Stimulé par ses recherches, Watanabe a également écrit un article sur les fissures en 1934 [46]. En 1929, Terada avait publié un essai intitulé "Lucrèce et la science" dans la série des *principaux courants de pensée dans le monde* de la collection Iwanami, dans lequel il fait l'éloge du poète et théoricien atomiste romain Lucrèce [47]. Dans cet essai, Terada établissait une classification des scientifiques en deux catégories.

"Il y a ceux qui sont très sensibles aux suggestions et ceux qui sont insensibles. Il est bien connu que les esprits analytiques et classiques appartiennent souvent à la seconde catégorie, tandis que les érudits de type géométrique et romantique appartiennent à la première." "Il n'est guère nécessaire de souligner le fait que la plupart des nouvelles idées ou théories révolutionnaires qui ont apporté quelque avancée dans la science sont fondées sur l'intuition des esprits brillants. Malgré cela, un certain académisme étroit, qui était courant autrefois comme aujourd'hui, montre une tendance à mépriser ou à éviter sans discernement l'intuition elle-même. Cette tendance ne se limite pas au Japon ou à l'Allemagne, car certains chercheurs américains ont également vivement discuté de ce sujet. C'est un préjugé suicidaire pour la science." De plus, Terada affirme que la théorie de la relativité et la mécanique ondulatoire

ne sont pas uniquement le produit d'un raisonnement ou d'une analyse sans intuition. Il soutient que même Einstein et de Broglie ont trouvé de nouvelles voies grâce à leur intuition.

Le terme "type géométrique et romantique" utilisé ici se réfère à ceux qui valorisent l'intuition, en accord avec la vision intuitive, directe et visionnaire de la physique française mentionnée par Watanabe dans sa préface à la traduction de *Introduction à l'étude de la Mécanique ondulatoire*. D'autre part, "l'esprit analytique et classique" désigne probablement la physique allemande, réputée pour sa solidité, sa rigueur et son caractère systématique. Le fait que Terada, le mentor de Watanabe, ait critiqué le style académique japonais et allemand, en soulignant que de Broglie représentait un type de physicien différent, a probablement été l'une des motivations de Watanabe pour entreprendre des études en France.

Après ses études en France, Watanabe a rapidement présenté une synthèse intitulée "Photon et mécanique ondulatoire" dans le numéro de 1934 du *Journal de la Société mathématique et physique du Japon* [48], dans lequel il a publié une traduction et une explication des extraits des articles d'Al. Proca (1897-1955) "Sur les particules qu'on peut associer à la propagation d'une onde de lumière" [49] et de Broglie "Sur la nature du photon" [50]. Dans cet article, de Broglie a considéré le photon comme un système composite de neutrinos et d'antineutrinos, et a dérivé l'équation d'onde du photon, en attribuant une masse minuscule aux particules de lumière, tout comme dans sa thèse. Dans la préface de la traduction de *Introduction à l'étude de la Mécanique ondulatoire*, Watanabe avait exprimé des doutes quant à la façon dont de Broglie traitait les photons et les particules de matière sur un pied d'égalité. Cependant, dans l'explication de l'article de de Broglie publiée dans le *Journal de la Société mathématique et physique du Japon* en 1934, il a noté que l'article de de Broglie se distinguait clairement de nombreux autres articles de ce type jusqu'à présent, en abordant habilement de nombreuses difficultés et en proposant des réflexions très intéressantes.

Watanabe, en 1935, a également publié *Le deuxième théorème de la Thermodynamique et la Mécanique ondulatoire* chez Herman [51]. Ce contenu explorait la relation entre la thermodynamique et la mécanique quantique. La préface était rédigée par de Broglie lui-même, qui le qualifiait de "théorie délicate, belle et logique d'un jeune savant japonais".

Watanabe a quitté la France pour l'Allemagne en 1937 afin d'étudier la théorie des noyaux atomiques sous la direction de Heisenberg à Leipzig.

