

Janik PILET

Dieu
ou
la pierre philosophale
du physicien



Éditions de La Hutte
BP 8
60123 Bonneuil-en-Valois

www.editionsdelahutte.com

Introduction

Le cerveau du savant, qui n'est qu'un coin de l'Univers, ne pourra jamais contenir l'Univers tout entier.

Henri Poincaré

CROIRE EN LA SCIENCE ?

En ce début de siècle, notre science sait fournir des réponses cohérentes à la plupart de nos interrogations du type : « Comment se fait-il que... ? » Questions que nous formulons souvent abusivement sous la forme : « Pourquoi.... ? » Nous dirons par exemple : « Pourquoi le ciel est-il bleu ? » Sans pour autant vraiment attendre une réponse impliquant une finalité, comme le serait la réponse suivante : « C'est pour faire joli ! » Affirmation qui serait une réponse véritable – qu'elle soit pertinente ou non – à notre : « Pourquoi ? » En réalité, nous espérons plutôt être éclairés sur la causalité, comme par une réponse du type : « C'est à cause de la diffusion spectrale de la lumière solaire par les molécules de l'air. »

Dieu ou la pierre philosophale du physicien

Une telle réponse correspondrait à la question plus convenablement formulée : « Comment se fait-il que le ciel soit bleu ? » Elle est, certes, scientifiquement correcte, mais elle pose au questionneur ordinaire plus de problèmes qu'elle n'en résout. Elle l'amène à demander plus d'explications sur les mots employés pour pouvoir lui paraître intellectuellement satisfaisante. À moins, le plus souvent, qu'elle ne le décourage instantanément en lui semblant hors du champ des connaissances qui sont immédiatement à sa portée. Et qu'ainsi elle lui fasse considérer son interlocuteur comme un pontifiant pédant sans grand intérêt, ou, dans le meilleur des cas, comme un érudit respectable mais inaccessible.

Il est nécessaire, en effet, d'être initié à la méthodologie scientifique et suffisamment instruit de ses résultats théoriques et expérimentaux pour pouvoir saisir le sens d'une telle réponse. Une réponse plus détaillée à la question naïve : « Pourquoi le ciel est-il bleu ? » restera trop complexe aux yeux du commun des mortels pour qu'il ait la patience d'en distinguer la pertinence par rapport à d'autres réponses possibles plus simples, car aussi dogmatiques que définitives. Des réponses comme : « parce que Dieu l'a voulu ainsi » ou tout simplement : « parce que c'est comme ça » sont finalement plus confortables à formuler comme

Introduction

à entendre. Surtout pour celui dont la compréhension des mécanismes intimes de l'Univers n'est pas la préoccupation pratique la plus urgente. En effet, si l'étude et la compréhension scientifiques ne sont nullement au-delà des possibilités intellectuelles de la plupart des êtres humains, encore faut-il en avoir le goût, le temps et les moyens matériels pour s'y consacrer. Ceci ne peut être statistiquement accordé qu'à un petit nombre d'individus, même dans une société libérale très évoluée.

Ainsi, nul non initié n'accorderait-il plus de valeur ni d'intérêt au discours scientifique pur et ardu qu'à tout autre discours ésotérique et incompréhensible si la science moderne n'avait largement donné la preuve de sa redoutable efficacité pratique. D'autres approches tout aussi mystérieuses pour le profane, telles que la magie, la sorcellerie ou la foi religieuse par exemple, n'ont nullement la même efficacité.

C'est donc surtout cette formidable capacité à développer des technologies efficaces qui donne à la science moderne sa véritable crédibilité aux yeux des non spécialistes. Chacun trouvera plus sûr de prendre connaissance d'un événement du bout du monde à travers un poste de télévision, élaboré grâce à l'application de découvertes

Dieu ou la pierre philosophale du physicien

scientifiques complexes, plutôt que de se fier à une boule de cristal dans un but analogue. Même en rappelant que l'information télévisée n'est pas non plus totalement objective, une autre technologie basée sur les acquis des sciences nous permet de venir en personne sur les lieux de l'événement lointain. Ceci en quelques heures de vol à bord d'un jet, méthode incontestablement plus fiable qu'un voyage chamanique sous l'emprise d'une drogue hallucinatoire.

