

VULGARISATION

C'est Aristote et Kant qui seraient contents...

par Armand Daigneault

professeur de français au Collège Marie-Victorin

À tous les gens blasés qui ont tout vu, tout lu ou qui sont à la recherche de quelque chose qui soit capable de les secouer fortement, je suggère d'aller faire un tour du côté de la physique quantique. Il se passe là des choses à côté desquelles le mariage de Wayne Gretzky ou les derniers caprices du stade olympique sont des réalités bien falotes. Bien sûr, tout le monde a entendu parler de la « Relativité d'Einstein », de l'énergie nucléaire ou de la vitesse de la lumière, mais il y a plus et plus encore ! Vous dire la centième partie de ce que la physique a mijoté dans ses chaudrons ces quarante dernières années suffirait à vous ébranler au-delà de tout mot ! Et en ces temps bénis (... et acides) où nous vivons, les ouvrages de vulgarisation sur le sujet ne manquent pas : il vous sera facile de satisfaire votre curiosité à peu de frais. (voir plus loin, la bibliographie).

Nous sortons à peine du bois ... ou des cavernes. En effet, dans un univers âgé d'environ 15 milliards d'années, l'espèce humaine est apparue, timidement, il y a deux ou trois millions d'années ; ce n'est qu'il y a quarante mille ans qu'elle a été capable de dépasser la communication par cris et par gestes des animaux inférieurs : son cerveau parvenu à maturité et une nouvelle configuration du tractus vocal permettent enfin à l'homme le langage doublement articulé (comme on dit en linguistique), source de tous les progrès ultérieurs ; il y a six mille ans, après la découverte de l'agriculture, on fait celle de l'écriture, de la ville, de l'administration, des mathématiques, de toutes ces belles choses en somme qui embêtent nos élèves. Pendant deux millénaires, des connaissances et des techniques parfois exceptionnelles, souvent sans lendemain, mais toujours réservées à un très petit nombre mèneront l'Occident aux portes des Temps modernes : c'était hier.

C'est il y a trois cents ans que l'homme, délaissant les a priori philosophiques ou religieux, s'adonne, pour découvrir les lois qui gouvernent la nature, à l'observation et à l'expérimentation. La science, comme on l'entend de nos jours, est née ; certes, pendant qu'un Galilée, un Newton ou un Pascal fondent la physique classique, on brûle les quelques sorcières encore en liberté, certes on ne fait que commencer à se servir de la fourchette, mais le branle est donné qui conduira jusqu'à nous. C'était il y a peu ! En effet, que sont trois cents ans par rapport à la durée de l'Univers, de la Terre ?

Depuis ce fameux XVII^e siècle, les progrès ont été fulgurants. En deux siècles et demi, on réussira, croyait-on vers 1900, à tout expliquer, ou peu s'en faut. Newton servira à expliquer la trajectoire d'un obus ou l'orbite d'une planète, Lavoisier nous donnera la chimie, Pasteur réglera son compte à la génération spontanée tandis que Maxwell, enfin, unifiera magnétisme et électricité. Tout cela n'est pas peu, il faut le reconnaître. Si on ajoute à toute cette science quelques applications pratiques peu banales comme la machine à vapeur, le moteur à explosion, la lampe à incandescence et le bâton de dynamite, on comprend, ma foi, le cri du responsable du Bureau des brevets, à Paris, à la fin du siècle dernier : « Il n'y a plus rien à inventer ! » N'allez pas croire qu'il était le seul à être, à nos yeux, aussi naïf. N'est-ce pas Barthollet qui disait qu'à part quelques décimales à peaufiner, la physique n'avait plus rien à faire ? N'est-ce pas Lord Kelvin qui conseillait à son élève, Maxwell, de ne pas s'en aller en physique parce que cette science n'avait plus d'avenir ?

Au lendemain de l'exposition universelle de Paris (1889), le triomphalisme scientifique, on le voit, était de mise. Mais, on le sait aujourd'hui, on criait vic-

toire un peu trop tôt ; trois travaux vont ébranler la physique classique et conduire à une nouvelle physique, la quantique, objet de mon émerveillement :

— en 1900, Max Planck invente le mot *quantum* suite à ses travaux sur le rayonnement du corps noir : pourquoi une masse de fer prend-elle toutes sortes de couleurs jusqu'au blanc quand on la chauffe ? Petite question anodine qui...

— en 1905, Einstein invente le mot *photon* dans son étude sur l'effet photo-électrique : en termes d'aujourd'hui, qu'est-ce qui fait réagir un « œil magique » ? Deuxième petite question stupide qui...