Lorsque la Seconde Guerre mondiale éclate en 1939, il séjourne chez Bohr à Copenhague avant de retourner au Japon en décembre de la même année [52]. Watanabe n'est resté en France que quatre ans, de 1933 à 1937, alors que de nombreux jeunes physiciens prometteurs étudiaient en Allemagne ou au Danemark, les foyers de la mécanique quantique. Watanabe, qui faisait partie de la minorité ayant étudié en France, a contribué à transmettre au Japon la recherche française en mécanique quantique, principalement autour de de Broglie [53].

3.3 la théorie de de Broglie dans les années 1950

3.4 Le retournement de de Broglie

En 1952, année du sixantième anniversaire de de Broglie, David Bohm (1917-1992) a présenté l'interprétation causale sur la mécanique quantique [54], en opposition à celle de Copenhague, de Broglie ayant déjà développé la théorie de l'onde pilote. De ce fait, de Broglie est revenu sur sa théorie de 1927 et, avec l'équation non linéaire, a essayé de traiter la transition quantique comme un processus physique réel. C'est-à-dire qu'il est revenu à ses idées quand il a proposé la théorie des ondes de matière : le corpuscule doit rester en phase avec une onde qui l'environne, l'accord des phases impliquant une relation bien définie entre la propagation de l'onde et le mouvement du corpuscule. Il a ainsi proposé une conception claire dans l'espace-temps de la réalité physique qui soit indépendante de l'observateur [55].

G.Lochak, qui était un des plus proches collaborateurs de de Broglie a dit que de Broglie restait isolé depuis le retour à son ancienne interprétation. Pourtant, à son séminaire, ouvert en 1931 à l'institut Henri Poincaré, depuis que de Broglie est revenu à son ancienne théorie, Bohm et Takehiko Takabayashi (1919-1999) ont assisté à ses séminaires.

3.4.1 *Takehiko Takabayashi et de Broglie*

Takabayashi a travaillé à la même université de Nagoya que Shoichi Sakata (1911-1970), co-auteur de l'article sur la théorie des mésons d'Yukawa, qui a reçu le prix Nobel de physique. Selon Tadashi Tanaka (1928-2019), qui étudiait à l'université de Nagoya à l'époque [56], Takabayashi était connu un solitaire remarquable comme physicien ainsi qu'il avait déjà publié un livre marquant de l'histoire de la thermodynamique en 1948 [57].

En 1956-59, Takabayashi a assisté au séminaire de Broglie à l'Institut Poincaré comme un membre de la section de physique théorique du CNRS, ayant beaucoup discuté avec Bohm et de J.P. Vigié (1920-2004). En décembre 1956, Takabayashi a envoyé une lettre à Sakata, dans laquelle il a écrit sur le séminaire de de Broglie comme suit [58].

De Broglie est considéré comme un personnage très timide, ce qui semble avoir influencé l'état général de la recherche en physique à l'Institut Poincaré. D'une manière générale, la physique théorique y semble moins sauvage. Cette tendance semble se retrouver dans d'autres genres culturels en France, par exemple dans le domaine de l'art et de la littérature, où l'on ne produit plus que des œuvres habilement assemblées. Il me semble que des gens autour de de Broglie sont divisés entre une tendance extrêmement formaliste et une tendance extrêmement réaliste si bien que tous les deux sont loin de la physique. Bohm et Vigié sont les plus sauvages. Il y a environ 10 personnes dans le groupe de Vigié, et je suis un peu surpris car la plupart d'eux travaillent sur mes études de structure hydrodynamique. Bohm et Vigié tentent de faire avancer cet hydrodynamique vers une sorte de monisme de champ. Cela conduit à considérer les particules élémentaires en termes de modèles de gouttelettes déformables mais il semble qu'il ne soit pas aussi facile de l'exprimer qu'ils le pensent.