On distingue ainsi de nos jours ce qu'il est convenu d'appeler les vraies et les fausses sciences : astronomie ou astrologie, chimie ou alchimie, pour ne citer que celles-là. La distinction entre elles se fait facilement en fonction de l'utilité matérielle des résultats pratiques des premières. L'utilité des secondes, réelle en vérité, avérée par leur succès non démenti auprès du public, se situe surtout au niveau du bien-être psychologique qu'elles procurent. Elles peuvent faire tomber des inhibitions qui entravent la communication et aider les individus à se sentir compris, en sympathie avec les autres et en harmonie avec l'Univers. Elles deviennent ainsi des jardins secrets ou des tours d'ivoire dans lesquels ils se débarrassent de leur stress.

Il existe pourtant encore des domaines, comme celui de la médecine, trop complexes pour avoir pu être totalement

Introduction

défrichés par la méthode scientifique. Dans ces domaines, le clivage entre vraie et fausse science est loin d'être achevé, peut-être même peu souhaitable, voire impossible. La Science proprement dite, ici la biologie, n'est pas toujours à même d'apporter une véritable solution thérapeutique à un patient qui a pourtant besoin d'assistance. Paradoxalement, des méthodes empiriques aux justifications douteuses peuvent quelquefois donner des résultats spectaculaires, qu'elles soient utilisées légalement par des médecins diplômés ou illégalement par des guérisseurs marginaux plus faciles à traiter de charlatans. L'homéopathie, fort populaire par exemple, fait actuellement partie de ce domaine frontalier sans justifications scientifiques solides.

MODÉLISATIONS Une approche toute différente est celle des physiciens, qui cherchent à mettre en évidence des vérités, qu'ils aimeraient pouvoir considérer comme absolues, par des méthodes inductives plutôt que déductives. Ils se basent sur l'observation d'un grand nombre d'expériences reproductibles pour imaginer (on dit induire) des lois générales qui les expliquent. Ils vont ensuite appliquer la démarche déductive des mathématiciens à partir de ces lois induites les plus réalistes possibles, même si elles sont déroutantes pour l'intuition. Ils s'attachent alors à confronter à tout instant les conséquences imprévues de leurs raisonnements mathématiques à de nouvelles observations, ne tenant ainsi finalement pour vraies que les lois de départ qui ne sont jamais (jusqu'à nouvel ordre !) contredites par l'expérience.

Les théories physiques sont ainsi des modèles mathématiques dont le but est de décrire avec une certaine précision

le comportement du monde réel, un peu à la manière dont une carte décrit un territoire. Il existe pour un même territoire plusieurs sortes de cartes adaptées à l'usage que l'on désire en faire : cartes routières, marines, cartes d'état-major, cartes détaillées, cartes d'ensemble, etc. De même, il existe aussi plusieurs théories physiques de nature mathématique dont la cohérence logique interne est indiscutable, mais qui, chacune, ne décrit qu'un aspect ou qu'une approximation de la réalité, aussi excellente soit-elle dans son domaine d'application. Citons par exemple la géométrie euclidienne et la mécanique classique de Newton qui sont les plus immédiatement utilisables pour la plupart de nos problèmes pratiques. Citons également la théorie de la relativité, utile en particulier pour la description de certains phénomènes astronomiques inexplicables par la mécanique newtonienne, mais qui est une théorie beaucoup plus complexe à mettre en œuvre du point de vue mathématique. Fort heureusement, elle se ramène à cette mécanique classique comme une approximation applicable à notre échelle. Citons également la théorie de l'électromagnétisme de Maxwell, qui a d'ailleurs besoin du cadre de la relativité restreinte pour assurer sa complète cohérence logique interne. Elle permet de modéliser très convenablement une grande part de nos besoins techniques usuels en

électricité et en optique, sans toutefois pouvoir rendre compte du comportement microscopique de la matière.

Toutes les théories qui viennent d'être citées ici sont déterministes. Elles ne laissent aucune place au hasard ou à une quelconque possibilité de faire des choix dans l'enchaînement des événements. Elles ne confèrent aucune particularité à l'instant présent parmi les autres instants, ni ne font de différence entre passé et avenir dont les rôles pourraient, pour elles, être intervertis sans inconvénient, par simple convention. Il est donc clair que, si elles sont bien adaptées à leur usage technique, elles ne rendent pour autant aucun compte de notre vécu conscient des notions de temps irréversible, ni de la liberté des choix liés à l'instant présent, telles que nous les ressentons intuitivement.

Il existe pourtant un autre domaine de réalités, accessible à l'expérience scientifique, le monde des atomes et des particules fondamentales, que ces théories déterministes s'avèrent impuissantes à décrire. On peut le comprendre aisément, puisque toutes ces théories sont basées sur la notion mathématique de point géométrique qui est défini comme n'ayant aucune dimension, ni longueur, ni largeur, ni épaisseur. Point qui est donc une notion purement idéale qu'il est impossible de matérialiser dans le monde physique

Dieu ou la pierre philosophale du physicien

puisque, selon cette définition, un point, ce serait tout simplement rien. Alors qu'une particule fondamentale, même lorsqu'elle doit être considérée comme théoriquement ponctuelle, ce n'est pourtant certainement pas rien !

