



Disparition de Peter Higgs

"Comment le boson de Higgs éclaire l'énigme de la masse", par Étienne Klein

Étienne Klein publié le 10 avril 2024 7 min

[Étienne Klein](#) publié le 10 avril 2024

Le physicien Peter Higgs est mort. Lauréat du prix Nobel en 2013, il avait donné son nom au « [boson de Higgs](#) », une particule élémentaire dont l'existence avait été prédite dans les années 1960 et finalement attestée en 2012. **Étienne Klein**, physicien et philosophe qui a consacré plusieurs écrits à ce sujet, nous explique les ressorts de cette découverte majeure.

Peter Higgs est mort le 8 avril 2024 à Édimbourg, en Écosse, à l'âge de 94 ans. Ce théoricien pur jus avait reçu le prix Nobel de physique en 2013, conjointement avec **François Englert**, pour une idée qu'ils eurent l'un et l'autre, séparément, en 1964 et à laquelle est associée une particule élémentaire qui, depuis, porte son nom : le boson de Higgs. L'homme, qui était d'une modestie et d'une discrétion légendaires, avait compris mieux que personne le sens de cette phrase de **Gaston Bachelard** : « *Il faut que l'imagination prenne trop pour que la pensée ait assez.* » La sienne, rigoureusement accouplée à une grande maîtrise des mathématiques, le porta à s'intéresser à la question de l'origine de la masse.

D'où vient la masse ?

Comment se fait-il que nous ayons une masse ? Du fait que nous sommes constitués d'une matière qui est elle-même massive, répondons-nous spontanément, étonnés même qu'on puisse poser pareille question. En effet, dans notre esprit, les notions de masse et de matière apparaissent intriquées l'une à l'autre : nous ne parvenons ni à concevoir une chose matérielle qui serait sans masse, ni à imaginer une masse qui ne serait pas incarnée en quelque matière. Bref, la masse semble être une propriété à la fois évidente et obligatoire des choses matérielles.

Certes, mais tout cela ne nous dit pas d'où notre masse provient. Quelle est sa véritable origine ? Qui, de la masse ou de la matière, a fait office de poule, et qui a fait office d'œuf ? Notre corps étant constitués d'atomes, eux-mêmes constitués de particules élémentaires, cette question se transmute en cette autre : à quoi les briques élémentaires de la matière doivent-elles d'avoir une masse non nulle ?

Il se trouve que la bonne réponse à cette question, connue depuis peu, renvoie aux vestiaires tous nos préjugés. Car ce que les physiciens des particules ont découvert, c'est qu'au lieu d'être une propriété primitive des particules élémentaires, une caractéristique qu'elles porteraient « de par elles-mêmes », qu'elles possèderaient du seul fait qu'elles sont des particules de matière, leur masse apparaît plutôt comme n'étant qu'une propriété secondaire et indirecte résultant de leur interaction avec le vide... qui n'est pas vide !

Tout cela, j'en suis conscient, demande quelques explications.

Quantum-polo

Selon la physique quantique, pour que deux particules interagissent, il faut qu'elles échangent « quelque chose », et ce quelque chose est une particule caractéristique de l'interaction mise en jeu. Par exemple, lorsque deux électrons se repoussent du fait de la force électrique qui tend à les éloigner l'un de l'autre, il faut imaginer qu'en réalité ils échangent des grains de lumière, c'est-à-dire des photons.

Une analogie nous aidera ici à mieux comprendre. Imaginons deux barques sur un étang, dont chacun des occupants est démuné de toute espèce d'objet qui pourrait l'aider à diriger son embarcation. Il n'a ni rames, ni pagaies, ni perches. Supposons que les deux barques se dirigent l'une vers l'autre de telle sorte que la collision paraisse inévitable.

Inévitable ? Pas tout à fait. Car si l'un des occupants dispose d'un objet massif, par exemple d'une balle, et le lance avec vigueur au passager de l'autre barque, qui le lui renverra et ainsi de suite, les deux embarcations s'écarteront peu à peu

l'une de l'autre. Par l'entremise d'un médiateur spatial, en l'occurrence la balle, la succession des lancers créera une force répulsive capable de modifier les trajectoires.

Cette image permet de comprendre une chose importante : puisqu'une balle très massive condamne à ne faire que des passes courtes, la portée d'une interaction (c'est-à-dire son rayon d'action) sera d'autant plus faible que la masse de ses particules médiatrices sera plus élevée. Par exemple, dans le cas de l'électromagnétisme, la masse des photons (qui sont ses « balles ») étant nulle, la portée est infinie.

Rapport de force(s)

Quatre interactions fondamentales ont été identifiées à ce jour par les physiciens : la gravitation, l'interaction électromagnétique et les deux interactions nucléaires, l'une dite « faible », l'autre dite, « forte ». Au cours des années 1970, les physiciens ont pu démontrer que la force électromagnétique et l'interaction nucléaire faible n'étaient pas indépendantes l'une de l'autre, bien qu'elles soient phénoménologiquement très dissemblables : dans un passé très lointain de l'univers, elles ne faisaient en réalité qu'une seule et même force, dite « électrofaible », qui s'est par la suite dissociée : d'un côté l'interaction électromagnétique, dotée d'une portée infinie ; de l'autre, l'interaction nucléaire faible telle que nous la connaissons, dotée, elle, d'une portée très courte (moins de 10-15 mètres). Ils ont ensuite pu étendre ce type de considération à l'interaction nucléaire forte.

