

Causalité, conscience, et mécanique quantique

Claude Paul Bruter

Département de Mathématiques. Université Paris 12

Avenue du Général de Gaulle

94010 CRETEIL CEDEX

E-mail: bruter@univ-paris12.fr

bruter@u-pec.fr

Le train de l'univers et de la société étaient tels
que les apparences
se révélaient n'être que tromperies fallaces et illusions.
J.-F. Parot

Ce n'est pas une découverte, un secret non plus. Nous n'avons du monde que des apparences. Lorsqu'elles se répètent à longueur de générations d'hommes, on en fait des certitudes. Certaines sont tenues pour absolues : le doute à leur égard mérite pourtant la même rigueur, ainsi, par conséquent, des relations causales qui sont parfois établies.

Le phénomène de causalité est l'expression d'une stabilité particulièrement forte. Compte tenu des réserves que l'on vient d'exprimer, la vérité de cette causalité mérite débat. Si les propriétés internes associées à deux phénomènes présentent une stabilité faible, si l'instabilité des données environnementales a une influence notable sur le couplage entre ces deux phénomènes, si l'acuité de notre regard sur ces phénomènes s'affine ou s'appauvrit, la causalité entre leurs manifestations en vient souvent à présenter à nos yeux un caractère incertain. J'emploierai l'expression d'*incertitude apparente* ou de *causalité incertaine* pour caractériser ce phénomène.

Un exemple fort simple illustrera ce propos. Soit un petit cours d'eau chutant brutalement sur les aubes d'une roue, liée à un générateur d'électricité qui alimente en continu une ampoule. La roue ne tourne, et donc l'ampoule n'éclaire, que lorsque la quantité d'eau qui tombe sur les aubes dépasse un certain seuil. Supposons alors un observateur capable seulement de déceler la présence de l'écoulement de l'eau

(phénomène A), et la lumière émise par l'ampoule (phénomène B). Les aléas climatiques que l'observateur ne peut prévoir, son incapacité à évaluer le débit exact du cours d'eau, lui interdisent d'établir un lien précis de cause à effet entre les deux phénomènes. Tout au plus pourra-t-il conclure à une causalité incertaine.

Ce que l'on constate par ailleurs, sans qu'on parvienne à bien les quantifier, est, en matière de stabilité, la présence d'échelles de grandeurs. Certains phénomènes physiques élémentaires nous paraissent dotés d'une stabilité particulièrement élevée. Lorsqu'ils sont insérés au sein d'édifices très complexes, des conflits internes de stabilité peuvent finir par nuire à la stabilité de ces tous. Au contraire, dans d'autres cas, l'harmonie entre les stabilités des constituants peut favoriser la stabilité de ces mêmes tous. En d'autres termes, davantage sont en présence des familles distinctes de composants d'un tout, davantage en général a tendance à s'accroître son instabilité, et par conséquent l'incertitude apparente sur la causalité des phénomènes liés à sa présence.

Plus sont récentes les constructions de la nature, êtres vivants, leurs sociétés, et plus s'élargit le champ des constatations de cette nature. L'une de mes thèses est que les phénomènes et mécanismes présents au sein du monde physique sont également présents dans le règne vivant, où ils sont en quelque sorte dilatés dans l'espace et dans le temps, et dans leur complexité. Une formule lapidaire serait de dire que l'observation du monde vivant peut servir de loupe à l'observation du monde physique. Une telle position peut paraître étrange ou incorrecte puisqu'en général, on a tendance au contraire à extrapoler vers le vivant les comportements et organisation observées dans le monde physique. C'est bien toutefois qu'on pressent et ressent des analogies plus ou moins marquées entre les deux règnes. Les obstacles à l'observation des évolutions du vivant peuvent provenir d'une moindre stabilité dans la durée, de transitions parfois éphémères, de la trop grande diversité des composants et des facteurs pesants sur le devenir, ou bien au contraire d'une évolution trop lente pour être saisie, compte tenu des limitations dans le temps de nos capacités d'observation. Au contraire, dans le monde physique habituel, l'homogénéité des constituants, permettant leur évolution commune et à un même rythme, permet de décrire cette évolution par des formules synthétiques,

équations différentielles ou aux dérivées partielles, où figure le temps, évalué selon des échelles adaptées tant aux possibilités de l'observation qu'aux rapidités de ces évolutions.