— en 1913, Niels Bohr parle d'énergie de transition pour expliquer les raies spectrales émises par les atomes : pourquoi les corps simples n'émettent-ils pas tous le même type de lumière ? Une autre de ces questions bêtes capables de vous faire trébucher le meilleur professeur devant tout le monde...

Grâce à ces trois travaux, et à d'autres bien sûr, on mettra au point, en moins de cinquante ans, les formules mathématiques des phénomènes, gros et petits, qui nous entourent : l'état d'excitation d'un électron dans un micro-processeur, l'évolution d'une étoile à neutrons, ou, tout simplement (?), la mise au point d'un microscope à effet tunnel.

Remarquez que la bonne vieille physique de Newton tient toujours... pour mesurer la chute des pommes. Mais quand on change d'échelle, il faut d'autres lois ; au niveau des particules atomiques, il faut utiliser l'arsenal de la physique quantique.

Que nous dit-elle, cette physique ? En vérité, on ne sait trop ! Paradoxal, n'est-ce pas ? On sait s'en servir, mais on ne sait pas ce qu'elle cache. Nous voilà bien avancés ! Elle nous parle du monde de l'électron, depuis la flamme de votre briquet jusqu'aux plus gros accélérateurs ; elle permet de remonter dans l'histoire de l'univers jusqu'à un moment à vous donner des frissons (10^{-43} sec) ; elle vous dit que votre frère jumeau parti en voyage de noces vers la galaxie Andromède reviendra plus vieux de quelques années alors que vous, resté sur terre, serez redevenu cendres depuis longtemps. Disons les choses autrement : la physique quantique décrit à peu près complètement trois des quatre forces en jeu dans l'univers : l'électromagnétisme, les forces nucléaires faibles, les forces nucléaires fortes ; elle va jusqu'à dire que ces trois forces ne sont que trois aspects d'une seule et même force qui les a précédées dans l'histoire du cosmos, à une époque où les températures et les pressions étaient incroyablement plus élevées. Mais elle ne parvient pas encore à expliquer la force gravitationnelle et, partant, de l'unir aux trois

autres. C'est bien embêtant ! Mais, semble-t-il, ce n'est qu'une question de temps, on est sur la bonne voie, c'est sûr (...il me semble qu'on a déjà entendu ce refrain, vous vous souvenez...).

Alors, si elle explique tant de choses, cette physique, où est le problème ? Il est ici : *la physique quantique nous dit ce qui se passe mais ne nous dit pas ce qui est*. Autrement dit, elle nous dit à peu près tout des *phénomènes* que nous observons, mais ne nous dit rien de la *réalité* qui supporte ces phénomènes. Quelle est la réalité qui se cache derrière les belles formules de la physique quantique ? Voilà le problème ! *Shocking*, n'est-ce pas ?

D'où vient-il, ce problème ? Il vient de ce que la physique des particules, qui est une physique des probabilités, n'est pas basée sur une réalité dont on serait certain. Trois exemples :

1- Pour une particule donnée, la physique quantique permet de connaître soit sa position, soit sa vitesse, jamais les deux en même temps ; connaître l'une, c'est ignorer l'autre.

2- Une « particule » atomique est tantôt une onde, tantôt une particule, tout dépend de la façon de l'observer. Quand je l'observe en tant qu'onde, lors d'une expérience sur la diffraction de la lumière par exemple, que devient la particule ? Aussi bien dire qu'il ne s'agit ni d'une particule, ni d'une onde.

3- Deux particules séparées par des distances qui interdisent les liens de causalité, se transmettent des informations, c'est-à-dire qu'elles « communiquent entre elles » à des vitesses supérieures à celle de la lumière. Pourtant, la vitesse de la lumière, tout le reste le démontre, est une vitesse limite ! Comment peut-on la franchir ? Qu'y a-t-il derrière cette barrière ?

Vous le voyez, il y a comme cela dans la vie de ces petites choses qui rendent parfois nos « certitudes » bien vacillantes. Est-ce qu'une solution adéquate à ces trois problèmes risque de jeter par terre le bel édifice de la physique quantique ? Certains le pensent, d'autres (la plupart) pas. Est-ce que ces trois « difficultés » cachent une « réalité vraie » ou sont-elles le résultat d'une mesure incomplète ou imparfaite ? À peu près tous les physiciens refusent d'admettre l'hypothèse d'une mesure imparfaite ; il y a plutôt là, pensent-ils, une réalité qui nous échappe.

Ainsi donc, avec la physique quantique, nous serions en possession d'un formalisme (les lois et leurs formules mathématiques) extrêmement efficace dans ses applications, depuis la bombe atomique (beurk !) jusqu'à mon ordinateur (bravo !), mais dont

l'interprétation divise tout le monde : à quel monde, à quelle réalité renvoie ce formalisme ?