En effet, dans le cadre des théories relativistes à trois dimensions d'espace et une de temps, on est obligé de considérer les particules élémentaires, constituants ultimes de la matière, comme purement ponctuelles. Elles y sont vues comme sans extension spatiale, sans aucune dimension, bien que douées expérimentalement d'autres propriétés telles que masse, charge électrique, spin (rotation sur elles-mêmes), et autres... dont on se demande bien quel est le support et où il loge ! Il est clair que, à ce niveau, c'est la théorie de la relativité qui pourrait être taxée d'incomplétude, malgré ses incontestables succès expérimentaux dans le domaine des applications macroscopiques.

Dans toutes les théories actuellement utilisées en physique, cette notion de point, si peu raisonnable quand on y réfléchit, est admise sans sourciller. Faute, il faut bien le dire, d'une meilleure idée pour construire une géométrie utilisable qui puisse remplacer celles dont la fécondité théorique et pratique a pourtant été jusqu'à présent proprement admirable.

Il a fallu concevoir une nouvelle théorie mathématique, pourtant toujours basée sur cette notion de points matériels : la mécanique quantique qui va enfin pouvoir modéliser les phénomènes sub-atomiques, approximativement comme toujours, mais ici avec une merveilleuse précision.

Voyons comment les idées *a priori* déroutantes de cette mécanique nouvelle se sont progressivement imposées.

IDÉES QUANTIQUES Pour ce qui est de ces théories quantiques, on peut dire que c'est de la lumière qu'est venue La Lumière, avec la mise en évidence expérimentale de la notion étrange de « dualité onde corpuscule ». Historiquement, l'optique scientifique a connu ses véritables débuts avec Descartes (1596-1650) qui a développé l'optique géométrique instrumentaliste avec la notion simplificatrice de « rayon lumineux », géométriquement rectiligne dans un milieu transparent homogène (et isotrope). Les succès pratiques de cette théorie semblaient militer en faveur d'une nature corpusculaire de la lumière, que l'on pouvait ainsi supposer composée de corpuscules ponctuels ou quasi ponctuels, ultra légers et ultra rapides, dont les rayons lumineux de Descartes auraient alors été les trajectoires. C'est là l'idée que

défendait Newton (1642-1727), père de la mécanique classique. Cette mécanique semblait encore au XIX^e siècle pouvoir s'appliquer à tous les phénomènes expérimentaux de la physique connue. À l'inverse de Newton – dont il ne faut pas oublier qu'il fut aussi un alchimiste pratiquant – Huyghens (1629-1695) soutint la thèse d'une nature ondulatoire de la lumière dont le statut corpusculaire disparaissait ainsi pour faire place à celui de vibrations d'un hypothétique « éther » partout présent dans l'espace. Ces vibrations étaient analogues à celles d'ondes à la surface d'une eau calme. Ce dernier point de vue devait triompher un siècle plus tard avec les expériences de Young (1773-1829) et de Fresnel (1788-1827) : la lumière donne ainsi naissance à des phénomènes d'interférences, de diffraction et de polarisation, caractéristiques des ondes dont les vibrations sont perpendiculaires à leur direction de propagation. Cette hypothèse, mère des développements considérables de l'optique moderne, allait trouver sa justification théorique avec la théorie des ondes électromagnétiques de Maxwell (1831-1879). La théorie de la relativité restreinte d'Einstein (1879-1955) allait enfin en assurer la pleine cohérence mathématique interne en conduisant à abandonner l'inutile notion d'éther.

Cependant, à peine cette superbe construction de l'esprit humain était-elle achevée, qu'elle allait être mise à mal par Max Planck (1858-1947) et par Einstein lui-même, qui montrèrent expérimentalement que la lumière avait bien une structure discontinue ! Elle était constituée de grains d'énergie distincts et insécables qui allaient rapidement recevoir le nom de photons.

Nous étions donc ramenés aux idées corpusculaires de Newton, sans pour autant que l'aspect ondulatoire, solidement établi par l'expérience lui aussi, puisse être rejeté.

C'est ce paradoxe apparent qui fut appelé « dualité onde corpuscule », dénomination qui reste encore comme un voile pudique jeté sur ce « mystère de la sainte trinité » comme l'appelait avec humour mon collègue Basile. Mystère qu'à ma connaissance personne ne sait encore visualiser autrement que sous forme de formules et de concepts mathématiques, fort performants au demeurant, mais bien peu intuitifs pour un esprit profane.