Le résultat de leurs travaux constitue le « modèle standard » de la physique des particules, dont les prédictions ont pu être très finement testées grâce à de très nombreuses expériences menées auprès des accélérateurs ou des collisionneurs de particules. Dans la profondeur de ses axiomes, ce modèle standard s'appuie astucieusement sur le concept de symétrie. On dit d'une chose qu'elle est symétrique si, après avoir été soumise à une certaine transformation, son apparence n'est pas modifiée. Par exemple, si l'on fait subir à une boule parfaitement sphérique une rotation de n'importe quel angle autour de n'importe quel axe passant par son centre, cela ne change ni sa forme ni sa position. Dans le monde des particules élémentaires, les symétries intéressantes opèrent non pas dans l'espace ordinaire, comme dans l'exemple que je viens de citer, mais au sein de structures mathématiques plus abstraites. Elles apparaissent comme étant directement liées à la façon qu'ont les systèmes physiques de se comporter sous l'effet d'une force, et c'est pourquoi il peut se révéler très fructueux d'identifier les symétries qui gouvernent telle ou telle catégorie de phénomènes.

C'est ce qu'ont fait les physiciens, qui ont ensuite radicalisé cette démarche : à chacune des interactions fondamentales, ils ont fait correspondre un groupe de symétrie spécifique, c'est-à-dire un groupe de transformations dont l'action est sans effet sur la dynamique des phénomènes concernés, et ils ont pu établir que la structure de ce groupe, dès lors qu'il est bien choisi, suffit à déterminer toutes les modalités de l'interaction en question.

La clef du champ

Mais cette correspondance formelle, presque magique, entre symétries et interactions a fini par engendrer un problème irritant : les symétries ainsi mises en avant impliquaient que les particules médiatrices de toutes les interactions (les balles) devaient avoir... une masse rigoureusement égale à zéro ! C'est effectivement le cas du photon, le médiateur de l'interaction électromagnétique dont la portée – nous l'avons dit – est infinie, mais pas du tout celui des balles qui médient l'interaction nucléaire faible, puisque celle-ci est de portée très courte : leur masse vaut de l'ordre de cent fois celle d'un proton !

Apparut ainsi un désaccord flagrant entre la théorie (les calculs) et l'expérience (les mesures). Il venait poser un problème d'un type récurrent dans l'histoire de la physique : que faire lorsque des faits viennent contredire les prédictions d'une théorie par ailleurs solidement éprouvée ? Chaque fois, deux hypothèses peuvent être envisagées. La première, dite « législative », consiste à considérer que les lois physiques sur lesquelles s'étaient appuyées les prédictions théoriques ne sont pas aussi exactes qu'on l'avait cru. Dans ce cas, il faut les corriger. La seconde, dite « ontologique », consiste à continuer de faire confiance aux lois physiques, mais à modifier, à partir d'elles, l'interprétation du phénomène qui est venu les contester. Par exemple en supposant qu'il existe « quelque chose », qu'on n'a pas encore identifié, qui, par sa présence, explique le désaccord constaté.

La solution du « problème de la masse » au sein du modèle standard a ceci de fascinant d'un point de vue épistémologique qu'elle mélange les deux options : elle change la loi tout en complétant le mobilier ontologique de l'Univers. En effet, durant l'été 1964, François Englert et **Robert Brout** (décédé en 2011), de l'Université libre de Bruxelles, puis, de façon indépendante, Peter Higgs, de l'université d'Édimbourg, ont d'une part postulé l'existence d'un champ quantique emplissant tout l'espace, d'autre part ont décrit comment les particules élémentaires, en réalité sans masse, interagissent plus ou moins fortement avec ce champ, ce qui a pour effet de ralentir leurs mouvements de la même façon que si elles avaient une masse !

Dans la soupe quantique

La masse ne serait en somme qu'une propriété secondaire des particules, résultant du fait qu'elles se « frottent » au vide, plus exactement au champ qu'il est supposé contenir, appelé « le champ scalaire de Higgs ». On se servira ici d'une seconde analogie : tout se passe comme si les particules élémentaires étaient des objets sans masse, ainsi que l'indiquent les équations du modèle standard, mais dotées de skis et se déplaçant sur un champ de neige qui serait l'équivalent du champ scalaire de Higgs ; les particules ayant des skis parfaitement « fartés » se déplacent sans frottement, donc à la vitesse de la lumière, et leur masse apparente est nulle ; celles dont les skis sont mal fartés

glissent mal sur la neige, leur vitesse est moindre que celle de la lumière et leur masse apparaît non nulle. La masse correspond alors à une mesure de la mauvaise qualité du fartage des skis des particules...

C'est cette idée qui, après avoir été dûment mathématisée, s'est trouvée brillamment confirmée, après plusieurs décennies de traque, par la mise en évidence en 2012, grâce au LHC, du boson de Higgs, la particule associée au champ éponyme. Le 4 juillet de cette année-là, Peter Higgs et François Englert, qui ne s'étaient encore jamais rencontrés, écoutèrent, sagement assis dans le grand amphithéâtre du [Cern](#), les exposés des expérimentateurs détaillant les résultats qu'ils avaient obtenus. À la fin de la matinée, les deux octogénaires comprirent que l'Univers plussoyait aux idées qu'ils avaient eues quarante-huit ans plus tôt.

philomag.com