Dans "Journal de Paris" de son livre *Fondateurs de la physique moderne* publié en 1988 [59] et dans "Séjour à Paris" de son livre *Variété*, publié en 1998 [60], Takabayashi se souvient qu'il a eu une discussion animée avec les gens de l'Institut Poincaré particulièrement avec Bohm et Vigié. Il écrit : "Bohm n'est pas très précis dans ce qu'il dit, alors je lui ai demandé What do you mean ? à plusieurs reprises", "La traduction française par Vigié de mes présentations en anglais me dérange car il ajoute toujours tant de choses qui ne sont pas nécessaires".

Quant à de Broglie, il le décrit ainsi : "Il a l'air extrêmement innocent, comme s'il avait perdu le sens du monde. Dans le débat, la question de de Broglie est la plus pertinente. Gentil avec des lignes fines et ne formait pas une école très forte. Contrairement à Joliot, de Broglie était un homme seigneurial et réticent. Il a repensé à l'interprétation causale de la mécanique quantique, mais son idée ne s'est pas encore suffisamment concrétisée, notamment en raison de difficultés mathématiques".

D'autre part, en ce qui concerne l'impression de Takabayashi à l'époque, Lochak a déclaré que Takabayashi semblait timide mais j'ai été surpris par ses grandes capacités de calcul [61].

Après son retour au Japon, Takabayashi a traduit le livre *Quanta, grains et champs* de Lochak et Andrade e Silva, disciples de de Broglie, publié par Hachette en 1969, et publié une version japonaise de ce livre en 1970 [62]. Cela a conduit à faire connaître l'idée de l'école de de Broglie au Japon qui donnait une tentative de nouvelle interprétation de la mécanique ondulatoire. En outre, dans l'édition de 1972 de la traduction japonaise de *Matière et Lumière*, livre de de Broglie publié chez Albin Michel en 1937 [63], Takabayashi a écrit un commentaire détaillé sur la théorie de l'onde de matière de de Broglie et sur son travail.

C'est également Takabayashi qui a rédigé un article commémoratif pour de Broglie dans le *Journal de la société physique du Japon* lorsque de Broglie est décédé en 1987. Takabayashi y a écrit l'importance des travaux de de Broglie ci-dessous [64].

Assez jeune, de Broglie découvrit l'aspect ondulatoire de la matière dans sa simplicité et son ingéniosité. Plus la mécanique quantique progressait, plus la description initiale de l'onde qui était intuitive, s'éloignait de son idée originale, et elle se changea en un vecteur d'état 'ket' assez abstrait. Son idée d'onde matière s'écarta de sa conception principale avec le progrès de la mécanique quantique. Après avoir subi 'la 2ème quantification' elle se lia avec la théorie des quanta dans la théorie des champs, et devint la base de la théorie des particules élémentaires dans les années 1930. Pourtant une conception dans laquelle on considère l'onde matière comme la substance physique pouvait s'appliquer au système de la condensation de Bose-Einstein, et devenir effective pour la description des superfluides et supraconducteurs. Quant aux efforts que de Broglie fit à la fin de sa vie pour l'interprétation réaliste, ils n'aboutirent pas mais ils l'imposèrent à un niveau international pour reconsidérer les bases de la mécanique quantique, surtout à propos des paramètres cachés et des problèmes d'observation. Cette attitude s'est perpétuée jusqu'aujourd'hui.

Takabayashi n'était pas seulement un grand physicien, il était également impliqué dans l'étude de l'histoire des sciences. Outre *Histoire de la thermodynamique* mentionnée ci-dessus, il a publié *Histoire du développement de la théorie quantique* en 1977 [65] et *Fondateur de la physique moderne* en 1988. Takabayashi, qui a assisté aux séminaires de de Broglie et connaissait la théorie de ce dernier, a décrit le travail de de Broglie dans le cadre de l'histoire de la mécanique quantique. Ces livres ont contribué d'une manière significative à faire comprendre l'importance de

la théorie de de Broglie dans l'histoire des sciences.