La situation devint alors la suivante : la lumière visible est bien constituée d'ondes électromagnétiques de fréquences ν (nu) très élevées de l'ordre 5×10^{14} hertz, soit un demi million de milliards de vibrations par seconde. Ces fréquences sont limitées à un domaine assez étroit

Dieu ou la pierre philosophale du physicien

compris entre 3×10^{14} et 7×10^{14} hertz. Elles correspondent à toutes les couleurs de l'arc-en-ciel, du rouge au violet en passant par l'orange, le jaune, le vert et le bleu, ainsi que par toutes les nuances entre chacune. Au-delà de 7×10^{14} hertz se trouvent les domaines de l'ultraviolet, puis des rayons X et des rayons γ (gamma), et en deçà de 3×10^{14} hertz, se rencontrent les rayonnements infrarouge, les micro-ondes et les ondes radio.

Planck et Einstein ont établi expérimentalement que ces vibrations lumineuses transportent leur énergie sous forme de très petits grains distincts et impossibles à fractionner, les photons. L'énergie E d'un photon dépend seulement (et inexplicablement ?) de la fréquence ν , et donc de la couleur de la lumière, par une relation aussi simple que mystérieuse :

$$E = h\nu$$

Le minuscule coefficient de proportionnalité h , appelé constante de Planck, qui a valeur de constante universelle, vaut sensiblement $6,62 \times 10^{-34}$ lorsque E est exprimée en joules (une calorie vaut 4,18 joules) et ν en hertz (c'est-à-dire en nombre de vibrations par seconde). Ce qui fait qu'un photon visible de couleur jaune possède une énergie d'environ seulement 30×10^{-20} joules, soit à peine un

dixième de milliardième de milliardième de calorie. La calorie est, rappelons-le, la toute petite quantité de chaleur qui permet d'élever d'un degré Celsius la température d'un gramme d'eau. Ceci explique que le commun des mortels n'ait jamais pu voir ces photons un par un. Fort heureusement, on sait le faire maintenant, à l'aide de détecteurs ultrasensibles appelés photomultiplicateurs...

On peut comprendre que l'intensité de ces ondes lumineuses, reçues sur un écran de cinéma par exemple, corresponde à une répartition statistique de tels photons en très grand nombre. Mais que doit-on penser d'une onde lumineuse de très faible intensité qui ne transporterait qu'un seul photon ? Où cet unique photon apparaîtra-t-il sur l'écran ? C'est là que la réponse du physicien devient probabiliste et non plus déterministe. Ce que nous appelions précédemment l'intensité de l'onde lumineuse reçue par l'écran devient alors simplement la probabilité d'apparition du photon unique au point considéré sur cet écran, sans qu'on puisse en dire plus. Mais, statistiquement, cela reviendra au même pour un très grand nombre de photons. En effet, l'onde lumineuse intense est constituée de milliards de milliards de photons, un peu comme un jet d'eau est constitué de milliards de gouttelettes. Mais que devient

la notion de jet lorsqu'il n'y a plus qu'une seule goutte ? Cette notion de jet ne paraît plus alors utile pour décrire le mouvement de la goutte ! Tout au contraire la notion d'onde associée est la seule qui permette de modéliser convenablement la propagation dans l'espace du photon unique. Le comportement du photon pendant son mouvement ne peut se décrire que comme celui d'une onde. Son aspect corpusculaire quasi ponctuel ne se manifeste que lors de son interaction avec un récepteur (le grain d'une pellicule photographique par exemple). On appelle ce comportement particulier et bien étonnant, reconnaissons-le, « réduction de la fonction d'onde ». Ceci signifie qu'avant l'interaction, le photon occupait à lui seul tout l'espace où l'onde est présente. On appelle cela la « non localité ». Brutalement, à l'instant de l'interaction, il se localise irréversiblement en un point précis, imprévisible par nature. Il a simplement une probabilité d'y apparaître proportionnelle au carré de l'amplitude de l'onde associée. Cette onde, au même instant, cessera d'exister. Le photon unique est bien, à la fois, une onde et un corpuscule, mais il ne manifeste que l'un de ces deux aspects à la fois : son aspect ondulatoire lors de son mouvement, son aspect corpusculaire lors de son interaction. Nous voilà bien au cœur du mystère de cette sainte binité onde corpuscule, même si

les calculs qui en découlent sont les seuls à rendre compte des réalités expérimentales !