Le monde physique infiniment petit se situe aux confins de ce que j'ai nommé le monde physique habituel. Certains comportements et phénomènes nous paraissent a priori quelque peu inhabituels. Seuls quelques types de comportement ont pu être répertoriés, observés et représentés dans le langage simplifié mais éclairant des mathématiques. Du point de vue pédagogique notamment, la mécanique quantique privilégie souvent la description et la représentation des comportements d'un objet appelé électron. Il faut dire tout de suite qu'on ne sait pas grand chose sur cet objet. Il lui arrive de s'associer à des congénères, on ne sait pas bien pourquoi ni comment (dans le cas d'appariement – paire de Cooper – on dispose d'un mécanisme explicatif qui ne marche pas toujours [2]). Il arrive que sa masse change.

Ce que décrit le formalisme de la mécanique quantique avec une très bonne précision est le comportement statistique d'un nombre très réduit de caractéristiques de ces objets, accessibles avec nos moyens actuels. Ces moyens d'investigations de leurs propriétés ne nous permettent pas aujourd'hui d'aller plus loin dans leur description. Nous ne savons pas si nous y parviendrons un jour, si cet horizon est définitivement bouché ou non.

Si les expériences qui ont permis de fonder la dite mécanique quantique ont été conduites aux températures ordinaires, les efforts se portent aujourd'hui sur l'observation et la compréhension des électrons au sein des supraconducteurs, qui fonctionnent à de très basses températures.

C'est en présence de ces très basses températures qu'ont pu être menées les expériences d'Aspect et ses analogues, qui renforcent le statut de la mécanique quantique. En désexcitant à ces températures un atome de cadmium, on produit quasi simultanément deux photons de longueur d'onde différente. L'écart temporel entre les deux productions n'est pas actuellement mesuré. J'emploierai pour ma part l'expression

de « photons jumeaux » pour les nommer, de préférence à celle de « photons intriqués » utilisée par les physiciens. J'émet l'hypothèse que la basse température sans doute et la rapidité de création favorisent la présence chez ces photons de quelques propriétés très voisines et très stables, de sorte que certains de leur comportements, comme ceux observés dans les expériences évoquées, restent fortement corrélés, indépendamment de variations acceptables et observées de leur environnement. Cette hypothèse n'est contradictoire ni avec le point de vue d'Einstein qui estimait la présence constante de spécificités locales, ni avec celui de la mécanique quantique qui permet des évaluations statistiques des faits et des événements que nous sommes parvenus à rendre accessibles. L'hypothèse qui concilie les deux points de vue attribue donc à ces photons l'existence plausible de propriétés, actuellement, mais peut-être à jamais pour nous, impossibles à définir.

On connaît l'influence du milieu environnant sur la capacité à affaiblir la gémellité humaine. La gémellité physique est probablement et en général plus difficile à rompre, faute entre autres d'en connaître les raisons. On n'a pas cherché ou trouvé les moyens de modifier les conditions environnementales physiques qui pourraient affaiblir celle des paires de photons simultanément produits dans l'expérience d'Aspect. A la température de cette expérience, la création des photons s'accompagne d'un phénomène de trempe : il aurait pour effet de bien stabiliser les propriétés. Peut-être, si l'on parvenait à réaliser ce type d'expérience à des températures beaucoup plus élevées, la stabilité des photons et par suite leur corrélation seraient moins élevées.

Quoiqu'il en soit pour l'instant, nous restons en présence de domaines où nous n'avons pas accès à la causalité complète. Cependant, aucune preuve n'existe de l'absence de celle-ci.

