

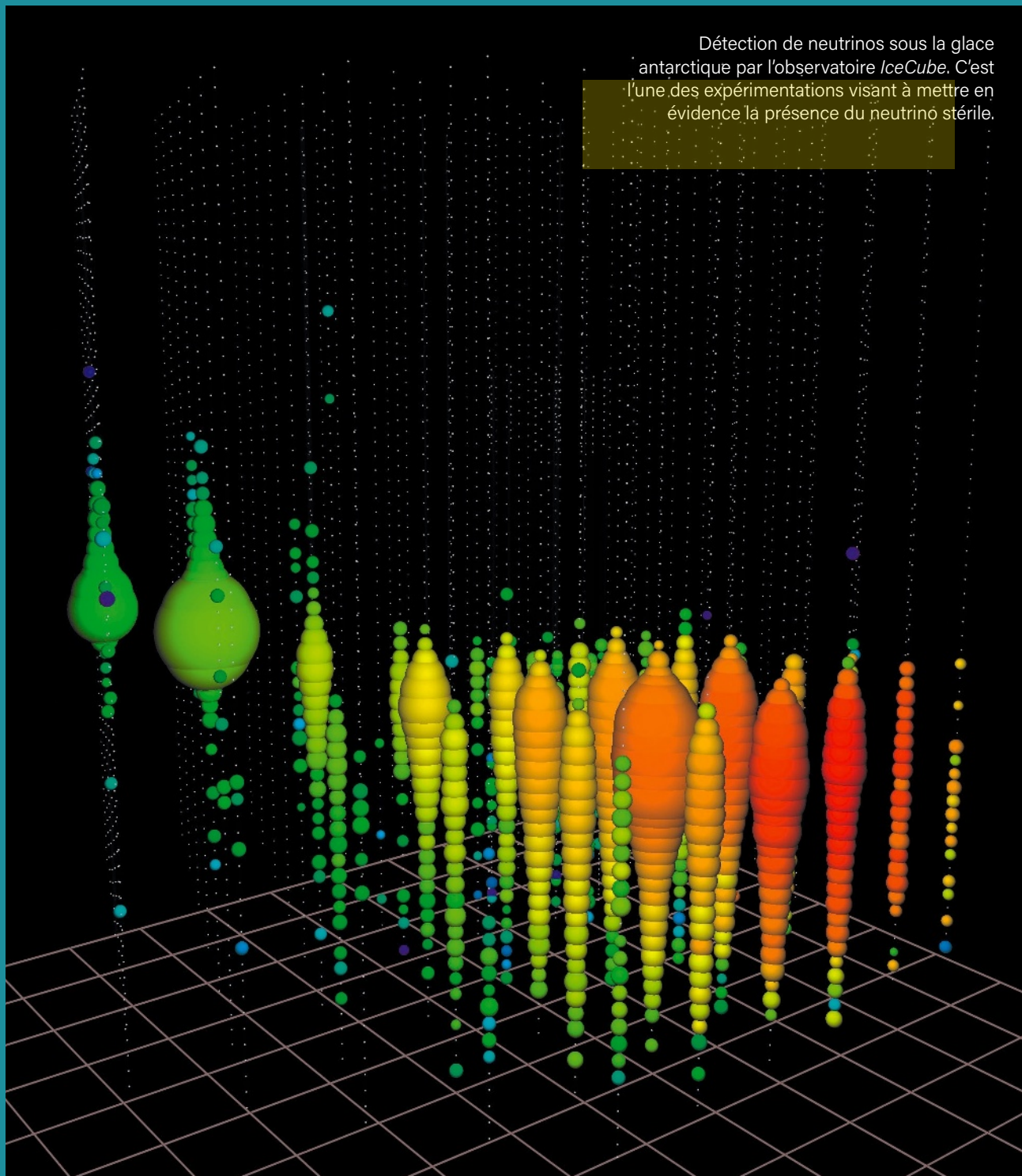
Les neutrinos existent en trois variétés. L'existence d'une quatrième, surnommée « neutrino stérile », fait débat. Si cette particule existe, elle ouvrira une porte sur le « secteur sombre » de la physique.