Le pire reste à venir : ce comportement déroutant n'est pas limité à la lumière, ni même aux ondes électromagnétiques quelles qu'elles soient. Il est celui de tout objet microscopique, ainsi que celui de tout phénomène ondulatoire. Autrement dit, il est absolument général !

C'est d'abord Louis de Broglie (1892-1987) qui a su prévoir théoriquement que les électrons de masse m_e et de vitesse v devaient se comporter de manière analogue aux photons, c'est-à-dire se déplacer comme des ondes de longueur λ (lambda) telle que : $m_e v = h/\lambda$. Ils devaient pourtant aussi être détectés sous la forme de particules quasi ponctuelles, tels qu'on les connaissait jusqu'alors. Sa théorie a permis d'expliquer qualitativement et quantitativement les observations expérimentales de diffraction des électrons par des cristaux de nickel, réalisées par Davisson et Germer en 1926. Elle a été le point de départ de ce qu'on appela alors la mécanique ondulatoire, qui devait plus tard être généralisée sous le nom plus approprié de mécanique quantique. On parle maintenant de physique quantique, puisque cette théorie inclut actuellement tous les domaines de la physique.

BON SENS

ET INTUITIONS Notre notion usuelle de la réalité nous est dictée par notre expérience quotidienne, et elle est validée par l'incontestable efficacité de sa mise en application dans la vie courante, vérifiée journallement depuis d'innombrables générations. Elle est liée à notre logique qui est elle-même le fruit de l'évolution de nos cerveaux au cours d'une continuelle adaptation biologique à cette efficacité pratique. Cette notion de la réalité n'est pourtant pas vraiment conforme au monde dans lequel nous vivons. Lorsque nous cherchons à l'extrapoler à des échelles différentes de la nôtre, que ce soit à l'échelle de l'atome ou à celle de l'Univers, l'expérience impose des démentis formels à notre bon sens commun, quitte à faire trembler notre raison sur ses bases.

Par exemple, l'invariance de la vitesse c de la lumière dans le vide, c'est-à-dire son indépendance du système de référence choisi est largement vérifiée par les expériences des physiciens. Elle est de plus nécessaire à la cohérence mathématique interne de la théorie électromagnétique. Mais est-elle aussi contraire au bon sens commun ? Lorsqu'un objet est en mouvement à la vitesse v par rapport à un système de

référence et que ce système avance lui-même à la vitesse V par rapport au sol, notre bon sens en déduit que l'objet avance à la vitesse $V + v$. C'est le cas par exemple d'une personne qui avance à la vitesse v à l'intérieur d'un train, train qui avance lui-même à la vitesse V . La vitesse de la personne par rapport au sol semble obligatoirement différente de sa vitesse v par rapport au train si ce dernier n'est pas immobile. Comment imaginer alors qu'un objet comme un photon de lumière puisse se déplacer simultanément à la même vitesse c par rapport au train et par rapport au sol ? C'est pourtant bien notre bon sens courant qui a tort car notre expérience évolutive de millions d'années ne nous a jamais mis en présence d'objets voyageant à des vitesses comparables à celle de la lumière. Nous sommes obligés, pour faire disparaître cette apparente absurdité, d'abandonner la notion intuitive de temps absolu. Il nous faut admettre que le temps ne s'écoule pas de la même façon pour des observateurs différents, en mouvement les uns par rapport aux autres, et surtout admettre que le présent pour l'un n'est pas le même que le présent pour l'autre.

Comment, par ailleurs, pourrions-nous nous faire une image convenable de cette dualité onde corpuscule qui régit le comportement des particules microscopiques ?

Dieu ou la pierre philosophale du physicien

L'expérience nous prouve que les électrons, les protons, les neutrons, les quarks qu'ils contiennent, les atomes et les molécules qu'ils composent, se comportent comme des ondes du point de vue de leurs mouvements. Ils sont comme des groupes de vagues sur la mer du vide de l'espace et du temps. Mais, pour que survienne une détection de telles particules, il faut que brusquement ce comportement change et que la particule-onde se cristallise instantanément en un petit grain matériel. Transformée ainsi en un minuscule grain de sable situé imprévisiblement quelque part, là où les vagues étaient les plus hautes, elle ramène soudain le calme plat sur cette mer en furie.

Voilà bien un comportement des vagues qui semblerait miraculeusement favorable au marin dans la tempête, quitte à laisser son navire se charger d'un petit tas de sable pour amortir une grande houle.