Il est un autre thème général d'étude, celui des milieux en transition de structure, où la causalité stricte et fine nous échappe encore. C'est le cas bien sûr des milieux en transition de comportement entre le quantique et le classique. Dans le monde quantique, il est admis, compte tenu de nos moyens d'observation, que toute une suite d'états sont

potentiellement et simultanément présents, voire quasi immédiatement incarnés¹. Cela veut dire que dans certaines conditions d'observation, comme celles auxquelles ont été pratiquées les premières expériences, il existe une forte instabilité de ces états particuliers, où l'influence du milieu environnant permet de passer de l'un à l'autre quasi spontanément selon l'apparence, favorise l'incarnation d'un, voire peut-être de plusieurs d'entre eux.

Mais, si l'on parvenait à dilater les écarts entre les états particuliers, à grossir les effets de l'environnement sur les comportements de ces états, on pourrait acquérir une meilleure connaissance de ces derniers, et encore mieux comprendre le bien-fondé du formalisme quantique. Or c'est que la nature fait pour nous.

J'ai évoqué tout à l'heure le phénomène de loupe que fait le comportement du monde vivant sur celui du règne physique. Le passage de ce dernier au vivant s'est accompli d'une manière qui apparaît plus ou moins continue, selon le degré d'éloignement que l'on prend pour contempler le processus. De sorte que les états intermédiaires de ce processus possèdent cette même propriété de pouvoir jouer le rôle de loupe pour l'observation des états qui leurs sont antérieurs. C'est ainsi que pour les objets du monde classique encore proches des objets du monde quantique, certaines observations sur les manières dont s'effectuent les transitions entre ces deux types d'objets peuvent nous apporter des lumières, des éléments de meilleure compréhension du monde quantique.

Les expériences faites sur les milieux transitoires entre monde quantique et classique font voir justement le rôle des données environnementales dans les phénomènes de décohérence. Les conditions environnementales contribuent à stabiliser les états sur des orbites particulières, et de ce fait à éliminer toutes les autres.

¹ Je reprends ce trait de l'univers quantique selon lequel toute une suite d'états seraient potentiellement et simultanément présents, voire quasi immédiatement incarnés. Il me semble que le phénomène suivant, qui chaque jour m'étonne, en est une illustration, sans doute parmi les plus parfaites : un simple appareil de radio constituant le dispositif d'observation nous révèle qu'en chaque point de notre espace sont superposées une infinité d'ondes dont les fréquences semblent former un continuum numérique. Un autre phénomène merveilleux est celui de la stabilité foncière de la vitesse de la lumière.

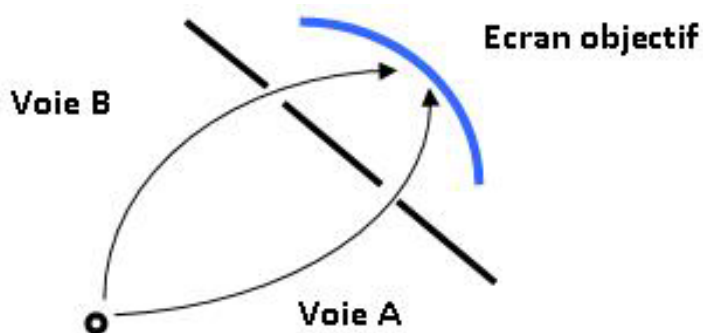
En ayant ainsi eu recours au concept essentiel de stabilité, on se trouve donc finalement en présence d'un schéma descriptif cohérent qui nous aide à comprendre le pourquoi de certaines de nos observations à des échelles de petitesse fort différentes, à encore mieux valider leurs représentations mathématiques.

