

Les mystères de la physique (2)

Une ombre au bal des particules

La théorie actuelle décrit avec précision le monde des particules élémentaires, mais reste incapable d'expliquer pourquoi elles ont une masse. La découverte du furtif «boson de Higgs» résoudrait cette énigme

Anton Vos

La matière se dévoile à la manière des poupées russes. A chaque fois que l'on pense avoir trouvé la «brique fondamentale» à partir de laquelle serait constituée toute chose de l'Univers, une matricochka encore plus petite apparaît. Les physiciens d'aujourd'hui aiment à penser qu'ils ont atteint le bout de cette série interminable qui les a menés de l'atome des Grecs antiques aux électrons et quarks d'aujourd'hui, supposés indivisibles. La théorie qu'ils ont mise au point, le «modèle standard», répertorie l'ensemble des particules élémentaires de la nature et les forces qui les gouvernent (à l'exception de la gravité). Est-ce à dire que l'on est sur le point de connaître tous les secrets de la matière?

deuxième million de fois plus lourd que l'électron. Si nous possédons une théorie qui permet de répondre à la première question – nous espérons d'ailleurs que le futur accélérateur de particules du CERN, le LHC, la confirme –, nous sommes loin de trouver une explication à la seconde.»

Mais ce n'est pas tout. En plus du mystère de la masse, le physicien d'aujourd'hui ignore ce qui s'est passé avec l'antimatière, qui aurait dû logiquement être produite en quantités égales à la matière, mais qui semble avoir entièrement disparu dans un lointain passé. Il ne sait pas non plus de quoi est composée la matière sombre de l'Univers qui manque cruellement aux astrophysiciens, ni si le proton est indéfiniment stable ou s'il lui arrive de se désintégrer de manière spontanée. Au fond, il ne sait même pas ce qu'est vraiment une particule élémentaire. Sans même parler de l'origine des forces fondamentales. Mais peut-être est-il plus simple de recommencer depuis le début.

Brique de base

Aujourd'hui, le composé de base de la matière est la particule, comme l'électron, le neutrino ou le quark. Elle est qualifiée de fondamentale puisqu'on estime qu'elle n'a pas de structure interne. En réalité, aucune «sonde» n'a réussi à mesurer ce qu'elle pourrait renfermer. Quoi qu'il en soit, dans le cadre de la théorie actuelle, cette question n'a pas de sens puisque les particules sont assimilées, mathématiquement, à des objets ponctuels qui obéissent aux lois de la physique quantique, celle qui régit le monde du tout petit.