Il est donc clair que si, fort heureusement, nous sommes capables d'inventer des modèles mathématiques très performants pour décrire de tels comportements, nous ne sommes pas capables d'en concevoir une image réaliste conforme à notre bon sens commun. Ce dernier reste tributaire de la structure de notre cerveau telle que nous l'a léguée une évolution de millions d'années.

À l'heure actuelle, on vérifie dans tous ces domaines que ce comportement est en effet absolument général, que le mouvement de tout corpuscule est ondulatoire et que, réciproquement, toute onde, quelle que soit sa nature, interagit par « grains » d'énergie insécables. Même les ondes acoustiques ont une énergie fractionnée en phonons, analogues aux photons de la lumière ! De même pour les ondes à la surface de l'eau. Ce mystère pour notre entendement intuitif est partout au cœur de la matière qui nous environne.

Comment se fait-il alors que nous ne soyons pas naturellement conscients de ce comportement intime de la matière ? Comment se fait-il que nous concevions spontanément et, il faut bien le dire, avec un total succès dans nos vies quotidiennes depuis plus d'un million d'années, une modélisation du monde matériel comme constitué d'objets bien localisés ? Il nous paraît sans doute plausible de penser que ces objets sont constitués d'atomes minuscules, eux-mêmes bien localisés comme les imaginait l'antique philosophe grec Démocrite, quatre cents ans avant Jésus-Christ. Il nous est pourtant difficile de concevoir que ces atomes et leurs constituants n'aient pas rigoureusement le même comportement que les objets plus gros, que nos sens peuvent

Dieu ou la pierre philosophale du physicien

directement percevoir. Pourquoi, par ailleurs, ne nous rendons-nous pas compte que les ondes lumineuses ou acoustiques interagissent avec nos sens par l'intermédiaire de petits grains d'énergie bien distincts les uns des autres ?

En fait, dans notre monde sensible, tout est un facteur d'échelle. Pour reprendre le cas de la lumière et des autres ondes électromagnétiques, tout dépend de leur fréquence. Si elle est faible, les photons deviennent si petits et si nombreux qu'il devient très difficile de mettre en évidence le caractère discontinu de l'énergie transportée par les ondes. On observe, en effet, toujours d'énormes quantités de photons à la fois, et donc un de plus ou un de moins, on ne peut pas faire la différence. Au contraire, lorsque la fréquence est très élevée, dans le cas des rayons gamma par exemple, un photon γ est un grain d'énergie beaucoup plus gros. Ses effets individuels sont observables dans une chambre à bulle ou dans un autre détecteur de particules sans que soit mis en évidence le caractère ondulatoire de son mouvement. Il en est de même pour un électron de haute énergie dont ce qui paraît être la trajectoire est jalonnée de petites bulles dues à l'ionisation des molécules d'hydrogène liquide à son passage. Chaque bulle est l'indice d'une interaction entre l'électron et un atome du

milieu ambiant, et donc d'une réduction de la fonction d'onde de cet électron, c'est-à-dire d'une manifestation locale de son aspect ponctuel.

Lorsque les interactions entre un objet et son environnement sont nombreuses, la réduction des fonctions d'ondes lui confère un caractère bien localisé. Les spécialistes parlent alors d'un phénomène de décohérence de la fonction d'onde. C'est toujours le cas pour un objet de taille appréciable à notre échelle, comme une balle de fusil par exemple.

En physique quantique, la notion de localité des particules ultra-microscopiques est donc abandonnée. Cette non-localité a été expérimentalement et très clairement mise en évidence par Alain Aspect au début des années 1980, sur des couples de particules jumelles situées à grande distance l'une de l'autre. Ce résultat est indépendant du fait que la théorie quantique sait en donner une explication : ces jumelles sont inséparables malgré la distance, elles ne forment qu'une seule et même entité qui n'est pas localisée au voisinage d'un point.

Cependant, les théories quantiques actuelles continuent de décrire le comportement de ces particules non-locales sans pour autant abandonner ou remplacer cette notion

Dieu ou la pierre philosophale du physicien

sans doute contestable de point géométrique très bien localisé et infiniment petit. Ceci même dans le cadre de géométries qui peuvent devenir très compliquées, allant jusqu'à faire intervenir dix dimensions d'espace plus ou moins courbées et une dimension de temps pour pouvoir espérer les réconcilier avec la relativité générale à l'échelle microscopique.