Les phénomènes de changements de stabilité, parmi lesquels figurent ceux de décohérence, sont associés à des valeurs particulières de certains paramètres en évolution. Le mathématicien dit la même chose en parlant de phénomènes de bifurcation en des valeurs singulières des paramètres. Ce n'est pas sous cet angle que certaines expériences classiques ont été décrites. Il conviendrait peut-être de le faire, obtenant ainsi une unité de compréhension et de description de divers comportements dans le monde physique. L'expérience de pensée que je vais retenir est la plus classique, celle décrite par exemple dans le premier chapitre du cours de physique de Feynman sur la mécanique quantique [3]. Il s'agit en fait de l'expérience fondatrice de Young, où l'on utilise d'autres particules que les photons lumineux. On envoie des électrons sur un écran percé de deux trous ou de deux fentes, l'écran étant par derrière éclairé par une source lumineuse. Lorsque la longueur d'onde λ de la lumière est plus petite que la distance δ_μ séparant les deux trous, on sait en partie où passent les électrons². Lorsque la longueur d'onde est plus grande que la distance δ_μ on ne parvient pas à savoir par lequel d'entre ces trous passent les électrons³. Cette longueur d'onde joue le rôle de paramètre de bifurcation, la valeur de bifurcation étant δ_μ : lorsque la longueur d'onde lui est supérieure, on est dans une situation analogue à la cohérence, lorsque la longueur d'onde lui est inférieure, on est dans une situation analogue à celle de décohérence, c'est-à-dire d'affaiblissement de la stabilité de certaines propriétés par rapport à des fluctuations particulières de l'environnement, autorisant la particule à adopter d'autres comportements.

En présence de l'état de cohérence, l'électron qui viendra frapper l'écran est censé passer par l'une ou l'autre des fentes. C'est nous-mêmes qui envoyons cet honorable kamikaze se jeter sur l'écran, atteindre ce but. Il obéit aveuglément. Devons-

² et ⁴ Autrement dit, l'électron possède la *capacité potentialité* de passer par A ou par B.

nous considérer qu'il possède quelque liberté dans le choix de la porte qu'il va franchir ? Non sans doute en ce qui le concerne. Un jeu d'influences très locales et inconnues de nous s'exercent probablement sur lui, elles guident son mouvement.



L'aventure de ce personnage n'a-t-elle aucun rapport avec celle de celui-ci, d'une autre envergure, d'une toute autre position dans l'échelle phylogénétique ? Soit une personne à qui l'on a assigné, ou qui s'est assigné lui-même un objectif. Pour l'atteindre, il doit s'affranchir d'un obstacle, le contourner. Deux voies de réussite s'offrent à lui. Que de situations possibles !

Supposons par exemple qu'il ne possède qu'une vision floue de ces deux voies, il ne sait trop laquelle choisir spontanément ; les deux voies semblent posséder les mêmes avantages, présenter les mêmes difficultés : elles sont dans un état de cohérence l'une vis-à-vis de l'autre. Alors notre « électron « libre » » effectue dans sa tête des sortes de simulations de parcours virtuels selon chacune des voies, évaluant à chaque fois une probabilité d'arriver à ses fins.

Mais voici qu'au fil du temps, les connaissances sur l'une des voies, puis peut-être sur les deux, s'enrichissent et lui suggèrent petit à petit de privilégier l'une d'entre elle. Ces connaissances, assimilées aux conditions environnementales, ont des effets de décohérence.

Cette situation se généralise immédiatement à un groupe d'individus qui s'attachent à la résolution d'un problème pour la résolution duquel plusieurs solutions sont envisagées. Ce n'est que lorsqu'un niveau de compréhension est atteint qu'émerge la décision. N'approfondissons pas ici la richesse d'observations et d'analyses située en arrière-plan de ce qui fonde la compréhension. Le point le plus important à souligner, aussi trivial soit-il, est la présence d'un seuil en deçà duquel la confusion règne, et au delà duquel se dessine, apparaît le seul canal dans lequel va s'engouffrer l'énergie de l'action. Ici encore seuil et canal sont en quelque sorte des mots-valises, qui recouvrent chacun une description et une organisation complexes.

