

LA NOUVELLE PHYSIQUE

M. Louis de Broglie vient de réunir, sous le titre : *Matière et lumière*, un certain nombre d'études sur les aspects généraux de la physique contemporaine, qu'il avait fait paraître antérieurement dans différentes revues. Le recueil inaugure une collection nouvelle « Sciences d'aujourd'hui » (A. Michel), dirigée par M. André George, et qui s'est enrichie récemment d'un autre volume dû à M. Jean Thibaud : *Vie et transmutation des atomes*. Cette collection, qui se réclame elle-même d'un « humanisme scientifique », s'adresse à un public cultivé auquel des savants éminents, indifférents à tout souci de vulgarisation, se proposent pourtant de servir de guides, afin de lui faire comprendre l'état actuel de la recherche scientifique, la nature des problèmes qu'elle pose et des méthodes qu'elle pratique, la signification et la portée des découvertes de plus en plus étonnantes qu'elle nous apporte chaque jour.

Il n'y a personne aujourd'hui qui puisse se désintéresser de cette extraordinaire entreprise par laquelle l'esprit humain substitue à la représentation du monde que nous avons sous les yeux une représentation qui en est toute différente, qui est le produit

à la fois des instruments et du calcul mathématique, et qui jouit du privilège paradoxal de décupler notre action sur les choses et de bouleverser les conditions mêmes de notre existence terrestre. La science donne à l'esprit une sorte d'ivresse. Il semble qu'elle mette entre les mains de l'homme une partie de la puissance créatrice. Elle est une arme prodigieuse, dont la valeur dépend de l'usage qu'il en fera. C'est pour cela qu'elle donne une sorte d'effroi à ceux mêmes qui l'admirent et qui l'aiment le plus, et qui ont consacré leur vie tout entière à la promouvoir ; il leur arrive de se demander si les moyens qu'elle nous donne ne peuvent point servir notre folie aussi bien que notre sagesse ; si elle porte en elle-même sa propre discipline ; et si cette magnifique conquête de la civilisation chargée de tant d'espérances et de promesses ne risque pas de précipiter la catastrophe où cette civilisation elle-même viendra s'engloutir.

On peut dire que le savant se plaçait autrefois devant le monde comme devant une énigme qu'il cherchait à déchiffrer. Mais n'est-ce pas la science elle-même qui est devenue pour l'homme une énigme à son tour ?

La science ne cherche plus à nous donner une image des choses. Elle les transforme et y ajoute. Et le problème est pour nous de savoir quelle est la fin que poursuit notre esprit dans cette merveilleuse aventure, si c'est de pénétrer le secret du réel, de nous donner la maîtrise du monde, ou d'exercer ses propres forces sur cet obstacle que la matière lui offre et qui l'oblige à faire l'épreuve de lui-même et à se dépasser toujours.

Car la science est au point de rencontre du réel et de l'esprit. Mais nous ne pouvons plus faire de l'esprit un miroir qui nous donnerait du réel un portrait

de plus en plus fidèle. L'esprit est une activité qui se porte au-devant de l'objet, armé de questions qu'il lui adresse, d'exigences auxquelles il lui demande de satisfaire, d'outils par lesquels il démembré sa structure ou la modifie selon ses desseins, de formules mathématiques qui sont comme les grilles à travers lesquelles il en constitue la représentation schématisée. Ainsi, l'objet scientifique est l'œuvre de la science aussi bien que de la nature. Pendant longtemps, on avait conçu l'espoir de dénombrer les cadres fondamentaux à l'intérieur desquels la pensée devait faire entrer les phénomènes afin de les comprendre : tels étaient l'espace euclidien, le temps uniforme, le déterminisme causal et les axiomes de la mécanique classique. Mais il s'est produit, depuis le début du siècle, une véritable crise de la physique, qui a ébranlé l'un après l'autre les principes sur lesquels reposait jusque-là tout l'édifice de la connaissance et qui nous semblaient être comme les colonnes de notre raison. Le temps et l'espace ont perdu leur architecture traditionnelle ; la causalité s'est peu à peu dissoute dans la simple interprétation de certains résultats statistiques ; les modèles rigides d'explication que nous avaient légués Descartes et Newton ont éclaté et cédé la place à des formules plus souples, presque fluides, chargées de possibilités différentes, qui semblent s'exclure, et où le détail des phénomènes ne réussit jamais tout à fait à tenir. Et l'on ne sait pas ce qui nous étonne le plus, de cette fécondité surabondante du réel qui surpasse toujours tous les concepts de la pensée, ou de cette puissance de renouvellement de l'esprit qui reste toujours en apprentissage, qui brise ses méthodes les mieux éprouvées quand elles ont cessé de le servir, et qui, si l'on peut dire, se réinvente lui-même indéfiniment.