Les théories les plus prometteuses actuellement, quant à une cohérence interne globale, sont les théories de supercordes. Elles modélisent les propriétés des particules qui n'y sont plus considérées comme ponctuelles, mais comme étendues dans ces dimensions supplémentaires à fortes courbures. Elles laissent entrevoir la possibilité d'un accord avec les expériences pratiquement réalisables jusqu'ici, aussi bien à l'échelle cosmique relativiste que microscopique et quantique. Les propriétés précédemment inexplicables des particules, telles que masse, charges, spin, « couleur »... deviennent des modes de vibration de ces cordes ou de ces membranes dans ces dimensions nouvelles très fortement enroulées sur elles-mêmes. Ces théories constituent une avancée spectaculaire quant à la réconciliation de la mécanique quantique et de la relativité générale qui sont toutes deux incontestées dans leurs domaines expérimentaux respectifs.

Il n'empêche qu'elles restent basées sur des géométries d'ensembles multidimensionnels de points sans consistance, d'espace courbé, constitué ainsi d'une continuité de néants ponctuels. Et dans ce néant tordu et entortillé, de quoi ces cordes ou ces membranes sont-elles donc faites ?

La réaction de la communauté des physiciens devant de tels propos est forcément la suivante, à juste titre : que celui qui conteste la validité d'une théorie en propose une meilleure, bien sûr. Et cela oblige à rester fort modeste, car ce n'est pas facile. Mais il est clair que la recherche en ce domaine n'est pas arrivée à son terme.

Contrairement au cas de la mécanique classique, qu'elle soit newtonienne ou relativiste, il n'y a en mécanique quantique d'*événement* que lorsqu'une interaction, qui correspond à une réduction d'une fonction d'état probabiliste, se produit. Pour Feynman (1918-1988, prix Nobel 1965) par exemple, un événement est un ensemble de conditions initiales et finales dont la probabilité d'occurrence est donnée par le carré du module de l'amplitude de cette fonction d'état. Un événement quantique possède ainsi une certaine étendue dans l'espace et dans le temps. Il n'est pas *ponctuel* comme en mécanique classique.

Dieu ou la pierre philosophale du physicien

Actuellement, seules les théories quantiques probabilistes peuvent rendre compte d'une différence de nature entre passé, présent et avenir. Pour les théories déterministes, cette distinction n'a pas de sens puisque la connaissance de l'état de mouvement de l'Univers à un instant donné, quel qu'il soit, détermine complètement tous ses états, les précédents comme les suivants. Pour elles, donc, tout coexiste dans un seul instant et le temps n'est qu'une dimension supplémentaire de l'espace, l'instant présent n'ayant aucune particularité par rapport aux autres. Ce point de vue est de toute évidence contraire à notre expérience consciente. L'instant présent est celui où notre conscience se situe, celui où elle exerce ses fonctions d'observation et de choix de son action sur le monde, l'instant où tout événement passe du statut de plausible à celui de réalisé. Le présent est l'instant où s'exprime la liberté pour une conscience d'agir sur un avenir encore indéterminé pour imprimer définitivement et irréversiblement ses choix dans ce qui devient alors le passé.

La fonction d'onde ou vecteur d'état d'une particule, ou celle d'un système physique plus complexe, définit complètement en mécanique quantique l'état physique du système et son évolution au cours du temps. En tout état de cause,

elle ne peut permettre que de prévoir des probabilités d'observation de telle ou telle situation en cas de mesure d'une quantité observable, c'est-à-dire en cas d'interaction avec un autre système physique. À l'instant de l'observation, il y a « cristallisation » de cette probabilité en certitude acquise, et la ou les quantité(s) mesurée(s) passe(nt) de l'état de possible plus ou moins probable à l'état de mesuré, et donc de définitivement connu. Après une telle mesure, la fonction d'onde probabiliste de départ n'a plus de raison d'être et perd toute signification, puisque l'état de la particule a changé. On dit alors qu'il y a eu « réduction de la fonction d'onde » par la mesure. En fait, les deux systèmes qui, en l'absence d'interaction entre eux, pouvaient être décrits par des fonctions d'onde individuelles en tant que systèmes isolés, s'avèrent ne plus pouvoir être définis que par une fonction d'onde globale commune. Et cette fonction n'est pas une simple somme des deux précédentes.

Dans cette approche, l'Univers dans son ensemble devrait pouvoir être décrit par une unique fonction d'onde probabiliste très complexe. Encore faut-il être très prudent quant à cette extrapolation à l'Univers entier d'une notion vérifiée seulement à l'échelle humaine. Une telle fonction

d'onde serait bien trop complexe en tout cas pour être techniquement utilisable. Elle fixerait en quelque sorte le destin global de l'Univers, statistiquement parlant, alors que l'histoire individuelle des différents systèmes doués momentanément de libre arbitre qui le composent reste non-déterminée. Chacun conserve sa liberté de choix probabiliste à chaque nouvelle interaction.

