

## I.

### VARIATIONS SUR LE PARADOXE «EPR»

P. V. GROSJEAN

Le centenaire de la naissance d'Albert Einstein aura donné l'occasion de beaucoup reparler, en cette année 1979, de l'aversion viscérale que le génial physicien-philosophe éprouvait et manifestait à l'égard de la doctrine philosophico-physique que l'Ecole de Copenhague (celle de Niels Bohr) avait proposée et propagée, dès 1927, pour interpréter le formalisme mathématique de la Mécanique Quantique.

A ce propos, il importe d'abord de souligner qu'Einstein n'était pas le seul de son avis, et qu'il a fait école. Certes, l'opposition ne fut pas et n'est toujours pas très nombreuse; mais à l'époque, elle rassembla des physiciens de tout premier plan, dont Planck, Schrödinger, de Broglie, c'est-à-dire certains des fondateurs de la nouvelle Mécanique.

Seuls d'ailleurs de grands noms pouvaient se permettre de jouer aux dissidents; l'interprétation de Copenhague, bien que non contraignante (et peut-être même à cause de cela), avait pris une valeur de dogme, et malheur au jeunot qui aurait osé s'opposer à l'idéologie dominante. Car il faut bien parler ici d'idéologie greffée sur la physique puisque, en ce qui concerne le fond même du problème, à savoir la valeur représentative et prédictive des équations quantiques, personne, à commencer par Einstein lui-même, personne ne mettait ni ne met en doute le bien-fondé des dites équations. Mais voilà, l'esprit humain peut-il se contenter d'un pur formalisme, vide de toute image sous-jacente? Oui, répondra le positiviste; non, rétorquera le réaliste.

La célèbre controverse Bohr-Einstein est en quelque sorte le conflit de deux épistémologies, la positiviste avec Bohr et la réaliste avec Einstein. De cette lutte déjà lointaine entre deux colosses,— où Bohr gagnait toujours, soit dit en passant,— il

subsiste encore aujourd'hui un certain malaise, dû à ce que, d'un côté comme de l'autre, il n'y a pas d'unanimité profonde: Les opposants à l'École de Bohr n'arrivent pas à proposer une quelconque solution de rechange qui soit vraiment inattaquable; et en face, les avocats de la défense développent de très subtiles argumentations, mais toutes différentes, ainsi qu'Einstein le leur faisait remarquer avec une ironie caustique.

De toutes les objections ingénieuses soulevées par ce dernier, l'actualité a conservé celle connue sous le nom de «paradoxe EPR». C'est en Belgique, en 1933, juste avant de quitter définitivement l'Europe, qu'Einstein eut l'idée d'une de ces «expériences de pensée» qu'il avait si souvent imaginées pour étayer avec succès toutes ses théories antérieures. L'ayant ensuite mise au point avec deux de ses collaborateurs de Princeton, Podolsky et Rosen (d'où le sigle «EPR»), il la publia en 1935 dans le *Physical Review*. Bohr, puis d'autres, y répondirent, bien sûr, mais fort difficileusement, et ainsi on ne peut prétendre aujourd'hui que la question soit définitivement tranchée. Si bien qu'en cette expérience conceptuelle,— devenue ces dernières années une expérience tout court,— certains voient l'expérience-de-Michelson-Morlay-de-la-fin-de-ce-siècle, l'expérience cruciale qui doit tout remettre en question.

\*  
\*\*

C'est à l'occasion du centenaire d'Einstein, précisément, que *Logique et Analyse* publie ci-après trois articles ayant en commun un même centre d'intérêt, l'expérience EPR, paradoxale pour les uns, non contradictoire pour les autres. L'article de M. Destouches résume une conférence donnée par l'auteur à Bruxelles, le 20 janvier 1979, sous le patronage de la Société belge de Logique et de Philosophie des Sciences; celui de M. Jasselette le complète fort heureusement, en particulier pour les personnes peu habituées au langage, aux idées et aux problèmes conceptuels de la Mécanique Quantique.