La mécanique quantique parvient à établir un formalisme descriptif et quelque peu prédictif de par la simplicité apparente des acteurs et des objectifs visés, qui sont toujours les mêmes ou du même type, et relativement stables. La situation est évidemment tout autre lorsqu'on s'attelle à décrire, tant dans sa globalité que dans son détail, un processus décisionnel et actantiel relevant d'un groupe d'individus ou d'un seul homme.

La collectivité des neurones chez l'individu est une organisation décisionnelle. Une organisation complexe, en voie de déchiffrement. Certains groupements sont stabilisés, spécialisés dans telle ou telle fonction, dans tel ou tel type d'action : par exemple faire du calcul mental, ou diriger les mouvements de la main, des doigts. La nécessité de la sauvegarde a conduit à la mise en place de cette organisation. Certaines aires cérébrales, les sensorielles, s'attachent à la reconnaissance des formes, des sons, des odeurs. Elles ne sont pas indépendantes les unes des autres, elles participent en synergie avec tous les autres modules à la mise en état du corps d'abord individuel mais aussi, de manière plus lâche, du corps social, sur les plans physique et psychologique, et par là il faut aussi entendre le plan intellectuel, dans le but de maintenir, tant dans l'immédiat qu'à des différents termes plus ou moins éloignés, cette sauvegarde du soi.

La reconstitution par notre cerveau de notre environnement, les créations qu'il accomplit de scénarios qui décrivent des évolutions et des états futurs possibles des différentes facettes de cet environnement, la nécessité de leur transmission à ceux qui

nous entourent, ont conduit à la mise en place d'un sous système de recueil de l'information interne en même temps que de son expression externe éventuelle. Ce n'est que lorsque ces scénarios ont atteint un niveau de construction assez élaboré qui semble leur conférer la viabilité qu'ils peuvent apparaître au niveau des aires sensorielles et associatives, et notamment auditive [3]. Correspondant à celle de bifurcation en mathématiques, on retrouve ici la notion centrale de seuil à partir duquel se stabilise un ensemble de situations, permettant l'émergence éventuelle d'un nouveau comportement, d'un nouveau phénomène. En l'occurrence, le seuil une fois atteint, l'opération peut être verbalisée, et, par le jeu de l'aire auditive, être entendue sans pour cela qu'aucun son ne soit émis. On est alors pleinement conscient du résultat de nos activités mentales.

La conscience se rapporte à l'existence d'objets, de faits, décelés de manière directe comme indirecte. Cela suffit-il pour énoncer que tout objet de la nature possède une conscience, car en effet tout objet réagit à des variations spécifiques de son environnement ? Sans doute, non.

Définition : On *conviendra* ici de dire qu'un objet possède une *conscience potentielle* s'il est capable de s'auto-transformer pour maintenir l'intégrité du *soi* face aux modifications de son environnement.

Cette notion de conscience est intimement liée à celle du **soi**, un invariant fondamental de tout objet. Il s'agit d'un soi de type jungien, et que Jung n'a nullement défini de manière précise. On va en proposer ici une définition, sans doute encore insuffisante, sous la forme d'une caractérisation.

Définition : On appellera « *soi* » d'un objet l'ensemble des fonctions qu'il est capable spontanément de remplir.

Selon cette définition, un robinet, par la fonction qu'il remplit, possède un soi ; certes, il peut modifier sa forme selon les changements de température, mais sa fonction est de moduler le débit d'eau : il ne saurait le faire par lui-même. Il ne saurait avoir de conscience potentielle.

Toutes ces fonctions obéissent à la même règle constitutive et primordiale, être placées, façonnées pour concourir à donner à l'objet l'état le plus stable possible au sein de l'environnement dans lequel il se situe.

Comme ces fonctions ont un support physique, il est nécessaire que les propriétés du support lui-même, de leurs constituants, soient adaptées pour que la règle soit satisfaite. Ceux que nous connaissons ne sont apparemment sensibles qu'à un nombre très restreint de types de modifications de leur environnement, celles créées par des champs électriques et magnétiques par exemple, où les conditions de meilleure persévérance dans leur état ont pu être établies de façon assez sûre et simple.