La caractéristique de la nouvelle physique, c'est que les phénomènes que nous voyons y reçoivent leur explication dans un monde qui est à une autre échelle : elle est devenue une microphysique. Or, si les lois qui dominent encore aujourd'hui notre science n'ont de sens et de valeur qu'à l'intérieur de cette expérience commune, qui est en rapport avec la portée de nos sens et avec l'ampleur de nos actions habituelles, il semble que les choses se passent autrement dans le laboratoire secret où ces apparences s'élaborent. Et c'est sur ce point sans doute que les nouvelles conceptions de la science nous apportent le plus de surprise. Tous les mondes successifs que Pascal découvre dans le ciron ressemblent au grand monde où vit le ciron ; ils sont gouvernés par les mêmes lois : il n'y a que les proportions qui se trouvent changées. Swift s'attache à montrer avec le zèle le plus minutieux que le monde de Lilliput est homothétique à celui de Brobdingnag et au nôtre. Mais il n'en est plus ainsi quand on passe du corps à l'atome. Et cette disparité est une source infinie de réflexion pour notre esprit.

M. Louis de Broglie nous montre sur trois exemples différents les caractéristiques essentielles de la nouvelle physique : il nous explique comment elle a été amenée, pour rendre compte des phénomènes lumineux, à associer les deux notions en apparence incompatibles d'onde et de corpuscule ; comment l'idée du *quantum d'action* a profondément modifié les conceptions que l'on s'était faites jusque-là de l'énergie physique ; comment enfin toute recherche implique certaines *relations d'incertitude* qui résultent de la nécessité où nous sommes d'introduire

toujours dans la représentation de l'objet observé la considération de certains effets inséparables des méthodes mêmes de l'observation.

Sur le premier point tout le monde connaît les résultats des admirables travaux de M. Louis de Broglie lui-même, et qui ont préparé la constitution d'une mécanique de forme nouvelle à laquelle on a donné le nom de mécanique ondulatoire. L'intérêt philosophique d'une telle découverte est considérable. Car elle est un effort synthétique pour réconcilier non pas seulement deux sortes d'hypothèses scientifiques dont l'opposition avait semblé décisive, mais encore deux exigences de l'esprit humain, toutes deux nécessaires, et qui paraissent s'exclure. Le monde, en effet, tel qu'il se montre à nous dans l'espace, est une nappe continue dans laquelle il n'y a ni interruption ni fissure. Et pourtant, dès que nous commençons à le penser, nous distinguons en lui des parties, et nous poussons cette distinction aussi loin que possible jusqu'au moment où nous rencontrons des éléments qui ne puissent plus être divisés : dès lors l'esprit éprouve une grande satisfaction à pouvoir à l'aide d'éléments identiques, et par la seule différence de leur nombre et de leur distance, reconstruire tous les aspects du réel. Seulement en quoi consiste l'intervalle même entre ces éléments, qui leur permet de se mouvoir, de se rapprocher et de s'unir ? La continuité du monde n'est pas une pure illusion ; la discontinuité la suppose comme une condition de sa possibilité et de son jeu.