Au premier coup d'œil, le lecteur verra immédiatement, parmi ces deux physiciens, qui est l'«orthodoxe» et qui est le «dissident», qui est à tendance «positiviste» et qui est «réaliste».

Ceci à supposer que de tels distinguos aient un sens: Car pour le philosophe de la science Emile Meyerson, «il s'agit là d'une sorte de leurre, le physicien ne fait que se prétendre positiviste alors qu'en réalité ses principes sont tout autres, puisqu'il croit, dur comme fer (selon la locution populaire), à l'existence de l'objet extérieur à la sensation».

M. Costa de Beauregard, d'ailleurs, semble bien échapper, dans son article, à ces classifications. Ni orthodoxe ni dissident, il reprend ici certaines idées qu'il développe depuis longtemps déjà et qu'il avait lui aussi exposées à Bruxelles dans une conférence donnée sous le même patronage que celle de M. Des-touches. Pour lui, comme pour quelques autres, la solution du paradoxe EPR doit se chercher bien au-delà de tout conflit de théories immédiates: Il faut aller loin, très loin, au cœur même de la *causalité*, ce mot étant ici entendu au sens des physiciens du macroscopique (les cosmologistes par exemple), à savoir l'antériorité temporelle de la cause sur l'effet et conséquemment l'interdiction, faite à tout agent physique, de «remonter le temps» comme dans un roman de science-fiction. Or, justement, les physiciens du microscopique admettent parfaitement de telles remontées en Mécanique quantique relativiste, et il a suffi à M. Costa de Beauregard d'une «lecture littérale» des graphes de Feynmann,— que personne ne conteste,— pour jeter une lueur originale sur le paradoxe EPR.

\*  
\*\*

On peut relever de curieuses analogies entre le cas du paradoxe EPR et les cas de paradoxes en Logique. Ainsi, il existe plusieurs variantes du paradoxe EPR, et l'on en trouvera trois ci-après; toutes aspirent à peaufiner l'argumentation un peu simple, développée, en 1927 déjà, par Einstein au Congrès Solvay. Voilà qui rappelle l'évolution du vieux paradoxe du Crétois menteur vers des variantes plus sophistiquées: paradoxes des ensembles, des classes, des catalogues, des imprédictibles, des hétérologiques, etc.

Plus intéressante est cette autre constatation: la réfutation du paradoxe EPR, telle qu'élaborée par Bohr, ressemble quelque

peu à l'argumentation de Russell relativement aux types, ou à celle de Tarski et d'autres à propos des langues en Logique.

Bohr, en effet, nous dit ci-après M. Jasselette, «n'accepte de parler d'un système ou de phénomène que dans un contexte expérimental précis». Complétons quelque peu ceci:

Si l'observateur A mesure la composante, selon son axe OZ, du spin (pivotement) du système U, il exécute une certaine expérience; s'il mesure la composante  $\sigma_x$  selon OX, il fait *une expérience entièrement différente*, dans laquelle  $\sigma_z$  (la composante selon OZ) *n'a absolument rien à voir*,— et inversement: la mesure de  $\sigma_z$  exclut toute possibilité de connaître  $\sigma_x$ .

Par ailleurs, une expérience de mesure fait partie intégrante du phénomène physique dont elle s'occupe. C'est là l'une des idées fondamentales de Copenhague: Il y a interaction *jamais négligeable*, avec des conséquences lourdes d'indéterminisme, entre l'observant et l'observé quantique, entre le sujet et l'objet. En conséquence, les deux phénomènes physiques complexes, désignés par «spin vertical  $\sigma_z$  et sa mesure» et par «spin horizontal  $\sigma_x$  et sa mesure», *s'excluent mutuellement*. Au sens de Bohr, ils représentent deux aspects «complémentaires» du réel, aspects qui s'excluent l'un l'autre, *même en pensée*. Défense donc de les mélanger, *même en pensée*; défense de confronter une expérience qui a été faite avec une expérience qui ne l'a pas été. Et aussi, comme nous l'expose ci-après M. Jasselette, défense de séparer les deux composantes U et V de l'expérience EPR. Défense, défense,... sinon, paradoxe!