La « théorie du chaos » prouve que même dans un cadre purement déterministe comme celui de la mécanique classique newtonienne, certaines évolutions sont par nature imprévisibles. Elles sont trop dépendantes de microscopiques variations des conditions initiales, telles que le fameux battement d'aile du papillon capable de fausser toute prédiction météorologique. Or il se trouve que l'incertitude quantique sur les conditions initiales au niveau microscopique est une propriété intrinsèque de la matière. Il paraît donc clair que les choix quantiques *a priori* imprévisibles qui s'effectuent au niveau microscopique ont des conséquences sur les évolutions macroscopiques qui en résultent. C'est donc probablement là qu'il faudrait rechercher le support physique le plus élémentaire du libre arbitre de la conscience.

EN RÉSUMÉ *La physique ne se contente pas de vérités supposées a priori absolues, elle est avant tout expérimentale. Elle s'appuie sur les raisonnements mathématiques, qui restent ses outils privilégiés pour élaborer des théories cohérentes, qu'on appelle des modèles, à partir d'hypothèses suggérées par l'expérience, mais toujours possibles à remettre en cause. Cette remise en question se fait à chaque fois que des mesures atteignent une précision suffisante pour venir contredire un ou des résultat(s) obtenu(s) par la théorie. Il faut alors trouver de nouvelles hypothèses de départ convenables pour construire un nouveau modèle mathématique apte à rendre compte des résultats connus. Il lui faudra aussi résister aux nouvelles expériences que l'on pourra envisager de faire pour le contrôler. C'est ainsi que l'on est passé des théories classiques de la mécanique et de l'électromagnétisme aux théories relativistes, et surtout quantiques, beaucoup plus complexes et déroutantes, mais plus proches des réalités expérimentales. Les anciennes théories trouvent des statuts de cas limites simplificateurs, dans cer-*

taines conditions d'approximation tolérée. Elles conservent ainsi leur utilité technique dans leur domaine de validité à cause de leur cadre mathématique plus abordable. Mais à chacune des nouvelles théories correspond une vision du monde très différente de la précédente. Le caractère absolu du déterminisme mécanique, ainsi que l'indépendance du temps et de l'espace ou la localité des objets microscopiques, sont maintenant abandonnés sans espoir de retour semble-t-il. Ceci malgré les efforts faits par certains théoriciens pour tenter de les sauvegarder. Leurs théories alternatives n'ont pas résisté à l'expérience là où elles étaient en concurrence avec les théories quantiques, relativistes ou non. Il est probable que le processus d'émergence de théories nouvelles ne soit pas achevé, mais il paraît impossible qu'il se traduise par un retour au déterminisme ou à la localité des événements.

Préambule

LA MAISON DE LA DAME NOIRE 11

Introduction

CROIRE EN LA SCIENCE ? 23

I. Physiciens et alchimistes

LA TABLE D'ÉMERAUDE 31

PHYSIQUE, MÉTAPHYSIQUE ET ALCHEMIE 33

II. Du *Mutus Liber* aux champs quantiques

EN QUÊTE DE VÉRITÉ 45

LA VÉRITÉ EN TECHNOLOGIE 49

LA VÉRITÉ EN MATHÉMATIQUES 53

Intelligence logique

Définitions et axiomes

L'infini

Dieu ou la pierre philosophale du physicien

LA VÉRITÉ EN PHYSIQUE	69
Modélisations	
Idées quantiques	
Bon sens et intuitions	
LA VÉRITÉ AU FOND DU PUIT	93
Première question	
Deuxième question	
Troisième question	
III. Des champs quantiques au chant cantique	
LA CONSCIENCE, LE TEMPS ET L'ESPACE	107
Le temps	
Conscience et probabilité	
Mouvement	
Espace	
Définition	
Le choix	
La conscience et le néant	
Rêve et réalité	
Les êtres conscients	
LA CONSCIENCE UNIVERSELLE	139
La non séparabilité	
Consciences inséparables	
Du miracle	

Table des matières

INTERMÈDE : UN VOYAGE DANS L'ASTRAL	152
Relaxation	
IV. Les religions	
MONOTHÉISME	159
Les Anges	
Dieu est Un	
L'ESPRIT ET LA LETTRE	173
Le Bien et le Mal	
Réinterprétations	
La Foi	
V. L'Ère du Verseau	
PRÉCESSION DES ÉQUINOXES	187
LES ÈRES ASTROLOGIQUES	191
Épilogue	
ÉCLIPSE DU 11 AOÛT 1999	197
Annexe	
QUESTIONS ET RÉPONSES	202
Bibliographie	243