

Cause et effet

Dans « *Physical Review* », vol. 180, p. 1266-81, P.L. Csonka développe dans un article intitulé : « Antériorité des effets dans la physique des particules », des idées sur la « causalité totale » selon lesquelles un effet peut à la fois précéder et suivre sa cause. Csonka a effectué une partie de ses travaux sur ce sujet révolutionnaire alors qu'il séjournait au CERN pendant l'été 1968. Cet article donne un bref aperçu général de quelques-unes des idées exposées dans son travail et des raisons qui l'ont amené à les proposer.

Le principe de causalité est un de ceux qui ont rarement été mis en question dans l'histoire de la science. Il dit qu'aucun effet ne peut précéder sa cause et est rebaptisé par Csonka « principe de la causalité retardée ». Ce principe fait tellement partie de notre mode de pensée que les deux phrases : « l'état suivant l'état immédiat » et « l'état provoqué par l'état immédiat » sont utilisées au même titre pour désigner « l'état consécutif ou résultant ». Les deux concepts de la succession temporelle et de la succession causale des événements se sont confondus (Csonka attire l'attention sur une confusion analogue des concepts dans l'Égypte ancienne où la direction du courant du Nil rendait synonyme les expressions « en aval » et « voyageant vers le Nord »).

Aujourd'hui, on considère comme « allant de soi » qu'un état résultant d'un autre état doit lui être postérieur dans le temps. Cependant, certaines tentatives ont été faites pour déterminer les implications d'une disjonction de ces deux concepts et d'une acceptation de ce que Csonka appelle la « causalité totale » dans laquelle un effet peut aussi précéder sa cause dans le temps.

Il y a cinquante ans environ, K. Schwarzschild remarqua que certains problèmes posés par la théorie classique de l'électromagnétisme pouvaient être résolus en abandonnant la causalité retardée (en observant que le champ « produit par » une charge soumise à une accélération pouvait aussi bien précéder que suivre l'accélération de la charge) mais sa théorie fut contredite par des observations effectuées dans d'autres domaines. H. Tetrode reprit vainement la même idée en faisant remarquer que l'élément qui absorbe est tout aussi important que l'élément qui émet pour constater la présence de radiations bien que l'absorption intervienne après la propagation des radiations. Quelque vingt ans plus tard, R.P. Feynman et J.A. Wheeler sont allés plus loin dans leur tentative d'explications du phénomène d'atténuation des radiations en utilisant l'électrodynami-

que classique mais ils ne purent expliquer l'absorption. Les cosmologistes ont aussi essayé dernièrement de faire entrer ces idées dans les modèles classiques de l'univers.

La nouvelle tentative de Csonka consiste à élaborer une théorie relative aux particules quels que soient leurs nombres quantiques plutôt qu'une théorie classique en se fondant sur le principe de causalité totale selon lequel l'effet et la cause ne sont pas liés à une succession temporelle. Plusieurs constatations l'ont amené à effectuer ce travail.

1. La plupart des équations dynamiques sont symétriques par rapport au temps. Il importe peu d'introduire dans ces équations le facteur $+t$ (effet postérieur à la cause) ou $-t$ (cause postérieure à l'effet); les mêmes lois de la physique sont valables dans le système considéré. La causalité totale conduit naturellement à une telle symétrie temporelle;

2. Il n'est pas possible de construire un enchaînement causal fini si on s'en tient seulement à la causalité retardée. Une succession d'événements est toujours illimitée — le premier état considéré doit avoir une cause qui doit à son tour avoir une cause et ainsi de suite. La causalité totale permet de fermer la boucle, le passé étant la cause du futur et vice versa. Il s'agit là d'une simplification conceptuelle extrêmement importante qui pourrait avoir une influence considérable sur les problèmes cosmologiques. Sur un plan général, cette théorie énonce par exemple que l'univers peut « se créer lui-même ».

3. On se heurte à de grandes difficultés lorsqu'on veut étendre le champ d'application des équations de base des théories des interactions électromagnétiques et des interactions faibles — les équations développées selon le principe de la causalité retardée donnent l'infini pour des quantités qui se révèlent finies à l'observation telle que la différence de masse entre le pion chargé et le pion neutre. Ces difficultés ne peuvent être résolues sans quelque changement fondamental. T.D. Lee et G.C. Wick ont étudié depuis lors ce problème en détail (voir COURRIER CERN, vol. 9, pages 35 et 106) et la solution qu'ils proposent suppose en fait l'effondrement du principe de la causalité retardée à l'échelle microscopique.

4. L'impossibilité de distinguer le passé du futur (si ce n'est au moyen d'une définition). La théorie de la causalité totale fait intervenir une « vitesse de la matrice temporelle » à partir de laquelle

la direction et la « vitesse » du temps peuvent être définies en un point quelconque de l'univers en fonction de la répartition de la matière (de manière un peu analogue à la théorie de la gravitation de Newton qui définit la direction de l'accélération en fonction de la répartition de la masse).

5. L'observation de la violation CP qui n'a eu lieu que dans les interactions très faibles. La théorie de la causalité totale pourrait expliquer ce phénomène comme un effet cosmologique dû à la transparence de l'univers aux neutrinos.

Une telle théorie doit évidemment expliquer les phénomènes observables dans l'univers — la corrélation prépondérante entre la succession temporelle et la cause et l'effet. L'idéal serait que cette théorie permette de découvrir une situation où cette corrélation habituelle pourrait être mise en défaut, où les effets pourraient précéder leurs causes; il serait alors possible de vérifier la théorie. (La théorie ne prévoit pas que l'antériorité des effets (dans le temps) *peut* être observée mais que rien n'exclut cette possibilité). La réalisation d'une telle expérience est proposée dans l'article de la revue de physique.

En raison de la transparence de l'univers aux neutrinos, ces particules pourraient faire apparaître un effet préalable dû à l'absence d'un signal d'annulation émis par l'environnement qui habituellement ne permet d'observer que des effets postérieurs. Il peut alors être possible de voir apparaître des neutrinos avant leur cause (par exemple la désintégration du pion) ou avec des quantités de mouvement dirigées vers le faisceau de pions. Si un détecteur est placé derrière le faisceau de pions produit dans l'accélérateur plutôt que devant lui, position dans laquelle il décèle normalement les neutrinos résultant de la désintégration du pion, il ne faut pas s'attendre à déceler les neutrinos de haute énergie si le principe de la causalité retardée est valable. Mais cette détection pourrait être possible d'après la théorie de la causalité totale. L'observation de ces neutrinos pourrait confirmer la validité de la nouvelle théorie.