Voici quelques-unes des interprétations les plus courantes du formalisme quantique. Il y en a pour tous les goûts. Elles ne sont pas nées de physiciens en mal de publicité, loin de là. On a avancé chacune d'elles dans le but de comprendre (au moins partiellement) des faits d'observation que je ne décrirai pas ici. Chacune a ses partisans et ses adversaires, et elles sont toutes tenues en juste estime. Il ne s'agit pas ici d'inventions de la science-fiction, même si celle-ci s'en sert pour rendre ses récits plus croustillants. C'est de bonne guerre !

Interprétation #1

C'est l'interprétation dite de Copenhague, lieu où son auteur, Niels Bohr, l'a développée. Il n'y a pas de monde réel derrière le monde qui nous entoure. Autrement dit, le monde quantique n'existe pas ! Il ne faut pas chercher une réalité objective derrière le formalisme quantique qui nous sert si bien. Le monde qui nous entoure est bel et bien réel mais il flotte sur un autre monde qui ...n'existe pas. Est-ce bien ce que Bohr a voulu dire ? Oui : le monde quantique n'existe pas, il n'en existe qu'un formalisme abstrait. C'est la position de la majorité des physiciens.

Interprétation #2

C'est l'interprétation de Copenhague, deuxième manière, pourrait-on dire. Les partisans de l'interprétation #1, tout en continuant de croire qu'il n'existe aucune réalité profonde derrière le formalisme quantique, reconnaissent l'existence d'une réalité phénoménale : le phénomène existe pour celui qui l'observe. Pas d'observateur, pas de phénomène ! La

réalité serait créée par l'observateur... Mânes de Platon et de Kant, réjouissez-vous !

Interprétation #3

En dépit des divisions multiples que la science et l'esprit imposent à la réalité afin de la décrire, de la comprendre et de s'en servir, cette réalité forme en fait un tout indivis. Il n'y a pas d'un côté un observateur et de l'autre le réel observé ou pas ; il n'y a pas d'un côté le sujet et de l'autre l'objet : les deux forment une unité infrangible. On ne reprend pas ici la vieille scie qui dit que tout est dans tout ; on veut plutôt dire que l'observateur fait partie intrinsèque de la réalité, que l'univers est un tout indivis, que l'interconnexion quantique qu'on y observe est sa réalité profonde. Indissociablement, le plus lointain des trous noirs et moi, nous sommes un. C'est au tour des taoïstes de sourire !

Interprétation #4

La réalité est constituée par l'existence d'univers multiples. Toute mesure crée autant d'univers qu'il y a de résultats possibles à cette mesure. Il y a autant d'univers qu'il y a de possibilités d'univers, autant dire un nombre infini. Si vous lancez une pièce de monnaie en l'air et qu'elle retombe du côté pile, il se crée au même moment un univers parfaitement identique au vôtre à cette seule différence près que la pièce de monnaie y tombe du côté ... face. Voilà qui intéresse sûrement la science-fiction !

Interprétation #5

La logique de la physique n'a que faire de la nôtre ! Si on veut appréhender le monde quantique, il faut abandonner notre vieux mode de raisonnement et en apprendre un autre. Dehors la logique d'Aris-

Tableau A — Notre place dans l'univers

L'univers est vieux de 15 milliards d'années, la Terre de 5 milliards, l'Homme de 2 à 3 millions : ce sont là des chiffres qui ne disent rien tellement ils sont gros. Pour mieux saisir notre place dans le cosmos, ramenons son histoire à 3 ans (1 heure vaut 570 000 ans). La place de l'homme dans tout cela ? Insignifiante ou énorme, selon le critère choisi. Sa place physique, dans l'espace et dans le temps, est insignifiante, c'est évident. Mais si on pense à la complexité de l'organisation qui, des premiers atomes, a conduit au cerveau et à la conscience humaine, au sommet de la pyramide, cette place est énorme et belle.

An	Moment	Événement
I	1 ^{er} janvier 0h 0m ...s	Éclatement de la Singularité : apparition de la matière espace-temps
II	Début janvier	Apparition des protogalaxies et des premiers quasars
III	1 ^{er} janvier	Naissance du système solaire
	10 fév.	Apparition des algues bleues
	10 déc.	Apparition des sauriens
	31 déc. 20h	Apparition de l'homo sapiens
	23h 56m 23h 59m 20s 23h 59m 59s	L'homme est doué du langage articulé Apparition de l'écriture Rébellion des Patriotes

tote, de Descartes, dehors la logique mathématique de Boole, il faut passer à la quantologique ! Pourquoi pas ? N'a-t-on pas fait de même avec la géométrie euclidienne ? Riemann n'a-t-il pas remplacé Euclide quand Einstein nous a appris en 1916 que la gravité n'était pas une force mais une courbure de l'espace-temps ? Qu'en dirait le capitaine Spock aux oreilles pointues ?