4 Conclusion

La théorie de l'onde de matière, initialement proposée par de Broglie en 1923 et détaillée dans sa thèse de doctorat de 1924, envisageait la lumière comme ayant une masse minuscule, en la considérant comme des atomes de lumière et attribuant des ondes de phase à la fois aux atomes de lumière et aux particules de matière. Cependant, cette idée, à l'origine de la mécanique ondulatoire de Schrödinger, n'a pas attiré beaucoup d'attention lors de sa présentation par de Broglie, lors de la 5ème Conférence Solvay en 1927, malgré sa proposition des ondes pilotes, une extension de cette théorie.

À partir de 1927, des traductions complètes d'articles sur la mécanique quantique ont commencé à être publiées au Japon, et l'abrégé de la thèse de de Broglie en faisait partie, de sorte que son contenu a été lu par de nombreux physiciens japonais de l'époque. Parmi ces physiciens japonais, Tokio Takeuchi se démarque. Il a publié pour la première fois en 1927 une traduction abrégée de la thèse de de Broglie, il attendait depuis 1922 une théorie qui unirait la relativité et la théorie quantique. Il a donc fortement sympathisé avec l'approche de la thèse de de Broglie, et même après l'avènement de la mécanique ondulatoire, il a consacré dix pages à la présentation du contenu de la thèse de de Broglie au début de son livre *"Recueil d'essais sur la nouvelle mécanique et la théorie des ondes"*. Depuis ses années de lycée, Satoshi Watanabe, qui lisait *"Recueil d'essais sur la nouvelle mécanique et la théorie des ondes"* de Takeuchi, a été l'élève de Torahiko Terada pendant ses études universitaires. Après avoir obtenu son diplôme universitaire, Satoshi Watanabe est parti en France en 1933 et a étudié sous la direction de de Broglie jusqu'en 1937. Pendant ses études en France, Watanabe a publié une traduction japonaise de *"Introduction à l'étude de la Mécanique ondulatoire"* de de Broglie, dans laquelle il note que, à l'époque, le monde de la physique au Japon avait une tendance à favoriser la physique allemande, en oubliant la simplicité de la physique française. Watanabe a publié la première traduction complète des œuvres de de Broglie au Japon dans le but de compléter cette tendance, basée sur sa conviction que la nature japonaise était plus proche de la physique française, caractérisée par son intuition et ses sauts conceptuels.

Après la 5ème Conférence de Solvay en 1927, bien que de Broglie ait reçu le prix Nobel de physique en 1929, sa théorie originale des ondes

de matière n'a jamais été vraiment mise en lumière. Cependant, au Japon où les articles relatifs à la mécanique quantique ont commencé à être traduits et publiés à partir de 1927, la mécanique quantique, des extraits de la thèse de de Broglie ont été lus, considérant de Broglie comme un pionnier de la mécanique ondulatoire. De plus, grâce à des partisans fervents comme Tokio Takeuchi et Satoshi Watanabe, la théorie des ondes de matière de de Broglie a été largement diffusée au Japon.

Même après que de Broglie soit revenu à ses anciennes théories sur l'interprétation de la mécanique quantique dans les années 1950, Takehiko Takabayashi, qui a assisté aux séminaires de de Broglie, a traduit les livres des étudiants de de Broglie *Quanta, grains et champs* et a introduit les recherches de l'école de Broglie au Japon. Takabayashi a traité la théorie de Broglie en détail dans ses ouvrages sur l'histoire de la mécanique quantique et lui a attribué une possibilité de réexaminer les fondements de la mécanique quantique. Il est généralement admis que de Broglie a été internationalement isolé en raison de sa critique de l'interprétation de Copenhague concernant la mécanique quantique. Pendant ce temps, au Japon, les travaux de Takabayash ont contribué à la compréhension approfondie de la théorie de Broglie.