On peut se demander s'il existe des bactéries, voire des virus ou même des protéines, qui seraient proches de posséder cette forme de conscience potentielle, ou en seraient plus ou moins déjà pourvus. La même question se pose pour les assemblages en collectivités organisées d'êtres cellulaires, assemblages qui finissent par acquérir des différenciations internes ayant des vocations fonctionnelles reconnues.

Ce qui distingue la potentialité de conscience de la présence de cette conscience est le fait que le conscient parvient en plus à pressentir et même à reconnaître sa propre singularité, ses propriétés d'unicité, au sein du monde environnant.

Il est fort possible que la plupart sinon tous les habitants du règne animal soient dotés de cette conscience, à des niveaux d'élaboration plus ou moins élevé, et selon les circonstances qui peuvent arbitrer la valeur du seuil à partir duquel apparaît le conscient. Ainsi, le fait de reconnaître un danger, une proie peuvent abaisser ce seuil, ils sont autant d'indices d'un ressenti probable du soi. Au contraire, l'immersion au sein d'une foule tend à effacer la personnalité, une sorte de champ analogue à celui d'un champ électromagnétique dirige le mouvement de cette foule et en oriente dans le même sens toutes les particules, les ressorts de l'individualité ne sont plus stimulés, leur vigueur est au contraire ensommeillée, abaissée, comme étouffée. Une sorte de phénomène d'indifférenciation se met en place, l'activité des constituants de la foule se trouve alors

dirigée vers une seule fin, une seule activité. Ainsi se sont peut-être créés, au cours de la phylogenèse, les amas cellulaires à fonctionnalité restreinte mais bien définie. Dans le cas de la foule humaine, il vient comme un transfert des différents sois individuels vers le soi des animateurs du collectif, un soi qui a naturellement tendance à devenir excessif au point d'engendrer et d'accompagner des formes de paranoïa aux conséquences *in fine* destructrices.

Comme l'auditeur et le lecteur n'ont pu manquer de le remarquer, ces propos, qui ont eu trait à la causalité, à la mécanique quantique, au phénomène de la conscience, ont pu être réunis ici parce que l'examen de quelques-unes des manifestations de ces derniers fait apparaître une raison commune à leur existence, sans doute parmi les plus pertinentes. Cette raison est la présence et la recherche de la stabilité, de la pérennité⁴. La richesse et la complexité pour nous du monde et de ses différents règnes rendent difficile la mise sur pied de représentations claires et opératoires des différents objets qui peuplent cet univers. Parvenir à dégager des éléments conceptuels qui guident le déploiement de son architecture, sur lesquels s'appuient son organisation, est une étape nécessaire pour enrichir son intelligibilité. La mise en évidence d'universaux dans le mode d'évolution de l'univers peut contribuer à définir des principes directeurs de l'observation, à orienter et guider l'observation pertinente. Il est sans aucun doute du rôle de la philosophie des sciences de participer à ce programme constructif.

Bibliographie

- [1] C. P. BRUTER, *Topologie et Perception, tome 2 (Aspects neurophysiologiques)*, Maloine-Doin, Paris, 1976.
- [2] G. COLLINS, *Une clef en fer pour la supraconductivité à haute température*, Pour la Science, 386, Déc.2009, 46-54.
- [3] FEYMAN / LEIGHTON / SANDS, *Mécanique quantique*, InterEditions, Paris, 1993.

⁴ Platon est l'un des plus grands philosophes de la Nature. Il semble être le premier à avoir fait cette remarque anodine : « Dans ce cas, en effet, en vertu du même raisonnement que tout à l'heure, la nature mortelle cherche, dans la mesure où elle le peut, à se donner perpétuité, immortalité. Or, elle peut seulement par ce moyen, la génération, ... »