

L'asymétrie de la matière

Dans quelques semaines, de nouveaux accélérateurs de particules rechercheront les violations d'une symétrie fondamentale de la nature et repousseront ainsi les limites de la physique.

HELEN QUINN • MICHAEL WITHERELL

En 1932, Carl Anderson détecte pour la première fois une antiparticule dans les rayons cosmiques. L'existence de ce type d'objet avait été prédite quatre ans plus tôt par Paul Dirac, mais l'antimatière est rare dans l'Univers. Aujourd'hui encore, malgré les perfectionnements des techniques de détection, les astronomes n'observent que des objets faits de matière. Pourquoi cette asymétrie de l'Univers, alors que les quantités de matière et d'antimatière étaient égales aux premiers instants de l'Univers?

Ce déséquilibre est-il fortuit? Ou est-il la conséquence inévitable d'une asymétrie des lois de la nature? Les physiciens théoriciens pensent aujourd'hui qu'il résulte des comportements différents de la matière et de l'antimatière; une symétrie nommée inversion de charge-parité, ou symétrie CP, n'aurait pas cours dans notre Univers.

Dans les années 1960, les théoriciens et les expérimentateurs ont découvert un moyen naturel de décrire cette brisure de la symétrie CP dans le cadre de la théorie des particules aujourd'hui dominante, le «Modèle standard». Cependant, la violation ainsi prédite ne suffit pas à expliquer l'excès de matière dans l'Univers: le Modèle standard est insuffisant, parce que des phénomènes restent inconnus.

En Californie et au Japon, deux nouveaux accélérateurs de particules étudieront bientôt les violations de la symétrie CP, afin de révéler si le Modèle standard doit être amélioré ou remplacé. Ils produiront des quantités considérables de particules nommées mésons, qui sont constitués d'un quark et d'un antiquark, c'est-à-dire d'une quantité égale de matière et d'antimatière.

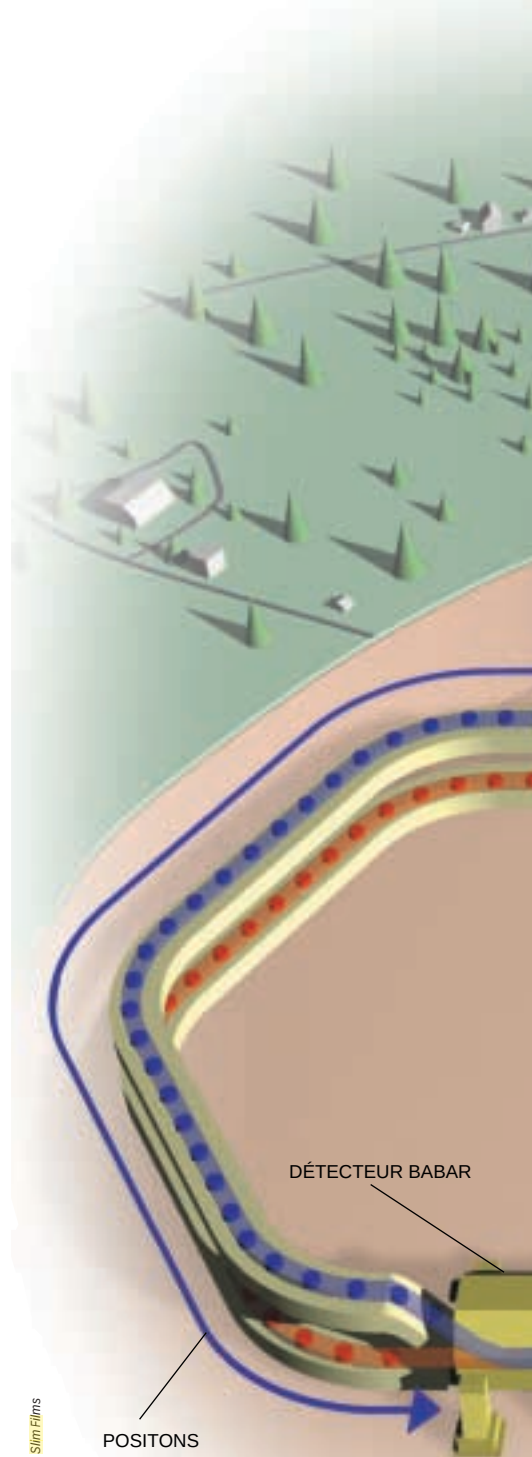
Le Modèle standard décrit les centaines de particules connues ainsi que leurs interactions, à partir des familles