5 Références et notes

[1] Cet article est basé en partie sur l'article suivant publié dans une revue au Japon, complétés par l'influence de Torahiko Terada sur Satoshi Watanabe, la contribution de Takehiko Takabayashi.

C.Kojima: "The Acceptance of de Broglie's Matter Wave Theory in Japan", *Historia Scientiarum*, Vol.29, No.3 (2020)pp.260-279.

[2] L.de Broglie: "Ondes et quanta", *Comptes Rendus*, vol.177, (1923) pp.507-510.

[3] L.de Broglie: "Recherches sur la théorie des quanta", *Ann.de Phys.*, (10) **3**, (1925)pp.34-35.

[4] De Broglie a déclaré plus tard que sa véritable idée de la mécanique ondulatoire était la loi de coïncidence de phase.L.de Broglie: *Recherches d'un demie-siècle*, Albin Michel (1976)pp.63-68.

[5] L. de Broglie : "Quanta de lumière, diffraction et interférences", *Comptes Rendus*, **177**(1923)pp.548-550.

[6] L. de Broglie : "Rayonnement noir et quanta de lumière", *Journal de Physique*, série VI,t.III. (1922) pp.422-428.

[7] L.de Broglie: "Waves and Quanta", *Nature*, No.2815, Vol.112 (1923) p.540.

[8] L.de Broglie:“Les quanta, la théorie cinétique des gaz et le principe de Fermat”, *Comptes Rendus*, vol.177, (1923)pp.630-632.

[9] L. de Broglie : “A tentative theory of light quanta ”, *Philosophical Magazine*, XLVII, (1924) pp.446-458.

[10] référence 5, p.111.

[11] E. Schrödinger:“Über das Verhältnis der Heisenberg-Born-Jordanschen Quantenmechanik zu der meinen”, *Ann.d.Phys.*, (4), vol.79, (1926) pp.734-756.

[12] PA. M. Dirac: “The Physical Interpretation of the Quantum Dynamics”, *Proc.Roy.Soc.*113A,(1926) pp.621-641., P.Jordan: “Über eine neue Begründung der Quantenmechanik”, *Zeits. f.Phys.*vol.40 (1927) pp.809-838.

[13] N. Bohr : “Discussion with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics”, dans le livre P.A. Schilpp (ed.), *The Library of Living Philosophers, Volume 7. A.Einstein: Philosopher-Scientist*. Open Court (1949) pp.199-241.

M.Kumar: *Quantum : Einstein, Bohr, and the great debate about the nature of reality*, W.W. Norton (2011)

[14] L.de Broglie: “Nouvelle dynamique des quanta”, *Rapport au V^e Conseil de Physique Solvay*, Gauthier-Villars (1928) pp.105-141.

[15] L.de Broglie: *Nouvelle perspectives en microphysique*, Albin Michel (1956)pp.232-237.

[16] C.Davisson, L.H.Germer: “The Scattering of Electrons by a Single Crystal of Nickel ”, *Nature*, vol. 119, (1927) pp.558-560.

[17] G.P.Thomson, A.Reid: “Diffraction of cathode rays by a thin film”, *Nature*, vol.119, (1927)p.802.

[18] T.Takeuchi *Recueil d'essais sur la nouvelle mécanique et la théorie des ondes*, Edition Daitouzou, (1927)

[19] T. Takeuchi *Théorie quantique*, Uchida Rokakuho, (1922)

[20] F. Reiche : *Die Quantentheorie*, Springer (1921)

[21] L, de Broglie, traduit par T. Takeuchi : “Recherches sur la théorie des quanta”, *Journal de la Société mathématique et physique du Japon*, vol. 1 (1927) pp.98-106.

[22] L, de Broglie, traduit par Tokio Takeuchi “Recherches sur la théorie des quanta”, *Journal de la Société mathématique et physique du Japon*, vol. 1 (1927) pp.98-106.

[23] Quatre-vingt-dix articles ont été publiés dans le seul *Yomiuri Shimbun* entre 1927 et 1941.