Pareillement, Russell nous défend de mélanger les types,— sous peine de paradoxe logique,— et Tarski nous interdit de mélanger les langues,— sous peine de paradoxe sémantique. De leurs travaux et de ceux de tant d'autres logiciens modernes découle la conclusion bien connue: Une langue logique donnée n'est jamais complète. De même, Einstein et bien d'autres constatent que la description bohrienne du réel quantique ne peut être complète.

En logique donc, comme en théorie «orthodoxe et positiviste» des Quanta, la réfutation des paradoxes obéit à un même schéma *répressif*: Il est défendu de... Ce qui revient finalement à dire: Il est interdit de paradoxer! On comprend que d'aucuns

trouvent cela aussi peu convaincant que les célèbres interdictions d'Auguste Comte, positiviste s'il en fût jamais. Ceux-là seront toujours tentés de répondre, comme ce personnage de Molière: «Et s'il me plaît à moi d'être battue?» Et s'il me plaît à moi de mélanger les langues? (Ce que vous et moi faisons à longueur de journée, et sans dommage, dans la vie courante, non logique.) Et s'il me plaît de mélanger les expériences? (Ce que font les physiciens, les chimistes, les ingénieurs, dans la vie courante, non quantique.) Ainsi engagé, le débat n'a pas d'issue bien claire, et c'est un peu le cas de la controverse Bohr-Einstein:

«Einstein, nous relate son biographe Banesh Hoffmann, Einstein dut admettre que la position de Bohr était logiquement inexpugnable. Mais parce que celui-ci s'était retiré dans une place forte imprenable, il avait refusé à Einstein le droit de lui opposer ses conceptions, et Einstein assimilait l'attitude globale de Bohr au solipsisme. Si on refuse le solipsisme, on ne peut pas le faire sur le terrain logique. Ce qui n'empêche pas de le refuser. C'est de façon tout à fait analogue qu'Einstein refusait l'interprétation de Copenhague de la Mécanique Quantique, non pas sur le terrain logique, mais sur celui de l'instinct et de la croyance.»

\*  
\*\*

Einstein avait-il raison? Avait-il raison, une fois de plus, contre les physiciens conservateurs, lesdits conservateurs étant ici les (ex)révolutionnaires de Copenhague? Ou bien lui, «créateur et rebelle» comme dit Hoffmann, était-il devenu lui-même un conservateur vieillissant? C'est dans le paradoxe EPR que l'on trouvera peut-être, un jour, plus tard, une réponse à ces questions,— lorsque ce paradoxe aura été résolu avec l'accord unanime des physiciens, ce qui est loin d'être le cas aujourd'hui, répétons-le...

On peut cependant prophétiser que cette résolution ne pourra sortir uniquement de schémas répressifs. Toute l'histoire des paradoxes de la Mathématique (le scandale des irrationnels, l'énigme des imaginaires, etc) et toute celle des paradoxes de

la Physique (voir l'article de Costa de Beauregard), toute l'histoire de la pensée parle en faveur d'une résolution «positive» et nullement «répressive» de tous les paradoxes, quels qu'ils soient, et même aussi sans doute de ceux de la Logique (cfr. P.V. Grosjean, «La Logique sur le corps de rupture des paradoxes», *Logique et Analyse*, n° 63-64, 1973). A cet égard, les trois articles ci-après, et plus encore le dernier peut-être, contiennent des éléments «positifs» qui ne pourront être ignorés d'aucun chercheur fasciné par l'histoire de ces paradoxes qui ont jalonné et jalonneront encore le cheminement de la pensée.

*Université de Mons*

P. V. GROSJEAN