La même antinomie s'est retrouvée, mais avec une précision singulièrement troublante, dans les théories de la lumière. La lumière était considérée par les anciens, mais aussi par Newton, comme formée par une émission de corpuscules extrêmement rapides. Seulement Fresnel devait montrer que si cette hypo-

thèse explique bien ses principales propriétés : à savoir la propagation rectiligne, la réflexion et la réfraction, elle échoue quand il s'agit de certains phénomènes plus subtils, comme les interférences et la diffraction. On réussit au contraire à en rendre compte si on la considère comme une succession de vagues ou d'ondulations formées de crêtes et de creux et qui, en se recouvrant, tantôt se renforcent ou tantôt se contrarient. On pouvait penser alors que la vérité de la théorie ondulatoire était pour ainsi dire démontrée. Mais une théorie n'est jamais qu'une vue de l'esprit ; et l'on rencontre toujours quelque fait nouveau qu'elle ne réussit pas à réduire. Ici les faits nouveaux sont assez nombreux : le plus remarquable est l'effet photo-électrique qui montre que, si on éclaire un métal par exemple, il expulse des électrons. Mais dans la théorie ondulatoire une source lumineuse émet une onde dont l'énergie décroît à mesure qu'elle s'éloigne de cette source ; or l'observation de l'effet photo-électrique témoigne au contraire que l'action exercée par la lumière sur les atomes d'un corps est la même quel que soit son éloignement de la source : elle ne dépend que de la fréquence de la radiation ; ce qui a conduit M. Einstein à imaginer que l'onde est faite de corpuscules qui gardent leur énergie au cours de leur mouvement, « comme un obus rempli d'explosif possède à toute distance de la bouche à feu la même capacité de destruction ». On ne pouvait pas, d'autre part, renoncer au caractère ondulatoire du phénomène lumineux, qui seul rendait raison des interférences et de la diffraction. Il fallait donc associer dans la théorie de la lumière l'onde avec le corpuscule, en supposant que la densité du nuage de corpuscules était en chaque point proportionnelle à l'intensité de l'onde. Parallèlement, dans la théorie de

la matière, on montrait que la description des phénomènes ne peut se faire à l'aide de la seule image des corpuscules sans requérir l'image complémentaire des ondes. Dès lors l'onde et le corpuscule apparaissent donc comme nécessairement liés. Et même on peut dire que c'est parce qu'il est impossible de suivre l'évolution individuelle des corpuscules que l'onde intervient pour nous permettre de prévoir, par le moyen de la statistique, à la fois leur répartition et leur mouvement. Ainsi voit-on au cours de l'histoire une sorte de flux et de reflux des événements dans lequel tous les individus se trouvent entraînés sans que l'on puisse déterminer la part originale que chacun d'eux a pu y prendre.

La mécanique ondulatoire à son tour ne peut pas être séparée de l'hypothèse des *quanta*, de ces mystérieux *quanta* qui, selon M. Louis de Broglie, « après s'être faufileés dans la théorie du rayonnement, ont envahi toute la physique ». En étudiant la loi du rayonnement noir, M. Planck avait formulé l'hypothèse que la matière émet et absorbe les radiations par quantités finies, par *quanta* ; le *quantum* d'énergie était proportionnel à la fréquence de la radiation ; il était égal au produit de cette fréquence par une constante numérique h , à laquelle le nom de M. Planck est resté attaché. Mais cette constante devait remporter bientôt de nouveaux succès. Tout le monde connaît en effet la description si célèbre que M. Bohr a faite de l'atome en le comparant au système solaire. Or il se trouve que les électrons qui tournent comme des planètes autour du noyau central ne peuvent pas prendre tous les mouvements que la mécanique classique reconnaît comme possibles, mais certains d'entre eux seulement, que l'on appelle pour cette raison « des mouvements quantifiés » : seuls sont stables les mouvements où figurent

des nombres entiers. Ainsi nous sommes amenés à introduire l'onde à l'intérieur de l'atome afin de le transformer en un système vibrant qui, comme tous les systèmes vibrants, a ses périodes propres. La constante h devient ainsi une sorte de trait d'union entre l'image du réel que nous fournissent les ondes et l'image que nous fournissent les corpuscules. C'est seulement si elle devenait infiniment petite que nous retrouverions les lois de la mécanique classique. Enfin, si nous revenons à l'effet photo-électrique, nous voyons que ce qu'il nous a mis en évidence, ce sont de véritables *quanta* de lumière auxquels on a donné le nom de photons, et qui achèvent de nous montrer que nous sommes là sans doute en présence d'un phénomène tout à fait général et qui constitue une caractéristique essentielle de la réalité.

