

Qu'est-ce qui doit primer en physique ? La théorie ou l'expérience ?

Les projets d'accélérateurs de particules géants du futur mettent l'accent sur la manière dont les découvertes scientifiques sont réellement faites.

- Par Grigoris Panoutsopoulos, Frank Zimmermann le 17 juin 2019



Crédit : Getty Images

La découverte de la particule de Higgs au Grand collisionneur de hadrons (LHC) il y a plus d'une demi-décennie a marqué une étape importante dans le long voyage vers la compréhension de la structure profonde de la matière. Aujourd'hui, la physique des particules s'efforce de développer un large éventail d'approches expérimentales qui nous permettront de trouver de nouvelles réponses aux questions fondamentales concernant la création de l'univers et la nature de la mystérieuse et insaisissable matière noire.

Une telle entreprise nécessite un collisionneur de particules post-LHC doté d'une capacité énergétique nettement supérieure à celle des collisionneurs précédents. C'est ainsi qu'est née l'idée du futur collisionneur circulaire (FCC) au CERN, une machine qui pourrait faire passer l'exploration de la nouvelle physique à la vitesse supérieure. Pour comprendre le bien-fondé de cette proposition, il convient toutefois de reprendre les choses depuis le début et de se poser à nouveau la question : Comment la physique progresse-t-elle ?

Nombreux sont ceux qui pensent que les grandes révolutions sont exclusivement le fait de nouvelles théories, tandis que les expériences jouent le rôle de figurants dans les films. L'histoire est un peu la suivante : les théoriciens émettent des conjectures et les expériences ne servent qu'à les vérifier. Après tout, la plupart d'entre nous clament leur admiration pour la relativité d'Einstein ou la mécanique quantique, mais nous nous demandons rarement si ces théories impressionnantes auraient pu être obtenues sans les contributions des expériences Michelson-Morley, Stern-Gerlach ou sur le rayonnement du corps noir.

Cette image simpliste, bien que très éloignée des façons créatives et souvent surprenantes dont la physique s'est développée au fil du temps, reste très répandue, même parmi les scientifiques. Son influence pernicieuse est perceptible dans les discussions sur les futures installations telles que le FCC proposé au CERN.

Après la découverte du boson de Higgs en 2012, toutes les pièces du puzzle du modèle standard (MS) de la physique sont enfin en place. Néanmoins, les inconnues concernant la matière noire, la masse des neutrinos et le déséquilibre observé entre la matière et l'antimatière sont autant d'indications que le modèle standard n'est pas la théorie ultime des particules élémentaires et de leurs interactions.

De nombreuses théories ont été élaborées pour surmonter les problèmes liés au MS, mais aucune n'a été vérifiée expérimentalement jusqu'à présent. Ce fait a laissé le monde de la physique dans l'expectative. En fin de compte, la science a montré à maintes reprises qu'elle peut trouver des moyens nouveaux et créatifs pour surmonter les obstacles qui se dressent sur sa route. L'un de ces moyens consiste à confier à l'expérimentation le rôle de chef de file, afin qu'elle puisse contribuer à faire avancer le wagon de la physique des particules et à le sortir de l'ornière.

À cet égard, l'étude FCC a été lancée par le CERN en 2013 dans le cadre d'un effort mondial visant à explorer différents scénarios pour les collisionneurs de particules qui pourraient inaugurer l'ère post-LHC et pour faire progresser les technologies clés. Il s'agit d'une approche par étapes qui prévoit la construction d'un collisionneur électron-positron suivi d'un collisionneur de protons, ce qui permettrait de multiplier l'énergie par huit par rapport au LHC et nous donnerait ainsi un accès direct à un régime inexploré jusqu'à présent. Les deux collisionneurs seront logés dans un nouveau tunnel de 100 kilomètres de circonférence. L'étude de la FCC complète des études de conception antérieures pour des collisionneurs linéaires en Europe et au Japon, tandis que la Chine a également des projets similaires pour un collisionneur circulaire à grande échelle.

Les futurs collisionneurs pourraient permettre de mieux comprendre les propriétés du Higgs, mais plus important encore, ils représentent une opportunité d'explorer des territoires inexplorés à une échelle d'énergie sans précédent. Comme l'explique Gian Giudice, directeur du département de physique théorique du CERN : "Les collisionneurs à haute énergie restent un outil indispensable et irremplaçable pour poursuivre notre exploration du fonctionnement interne de l'univers.

Néanmoins, certains considèrent le FCC comme un investissement scientifique discutable en l'absence d'indications théoriques claires sur l'endroit où se trouve l'insaisissable nouvelle physique. L'histoire de la physique offre cependant des preuves à l'appui d'un point de vue

différent : les expériences jouent souvent un rôle de premier plan et d'exploration dans les progrès de la science.