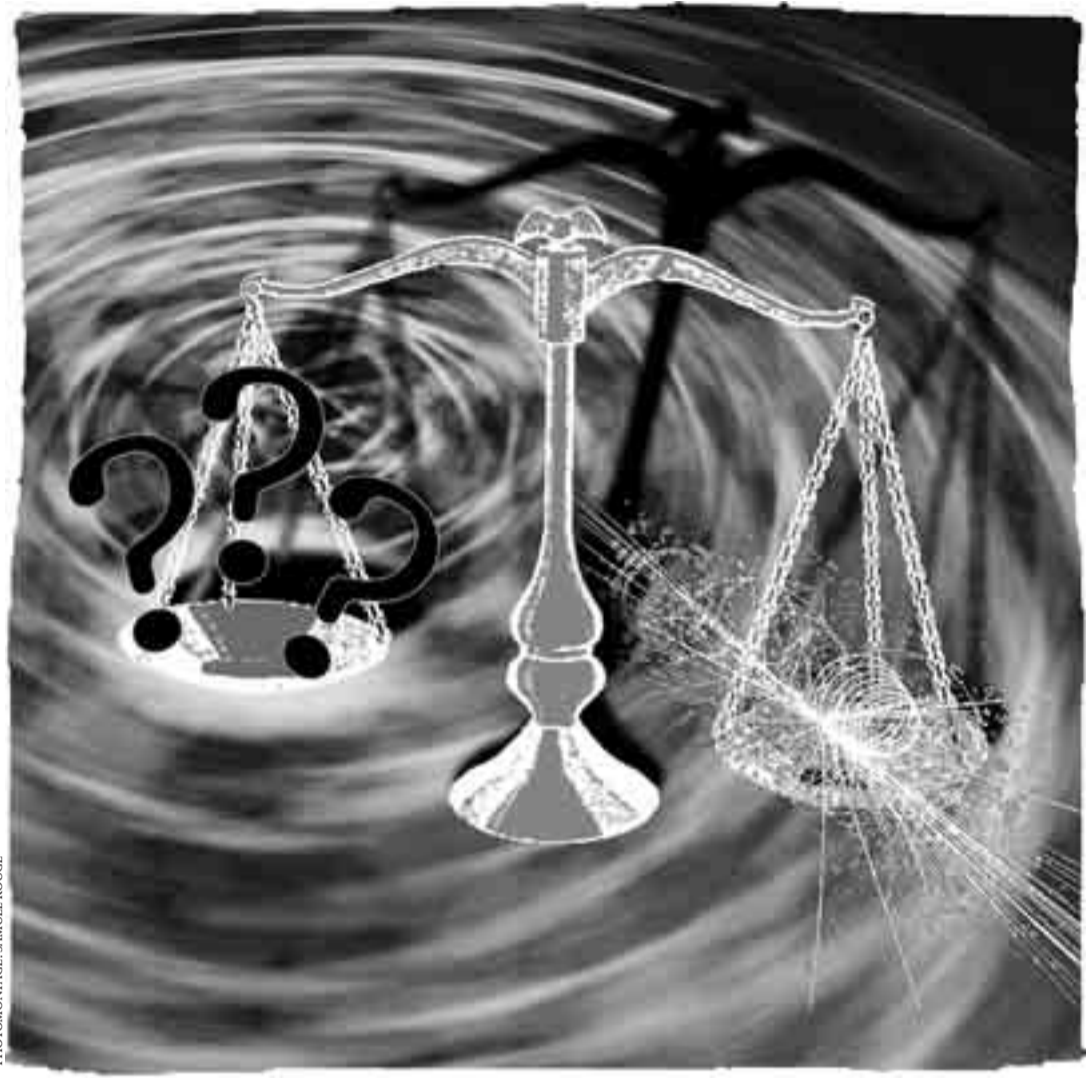
D'après le modèle standard, élaboré et peaufiné au cours de décennies d'observation de collisions à très haute énergie dans les accélérateurs comme ceux du CERN, l'Univers compte (on néglige ici l'antimatière) douze particules élémentaires qu'on appelle les fermions. Ni plus ni moins.

Seules trois d'entre elles suffisent à composer l'essentiel de toute la matière ordinaire: l'électron et les quarks appelés «bas» et «haut», qui sont les deux composants des neutrons et des protons. Si l'on ajoute à ces trois larrons un quatrième, le neutrino-e, on obtient ce que les physiciens appellent la première génération – ou famille – de particules fondamentales. La nature semble avoir bégayé et créé deux générations supplémentaires, formées elles aussi de deux quarks et de deux particules apparentées à l'électron et au neutrino-e. Pourquoi une telle débauche de particules à première vue superflues? Mystère.

Fermions et bosons

Toujours selon le même modèle, les particules interagissent entre elles par l'intermédiaire de trois forces fondamentales (on ignore toujours la gravité): les interactions électrodynamique, faible et forte. Ces forces font intervenir une nouvelle gamme de particules, appelées bosons. Ces derniers jouent le rôle de véhicule ou de vecteur de l'interaction. Le plus connu d'entre eux est le photon. En effet, en plus d'être un grain de lumière, il est le vecteur de la force électrodynamique. Celui qui transmet la force forte s'appelle le gluon alors que la force faible compte trois bosons différents, le W^+ , W^- et le Z^0 , tous détectés de manière directe pour la première fois au CERN dans les années 1980.