Interprétation #6

C'est l'interprétation néoréaliste : le monde est fait d'objets réels qui existent bel et bien. À l'exception des mirages, des hallucinations et des illusions, le monde, observé ou pas, est bien là, palpable, mesurable. C'est à cause de sa faiblesse que l'esprit humain n'est pas capable, semble-t-il, de concilier la quantique et la réalité : « la physique quantique est encore incomplète, disait Einstein à Bohr ; elle sera complète quand elle décrira la réalité et non pas des probabilités. Je crois aux choses et non aux chances qu'elles ont de se produire. » C'est la voix du bon sens qui, selon Descartes, est ...

Interprétation #7

Ce n'est pas l'observateur qui crée la réalité mais sa conscience : c'est elle qui donne à l'objet observé ses attributs. Au cœur de toute science, fût-elle la plus matérialiste, on ne trouve pas la matière inanimée, mais une conscience vivante, la nôtre. Il n'est pas possible de faire de la mécanique quantique sans faire référence à la conscience. Le contenu de la conscience serait donc l'ultime réalité ? L'univers, être en progrès, est rempli de surprises, et son histoire se dévoile, de façon imprévisible, comme étant le résultat de l'activité de myriades de consciences. Spiritualité et quantique, voilà peut-être la combinaison gagnante...

Interprétation #8

Ce que mesure la physique quantique, ce sont des probabilités, des mondes en puissance, des mondes à mi-chemin entre le possible et le réel. Ce monde en puissance est à la fois moins réel et plus réel que le nôtre ; *moins réel* parce que ses habitants sont comme des fantômes, ce sont des tendances, des puissances qui attendent d'être mesurées pour passer à l'existence, sous nos yeux ; *plus réel* parce qu'il contient un très grand nombre de possibilités, de potentialités. Dans le monde quantique, tout est à l'état de puissance, rien ne se produit (en ce sens, rien n'existe... encore) ; c'est nous qui, par une mesure, faisons s'actualiser une potentialité qui, dans son monde à elle, serait toujours demeurée une potentialité parmi tant d'autres. Le monde quantique est rempli de promesses à l'état de promesses. Ce sont nos sens et nos instruments qui leur confèrent l'exis-

tence, attributs et limites. La pièce de monnaie est à la fois pile et face tant qu'elle n'a pas été lancée en l'air... Cher Aristote, comment nous trouves-tu ?

Voilà ! Être allé si loin pour finalement revenir à nos origines philosophiques. Quels détours ! Qui a tort, qui a raison ? Au fond, ça importe peu, vous ne trouvez pas ? Il est heureux et beau que nous sachions discuter du problème. Peut-être Kant a-t-il raison quand il établit des distinctions entre les *apparences* (ce que nos sens perçoivent comme phénomènes), la *réalité* (la chose en soi inaccessible en son essence, mais manifeste dans les phénomènes) et la *théorie* (les concepts par lesquels l'esprit humain essaie de concilier les apparences et la réalité).

La physique mécaniste et réductionniste des siècles derniers a été obligée, en notre siècle, de revoir son cadre conceptuel, dramatiquement. Il en est résulté une vision du monde autrement plus riche. Nous commençons à entrevoir que le monde n'est pas l'horloge qu'on croyait, que connaître chacun des éléments de la cellule ne permet pas de comprendre la cellule, que la conscience n'est pas réductible aux pulsions que les psychologues y découvrent. Nous sentons confusément que c'est l'organisation globale de l'univers (micro ou macroscopique) qui porte signification et que nous sommes bien naïfs (... et dangereux !) dans nos prétentions d'apprentis sorciers spécialisés.

Petite bibliographie

Il y a 25 ans, des ouvrages de vulgarisation sur la physique quantique étaient introuvables, particulièrement en français. De nos jours, ils existent, nombreux, et on est impardonnable de ne pas en avoir lu quelques-uns. Je donne ici quelques titres récents (tout va si vite dans ce domaine !) dans un ordre qui me paraît être prudent pour qui veut se lancer dans l'aventure...

Sagan, C., *Cosmos*, Paris, Mazarine, 1981.

Reeves, H., *Patience dans l'azur*, nouv. édit., Paris, Seuil, 1988.