Comme le dit l'éminent historien de la physique Peter Galison, nous devons "abandonner la vision aristocratique de la physique qui traite la discipline comme si toutes les questions intéressantes étaient structurées par la haute théorie". D'ailleurs, de nombreuses expériences ont été réalisées sans être guidées par une théorie bien établie, mais plutôt dans le but d'explorer de nouveaux domaines. Examinons quelques exemples éclairants.

Au XVI^e siècle, le roi Frédéric II de Danemark a financé Uraniborg, un centre de recherche précoce, où Tycho Brahe a construit de grands instruments astronomiques, comme un énorme quadrant mural (malheureusement, le télescope a été inventé quelques années plus tard) et a réalisé de nombreuses observations détaillées qui n'avaient pas été possibles auparavant. La réalisation d'une énorme structure expérimentale, à une échelle sans précédent, a transformé notre vision du monde. Les mesures astronomiques précises de Tycho Brahe ont permis à Johannes Kepler de développer ses lois sur le mouvement des planètes et de contribuer de manière significative à la révolution scientifique.

Le développement de l'électromagnétisme est un autre exemple pertinent : de nombreux phénomènes électriques ont été découverts par des physiciens tels que Charles Dufay, André-Marie Ampère et Michael Faraday aux XVIII^e et XIX^e siècles, grâce à des expériences qui n'avaient été guidées par aucune théorie de l'électricité.

Si l'on se rapproche de notre époque, on constate que toute l'histoire de la physique des particules est en effet remplie de cas similaires. Au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, un effort expérimental constant et laborieux a caractérisé le domaine de la physique des particules, et c'est ce qui a permis au modèle standard d'émerger grâce à un "zoo" de particules nouvellement découvertes. Les quarks, constituants fondamentaux du proton et du neutron, ont été découverts grâce à un certain nombre d'expériences exploratoires menées à la fin des années 1960 à l'accélérateur linéaire de Stanford.

La majorité des physiciens praticiens reconnaissent l'importance exceptionnelle de l'expérience en tant que processus exploratoire. Par exemple, Victor "Viki" Weisskopf, ancien directeur général du CERN et icône de la physique moderne, a clairement saisi la dynamique du processus expérimental dans le contexte de la physique des particules :

"Il y a trois types de physiciens : les constructeurs de machines, les physiciens expérimentaux et les physiciens théoriques. Si nous comparons ces trois catégories, nous constatons que les constructeurs de machines sont les plus importants, car s'ils n'étaient pas là, nous ne pourrions pas accéder à cette région de l'espace à petite échelle. Si nous comparons cela à la découverte de l'Amérique, les constructeurs de machines correspondent aux capitaines et aux constructeurs de navires qui ont réellement développé les techniques à cette époque. Les expérimentateurs sont les hommes qui, sur les navires, ont navigué à l'autre bout du monde, ont sauté sur les nouvelles îles et ont écrit ce qu'ils ont vu. Les physiciens théoriciens sont ceux qui sont restés à Madrid et qui ont dit à Christophe Colomb qu'il allait débarquer en Inde". (Weisskopf 1977)

Bien qu'étant lui-même physicien théoricien, il était capable de reconnaître le caractère exploratoire de l'expérimentation en physique des particules. Ainsi, ses paroles préfigurent

étrangement l'époque actuelle. Comme l'a déclaré Nima Arkani-Hamed, l'un des physiciens théoriciens les plus respectés de notre époque, lors d'une récente interview, "lorsque les théoriciens sont plus confus, c'est le moment de faire plus, et non moins, d'expériences".

Pour l'instant, le FCC s'efforce de maintenir vivant l'esprit exploratoire des précédents collisionneurs légendaires. Il n'est pas destiné à être utilisé comme un outil de vérification d'une théorie spécifique, mais comme un moyen d'ouvrir de multiples voies expérimentales pour l'avenir. Le processus expérimental doit pouvoir développer sa propre dynamique. Cela ne signifie pas que l'expérimentation et l'instrumentation ne doivent pas entretenir des relations étroites avec la communauté théorique ; en fin de compte, il n'y a qu'une seule physique, et elle doit assurer son unité.

Les opinions exprimées sont celles des auteurs et ne sont pas nécessairement celles de Scientific American.

À PROPOS DE L'AUTEUR OU DES AUTEURS

Grigoris Panoutsopoulos est physicien et historien des sciences. Il est doctorant à l'université d'Athènes et ses recherches portent sur l'histoire du CERN.

Frank Zimmermann est scientifique principal spécialiste des accélérateurs au CERN et chef adjoint de l'étude sur le futur collisionneur circulaire. Il est également membre de l'American Physical Society et rédacteur en chef de la revue Physical Review Accelerators and Beams.