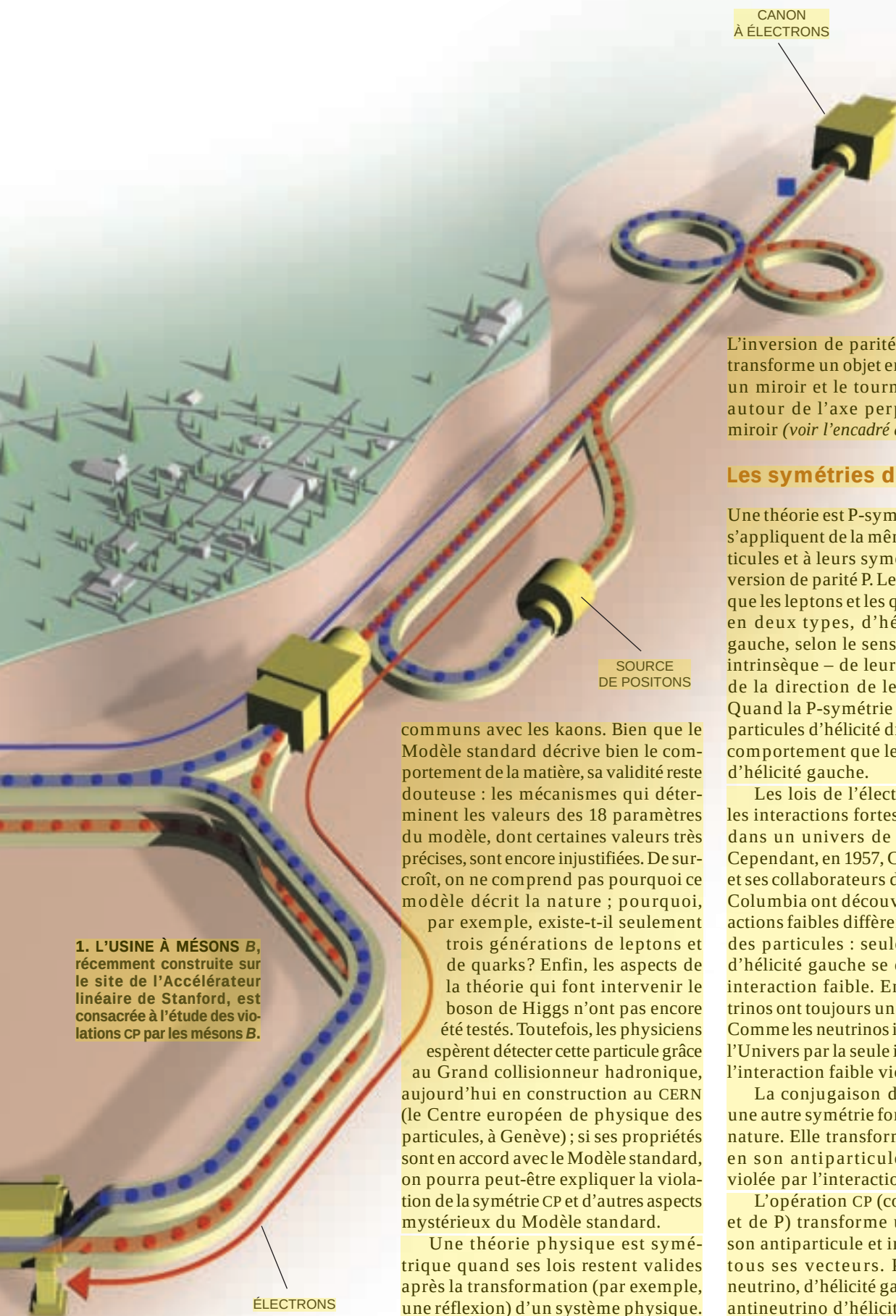
fondamentales des quarks et des leptons. Les six quarks – nommés *top*, *bottom*, *charm*, *strange*, *up* ou *down* – sont 100 fois plus massifs que les leptons, tels l'électron, le neutrino et leurs cousins. En outre, à chaque quark ou lepton est associée une antiparticule de masse identique, mais dont les caractéristiques, nommées nombres quantiques, telle la charge électrique, sont de signe opposé. Ces particules se classent en trois «générations» de masses croissantes (voir les encadrés des pages 68 et 72), dont la première compose les constituants élémentaires de la matière habituelle.