Pour illustrer et mieux comprendre la différence entre les bosons et les fermions, le physicien français Michel Crozon propose une analogie sociale. «Si les fermions sont les seigneurs de la matière, les bosons en sont les messagers [...]. Dans un ensemble de fermions, les bosons sont un peu comme les paroles dans les groupes humains. Sans cesse prononcées, entendues, reçues, oubliées, réémises, les paroles assurent la cohésion du groupe [...]. Elles sont à la base du lien social.



PHOTOMONTAGE: SAMUEL ROUGE

Elles le déchirent aussi parfois, amenant la discorde ou la guerre, la dislocation, la désintégration. Si l'on pousse encore la comparaison, les divers langages, des mots d'amour à la langue de bois, tous pourtant exprimés dans une même langue, sont un peu comme les diverses formes d'action entre les particules.»*

Les prédictions du modèle standard ont été vérifiées avec une précision extrême. Ce qui au départ était considéré comme un modèle provisoire, en attendant qu'un ou une génie développe une théorie plus fondamentale encore, a ainsi reçu ses lettres de noblesses au fil des expériences. Toutefois, s'il est très fort dans toutes sortes de domaines, le modèle standard demeure incapable d'expliquer l'existence des masses des particules. En fait, pour lui, elles devraient être toutes nulles, ce qui

n'est évidemment pas conforme à la réalité. En particulier, le fait que les trois bosons de la force faible, le W^+ , W^- et le Z^0 , possèdent une masse importante, alors que celle des photons et des gluons est nulle, a provoqué comme une incohérence dans le bel échafaudage théorique. Une contradiction que les physiciens ont essayé de résoudre à leur manière, c'est-à-dire en inventant une particule supplémentaire permettant de rééquilibrer l'édifice: le boson de Higgs.

Le «Higgs» est le dernier arrivé dans le bestiaire du modèle standard et le seul à ce jour à ne pas avoir été détecté dans la réalité. En l'an 2000 pourtant, le LEP, l'ancien accélérateur du CERN, a peut-être aperçu son «ombre». Mais l'engin n'était pas assez puissant pour que les chercheurs décident de poursuivre la traque.

des particules totalement nouvelles et inattendues.»

La machine, qui devrait entrer en fonction en 2007, permettra par la même occasion de tester des théories encore largement spéculatives, comme la supersymétrie ou la théorie des cordes. Car si le modèle standard agrémenté du boson de Higgs permet de correc-

Et si les particules étaient représentées par de minuscules cordes vibrantes fermées sur elles-mêmes?