— *L'heure de s'enivrer*, Paris, Seuil, 1986.

Weinberg, S., *Les trois premières minutes de l'univers*, Paris, Seuil, 1978.

Spiro, M., *La matière espace-temps*, Paris, Fayard, 1986.

Hoffmann, B., *L'étrange histoire des quanta*, Paris, Seuil, 1982.

Gribbin, J., *In Search of the Big Bang*, New York, Bantam Books, 1986.

Pagels, H., *Perfect Symmetry*, New York, Simon and Schuster, 1985.

Crease, R., *The Second Creation*, New York, Macmillan, 1986.

Trefil, J., *The moment of Creation*, New York, Macmillan, 1983.

Herbert, N., *Quantum Reality*, New York, Doubleday, 1985.

Davies, P., *God and the New Physics*, New York, Simon and Schuster, 1983.

Tableau B — Du Big Bang jusqu'à nous

Pourquoi cela a-t-il commencé ? Qu'est-ce qui a provoqué l'apparition de l'Univers ? Pourquoi du néant est-il sorti notre monde ? La réponse des mathématiques : c'était inévitable parce que, du point de vue des mathématiques, le néant est une réalité très instable...

L'exposant négatif indique tout simplement un nombre fractionnaire. Ainsi 10^{-4} s signifie 0.0001 seconde ou 1/10 000^e de seconde, tandis que 10^5 ans signifie 100 000 ans.

Entre le temps 0 et le temps 10^{-43} s, on ne sait pas ce qui s'est passé ; la physique ne peut pas reculer plus loin dans le passé parce qu'elle n'est pas capable de traduire en termes quantiques la loi de la gravitation universelle : c'est le mur de l'ignorance de la physique moderne. Quand elle le pourra, on aura alors (?) la Théorie de la Grande Unification, c'est-à-dire la loi qui décrira l'univers au moment de son arrivée dans l'existence et qui expliquera toutes les autres lois de la physique. Voir !

Roger Caratini, *L'année de la science*, Paris, Seghers/Laffont, 1987, p. 19.

Temps après le Big-Bang	Température en Kelvins	Ordre de grandeur de l'Univers	Événements	Matière présente
10^{-43} s	10^{32} K	10^{-29} m	Grande unification des forces dans le vide.	Vide
10^{-32} s	10^{32} K		Début de l'inflation de l'Univers.	Vide
10^{-32} s	10^{32} K	10^{-1} m	Fin de l'inflation ; <i>E</i> et <i>f</i> unifiées ; <i>F</i> et <i>G</i> différenciées ; formation de matière (soupe aux quarks).	<i>q</i> et \bar{q}
10^{-12} s	10^{14} K	$< 3.10^{11}$ m	Les forces sont dissociées : <i>E</i> , <i>F</i> , <i>F</i> , <i>G</i> .	<i>q</i> , \bar{q} , e^- , e^+ , μ , $\bar{\mu}$
10^{-6} s	10^{13} K	10^{13} m	Equilibre entre matière et rayonnement, phase des hadrons.	$3q$, e^- , e^+ , μ , $\bar{\mu}$, <i>p</i> , \bar{p} , <i>n</i> , \bar{n} (matière ionisée)
10^{-4} s	10^{13} K	expansion	Fin de la production de particules ; les protons et les neutrons « immobilisés ». Début de la phase des leptons.	idem
1 s	10^{10} K	expansion	Fin de la phase des leptons qui redeviennent des photons. Début de la phase de rayonnement.	idem
3 minutes	10^9 K	expansion	Formation des noyaux d'atomes légers (nucléosynthèse).	idem + noyaux de H, D, He3, He4, Li7
30 minutes	refroidissement	expansion	Fin de la nucléosynthèse.	idem
10^4 ans	3 000 K	expansion	Formation des atomes neutres ; l'Univers devient transparent ; naissance du rayonnement cosmique. La force déterminante est la seule gravitation ; structuration de l'Univers.	atomes, structures cosmiques.
10^8 ans	100 K	expansion		Protogalaxies, premiers quasars.
$10,5 \times 10^8$ ans	15 K	expansion	Naissance du système solaire et de la Terre.	
15×10^8 ans	Le présent et le rayonnement cosmique : $T = 2,7$ K			

L'HISTOIRE DE L'UNIVERS DEPUIS LE BIG-BANG.

E: force électromagnétique; *f*: interaction faible; *F*: interaction forte; *G*: gravitation. Les quarks et les antiquarks sont représentés par les symboles *q* et \bar{q} ; l'électron par e^- , le positron par e^+ ; μ , *p* et *n* représentent respectivement le muon, le proton et le neutron.