Le Modèle standard décrit trois types d'interactions, ou forces, entre les particules: les interactions électromagnétiques, les interactions fortes et les interactions faibles (la gravitation n'est pas incluse dans le Modèle standard). L'interaction forte regroupe les quarks en objets composés, tel le proton. Aucun quark isolé n'a jamais été observé. L'interaction faible provoque une instabilité: elle est notamment responsable de la lente désintégration des quarks et des leptons les plus massifs en objets de masse inférieure.

En outre, le Modèle standard prédit que toutes ces interactions correspondent à l'échange de particules nommées vecteurs: le photon, le gluon et les bosons W^+ , W^- et Z^0 . Enfin, cette théorie est fondée sur l'existence d'une particule, le «boson de Higgs», encore non observée, qui serait responsable de la masse des quarks et des leptons.

Les mésons sont des particules essentielles pour l'étude de la violation de la symétrie CP. En particulier, les mésons *K*, ou kaons, se composent d'un quark ou antiquark *strange* et d'un quark ou antiquark *up* ou *down*. Les mésons *B*, composés d'un quark ou antiquark *bottom*, apparié à des partenaires *up* ou *down*, ont de nombreux points





1. L'USINE À MÉSONS B, récemment construite sur le site de l'Accélérateur linéaire de Stanford, est consacrée à l'étude des violations CP par les mésons B.

communs avec les kaons. Bien que le Modèle standard décrive bien le comportement de la matière, sa validité reste douteuse : les mécanismes qui déterminent les valeurs des 18 paramètres du modèle, dont certaines valeurs très précises, sont encore injustifiées. De surcroît, on ne comprend pas pourquoi ce modèle décrit la nature ; pourquoi, par exemple, existe-t-il seulement trois générations de leptons et de quarks ? Enfin, les aspects de la théorie qui font intervenir le boson de Higgs n'ont pas encore été testés. Toutefois, les physiciens espèrent détecter cette particule grâce au Grand collisionneur hadronique, aujourd'hui en construction au CERN (le Centre européen de physique des particules, à Genève) ; si ses propriétés sont en accord avec le Modèle standard, on pourra peut-être expliquer la violation de la symétrie CP et d'autres aspects mystérieux du Modèle standard.

Une théorie physique est symétrique quand ses lois restent valides après la transformation (par exemple, une réflexion) d'un système physique.

CANON
À ÉLECTRONS

SOURCE
DE POSITONS

ÉLECTRONS

L'inversion de parité, désignée par P, transforme un objet en son image dans un miroir et le tourne de 180 degrés autour de l'axe perpendiculaire au miroir (voir l'encadré de la page 72).

Les symétries de la matière

Une théorie est P-symétrique si ses lois s'appliquent de la même façon aux particules et à leurs symétriques par l'inversion de parité P. Les particules telles que les leptons et les quarks se classent en deux types, d'hélicité droite ou gauche, selon le sens de leur rotation intrinsèque – de leur « spin » – autour de la direction de leur mouvement. Quand la P-symétrie est respectée, les particules d'hélicité droite ont le même comportement que leurs homologues d'hélicité gauche.

Les lois de l'électrodynamique et les interactions fortes sont identiques dans un univers de parité inversée. Cependant, en 1957, Chien-Shiung Wu et ses collaborateurs de l'Université de Columbia ont découvert que les interactions faibles diffèrent selon l'hélicité des particules : seules les particules d'hélicité gauche se désintègrent par interaction faible. En outre, les neutrinos ont toujours une hélicité gauche. Comme les neutrinos interagissent avec l'Univers par la seule interaction faible, l'interaction faible viole la symétrie P.

La conjugaison de charge (C) est une autre symétrie fondamentale de la nature. Elle transforme une particule en son antiparticule. Elle est aussi violée par l'interaction faible.

L'opération CP (combinaison de C et de P) transforme une particule en son antiparticule et inverse le sens de tous ses vecteurs. Par exemple, le neutrino, d'hélicité gauche, devient un antineutrino d'hélicité droite dont les