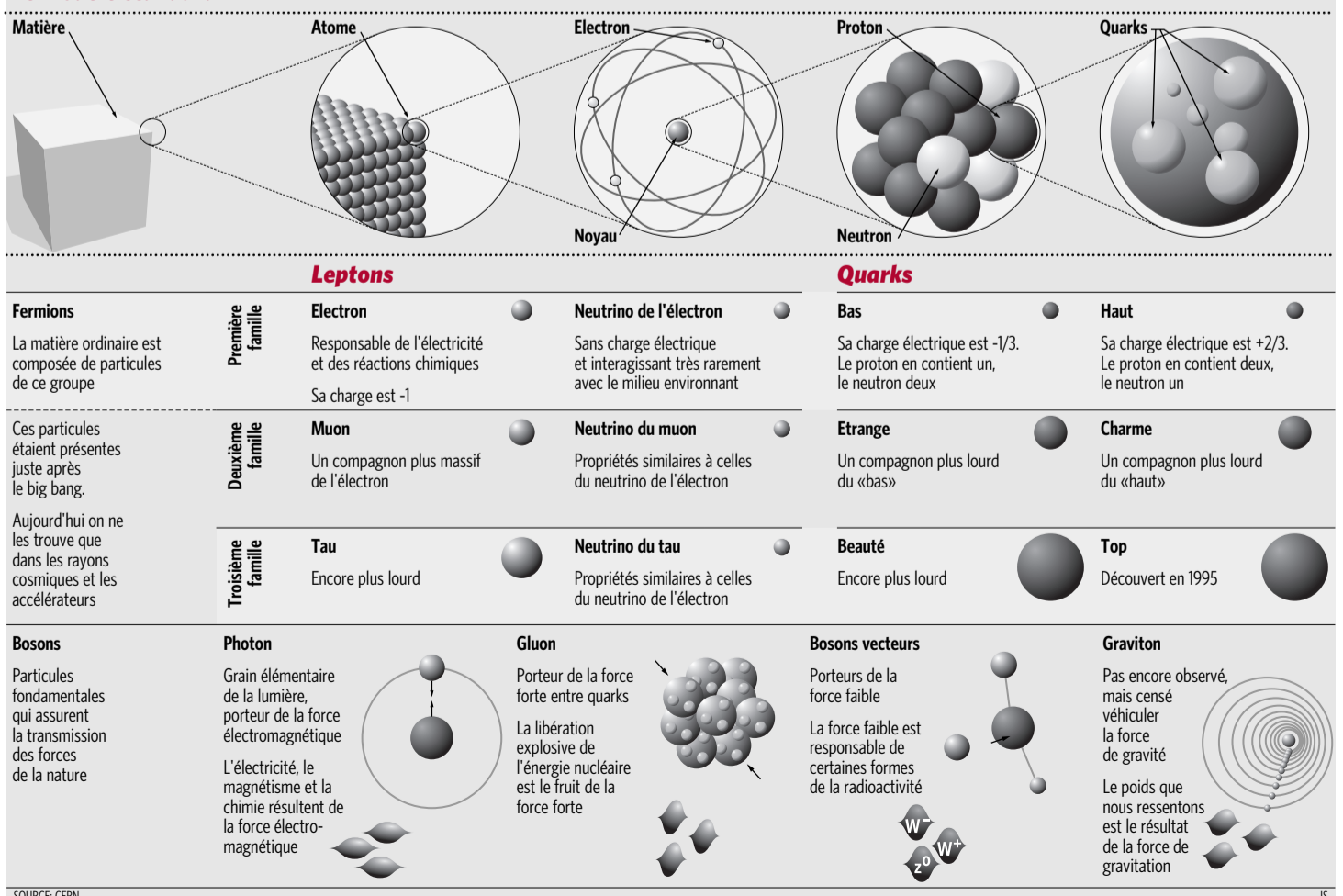
tament décrire le comportement des particules, il souffre toujours de plusieurs lacunes. L'une d'elles est sa difficulté à réunir dans une même théorie, plutôt que de les agencer, les trois interactions fondamentales. Une autre est de ne pas pouvoir intégrer la quatrième force de la nature, celle qui nous est la plus familière: la gravitation.

La supersymétrie permettrait de résoudre le premier problème. Cette théorie double le nombre actuel de particules, créant pour chacune d'elles (fermions et bosons) un partenaire supersymétrique. Ce modèle que les physiciens ont imaginé est très prometteur. Toutefois, aucune trace de la moindre particule supersymétrique n'a été aperçue pour l'instant.

La théorie des cordes, elles, a l'ambition de réunir dans une même théorie les trois interactions décrites ci-dessus et la gravitation. Pour y parvenir, elle propose que les particules élémentaires comme les électrons et les quarks, au lieu d'être des objets ponctuels, se représenteraient comme de minuscules cordes fermées sur elles-mêmes et vibrant selon des modes très précis. Et pourquoi pas?

* L'univers des particules, Michel Crozon, Ed. du Seuil, Coll. Points sciences, 1999.

Le modèle standard



Demain
Visite dans l'antimonde