[24] “Décès de M. Tokio Takeuchi”, *le Yomiuri Shimbun*, Edition du Matin, 27 avril 1944, p.2.

- [25] K. Ito : “Tokio Takeuchi et l’incident du sel radioactif artificiel: le premier scandale scientifique du début des années 1940”, *Journal de l’histoire des sciences*, Vol.57, No.288(2019) pp.266-282.
- [26] “Rayonnement artificiel du radium : Sur la controverse entre Riken et Professeur Takeuchi : première moitié”, *le Yomiuri Shimbun*, édition du soir, le 12 juin 1941, p.3., “Rayonnement artificiel du radium : Sur la controverse entre Riken et Professeur Takeuchi : deuxième moitié”, *le Yomiuri Shimbun*, édition du soir, le 13 juin 1941, p.3.,
- [27] L. de Broglie, traduit par K. Shiba “Recherches sur la théorie des quanta”, *Bibliographie de la physique*, 1ère série, Iwanami Shoten, (1927) pp.41-82.
- [28] E.Schrödinger:“Quantisierrung als Eigenwertproblem.II.”, *Ann.d.Phys.*, (4),vol.79, (1926) pp.489-527. , traduit par M. Kiuchi Les phases de la matière quantique en tant que problème de valeurs propres (deuxième rapport), *Bibliographie de la physique*, 1ère série, Iwanami Shoten, (1927), pp.82-91.
- [29] E. Schrödinger:“Quantisierung als Eigenwertproblem”,*Ann.d.Phys.*,(4), vol.80,(1926) pp.437-49. Traduit par A. Suzuki:“Théorie des perturbations en mécanique ondulatoire”, *Bibliographie de la physique*, 1ère série, Iwanami Shoten, (1927) pp.92-104.
- [30] W.Heisenberg: “Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen”, *Zeits. f. Phys.*, vol.33, (1925) pp.879-893. Traduit par Y. Fujioka “Fondements de la nouvelle mécanique quantique”, *Bibliographie de la physique*, 1ère série, Iwanami Shoten, (1927), pp.105-117.
- [31] M. Born, P.Jordan: “ Quantenmechanik”, *Zeits.f. Phys.*,vol.34, (1925)pp.858-888. Traduit par M. Kanemitsu : “Mécanique quantique basée sur les matrices”, *Bibliographie de la physique*, 1ère série, Iwanami Shoten, (1927), pp.118-143.
- [32] P.A.M. Dirac “ The Fundamental Equations of Quantum Mechanics”, *Proc of Roy.Soc.A*.Vol 109,(1925) pp.642-653., “Quantum Mechanics and a Preliminary Investigation of the Hydrogen Atom”, *Proc of Roy.Soc.A*.Vol 110,(1926) pp.561-579. Traduit par Y. Fujioka “Dynamique par algèbre quantique”, *Bibliographie de la physique*, 1ère série, Iwanami Shoten, (1927), pp.144-184.
- [33] K. Ito: ‘Les nouveaux vents menés par la mécanique quantique’, *Journal de la Société physique du Japon*, vol. 71, n° 8, (2016) p. 559.
- [34] A. Katsuki: *A l’aube de la mécanique quantique*, Seirinsha (1991) pp.17-21.
- [35] *ibid.*, p.19.
- [36] *Bibliographie de la physique*, 2ème série, Iwanami Shoten, (1928)
- [37] M. Born: “Das Adiabatenprinzip in der Quantenmechanik”, *Zeits.f. Phys.*,vol.34, (1925) vol.40, (1926) pp.167-192. Traduit par A. Suzuki “Sur les principes d’isolation (notamment la théorie de Born) ”, *Bibliographie de la physique*, 2ème série, Iwanami Shoten, (1928)pp.291-314.