Mais il est difficile de discerner sa véritable signification. La constante de Planck est restée dans le langage de la nature « la syllabe indéchiffrable ». Par contre on aperçoit aisément comment elle altère profondément le visage classique de notre science. M. Louis de Broglie cite la phrase célèbre de Laplace qui exprime admirablement l'ancienne foi du savant en un déterminisme rigoureux et universel : « Une intelligence qui, pour un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux des plus légers atomes : rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir comme le passé seraient présents à ses yeux. » C'est là une assertion que la physique nouvelle ne ratifie plus. Car, si dans la théorie de la matière il y a une liaison de l'onde et du corpuscule telle que la vitesse du corpuscule soit

liée à la longueur d'onde par une relation où figure la constante de Planck, on arrive à montrer que nous ne pouvons plus connaître simultanément avec précision la position et le mouvement du corpuscule : tel est le sens des relations d'incertitude d'Heisenberg.

On peut dire que la physique classique supposait l'existence d'une réalité objective indépendante des méthodes d'observation et de mesure. Or la constante de Planck montre que dans les régions les plus ténues de la réalité, où les mesures portent sur des grandeurs de plus en plus faibles, on ne peut faire décroître à l'infini l'action exercée sur le monde extérieur par l'appareil dont se sert l'expérimentateur. Ce qui a permis à M. Bohr d'évoquer l'exemple célèbre des modifications introduites par l'introspection dans l'étude des phénomènes psychologiques, pour soutenir que la physique quantique rend incertaine la distinction entre l'objectif et le subjectif : formule que M. Louis de Broglie rectifie avec beaucoup de bonheur en observant que les instruments de mesure appartiennent encore à l'objet, de telle sorte que l'on peut dire seulement de la physique classique que la coupure qu'elle établissait entre l'objet et le sujet était une coupure artificielle.

Ces brèves remarques suffisent à montrer la valeur exceptionnelle que présentent pour les philosophes les principaux résultats de la physique quantique. Dans le développement de la science l'esprit met en œuvre à la fois sa fécondité inventive et ses exigences les plus profondes et les plus secrètes : cela ne va point sans ébranler les habitudes qui s'étaient introduites et consolidées en lui par degrés et l'idée même qu'il se faisait jusque-là de lui-même ; on ne s'étonnera donc pas que le philosophe trouve dans toutes les crises de croissance de la science un objet de

réflexion privilégiée. L'historien qui essayera d'embrasser plus tard le mouvement des idées de notre temps sera frappé sans doute par la convergence remarquable de la pensée scientifique et de la pensée philosophique, s'il est vrai d'une part que, dans la relation entre le corpuscule et l'onde, la pensée concrétise la relation idéale entre l'individu, qui est la seule réalité, mais qui ne peut jamais être isolé, et le système dont il fait partie, sans lequel on ne pourrait pas le connaître, mais qui ne permet, en ce qui le concerne, que des connaissances probables ; s'il est vrai d'autre part que dans le quantum d'action la pensée cherche à reconnaître une réalité qui surpasse toutes les descriptions que l'on peut faire dans l'espace et dans le temps, bien qu'elle ait besoin de l'espace et du temps pour se manifester ; et s'il est vrai enfin que les relations d'incertitude font éclater l'impossibilité où nous sommes de considérer le sujet comme affronté à un monde qui pourrait devenir pour lui un spectacle pur, alors qu'il est profondément engagé dans ce monde et que la moindre de ses démarches contribue non pas seulement à le modifier, mais à le faire.

8 août 1937.