- [38] A. Katsuki : "Prologue à l'étude et à la collecte de matériel sur l'histoire de la physique", *JPSJ* vol.37, No.8, (1982) p.652.
- [39] L. de Broglie: *La mécanique ondulatoire*, Gauthier-Villars (1928)
- [40] L. de Broglie: *L'introduction à l'étude de la mécanique ondulatoire*, Hermann (1930)
- [41] S. Watanabe : *Introduction aux méthodes de la mécanique ondulatoire*, Iwanami Shoten, (1934)
- [42] J.L. Andrade e Silva, G. Lochak : *Quanta, grains et champs*, Hachette (1969)
- [43] T. Takabayashi *Fondateurs de la physique modern*, Misuzu Shobo, (1988) pp.227-243.
- [44] K. Fushimi : "Décès de Satoshi Watanabe, qui a rédigé le manifeste du parti atomique", *Lynex Lyceum Agency*, No.25 (1994) pp.1-9.
- [45] T.Terada : "On the Cracks and Fissures", *Sc.Pap.J.P.C.R.* Vol.16 (1931)p.159.
- [46] S. Watanabe : "À propos des fissures", *Le journal météorologique*, No.2,12(1)(1934)pp.23-31.
- [47] T.Terada "Lucrèce et la science", *Philosophie des sciences*, Système de pensée japonais contemporain 25,. Chikuma Shobo, (1964) pp.369-411.
- [48] S.Watanabe "Photon et mécanique ondulatoire", *Journal de la Société mathématique et physique*, vol.8, (1934)pp.231-239.
- [49] Al. Proca: "Sur les particules qu'on peut associer à la propagation d'une onde de lumière", *Comptes Rendus*, vol.198, (1934) pp.643-645.
- [50] L. de Broglie : "Sur la nature du photon", *Comptes Rendus*, vol.198, (1934) pp.135-138.
- [51] S. Watanabe : *Le deuxième théorème de la Thermodynamique et la Mécanique ondulatoire*, Hermann (1935)
- [52] T. Toyoda : " L'œuvre et la vie du Satoshi Watanabe", *Science de la pensée*, février, No.13, (1994) pp.98-105.
- [53] T. Toyoda : "Condoléances à Monsieur Satoshi Watanabe ", *Journal de la Société physique*, Vol.49, No.7,(1994)pp.579-581.
- [54] D.Bohm: "A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of "Hidden" Variables. I", *Phys.Rev.* **85**(1952) 166-179., "A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of "Hidden" Variables. II", *Phys.Rev.* **85**(1952) 180-193.
- [55] Ces séries de théories sont résumées dans l'ouvrage suivant.
Une tentative d'interprétation causale et nonlinéaire de Mécanique ondulatoire, Gauthier-Villars(1956)

- [56] T.Tanaka“Condoléances à Monsieur Takehiko Takabayashi ”, *Journal de la Société physique*, vol.54,No.12 (1999)p.988.
- [57] T.Takabayashi *Histoire de la thermodynamique : la formation et la logique de la thermodynamique*, Nihon Kagaku Sha(1948)
- [58] Lettre de Takabayashi à Sakata, le 8 décembre 1956, *Recherche sur la théorie des particules*, Vol.13, No.6(1957)pp.653-655.
- [59] référence 43)pp.331-355.
- [60] T. Takabayashi *Variété: la physique, les gens et les langues*, Misuzu(1998)pp.79-89.
- [61] C'est ce que Lochak a dit directement à l'auteur.
- [62] J.L. Andrade e Silva, G. Lochak, traduit par T. Takabayashi, M.Makihara: *Quanta*, Heibonsha (1970)
- [63] L. de Broglie, traduit par Y.Kohno *Matière et lumière*, Iwanami bunko(1972)pp.317-327.
- [64] T. Takabayashi“Les empreintes de Louis de Broglie”, *Journal de la Société physique*, Vol 42.,No.11(1987)pp.957-960.
- [65] T.Takabayashi *Histoire du développement de la théorie quantique*, Chuohkohronsha (1977)