26

La possible fécondité du neutrino stérile

William Charles Louis et Richard Van de Water

Détection de neutrinos sous la glace antarctique par l'observatoire *IceCube*. C'est l'une des expérimentations visant à mettre en évidence la présence du neutrino stérile.



Les physiciens venus assister à notre présentation lors de la Conférence internationale de 2010 sur les neutrinos, à Athènes, s'attendaient sans doute à ce que nous enterrions définitivement les résultats controversés que nous avions annoncés une décennie auparavant. Au lieu de cela, notre prestation fut accueillie par un silence gêné.

L'histoire commence en 1996, lorsque nous publiâmes des données obtenues à l'aide du *LSND* (scintillateur liquide pour la détection des neutrinos) au laboratoire de Los Alamos. Ces résultats semblaient remettre en question l'assertion largement admise selon laquelle il n'existe que trois types ou « saveurs » de neutrinos – ces minuscules particules omniprésentes qui traversent sans encombre la matière. Les données suggéraient qu'il pourrait exister une quatrième saveur de neutrinos encore à détecter. Cependant, une autre expérience similaire menée en Europe, *Karman*, avec une sensibilité comparable, ne révélait rien d'anormal.

La communauté scientifique se montra sceptique et, il faut être juste, les données préliminaires des expériences visant à reproduire nos résultats suggéraient qu'ils étaient erronés, c'est-à-dire qu'il n'y avait finalement pas de quatrième saveur de neutrinos. Ce jour-là, à Athènes, l'auditoire s'attendait donc logiquement à ce que nous enfoncions le dernier clou dans le cercueil des faux signaux du *LSND*. Ce que nous annonçâmes au contraire, c'est qu'avec le temps les indices en faveur de l'existence de la quatrième saveur de neutrino sont devenus plus convaincants.

Certes, nous n'avions pas découvert la particule. Mais les travaux que nous présentions,

En bref

> Les neutrinos existent en trois « saveurs ». Certaines expériences laissent aujourd'hui entrevoir la possibilité d'une quatrième saveur – un neutrino dit « stérile », insensible aux interactions fondamentales autres que la gravitation.

> Si les neutrinos stériles existent, ils pourraient fournir une piste pour aller au-delà du modèle standard de la physique des particules et pour comprendre le « secteur sombre » de l'Univers, c'est-à-dire la matière noire et l'énergie sombre.

> Plusieurs expériences, notamment avec le détecteur *CCM* au Laboratoire américain de Los Alamos, sont conçues pour tester l'hypothèse de l'existence de neutrinos stériles.

réalisés dans le cadre de l'expérience *MiniBooNE*, au Fermilab de Batavia, dans l'Illinois, suggéreraient que quelque chose était erroné dans notre modèle actuel de la physique des particules. Nous affirmions qu'une des solutions les plus vraisemblables était l'existence d'un nouveau neutrino – un neutrino dit « stérile », parce qu'incapable d'interagir de quelque manière que ce soit avec la matière excepté *via* la gravitation. Au cours des dix ans qui ont suivi notre présentation en Grèce, les données de *MiniBooNE* n'ont fait qu'appuyer davantage les arguments en faveur de cette quatrième saveur de neutrinos.

Nous sommes désormais certains d'observer quelque chose qui dépasse le cadre de la physique connue, et les neutrinos stériles figurent parmi les favoris pour l'expliquer. L'idée que nos expériences pourraient être en train de détecter un quatrième neutrino reste cependant controversée, parce que le modèle standard de la physique des particules est l'une des théories les mieux testées et confirmées de l'histoire... et qu'il n'autorise que trois saveurs de neutrino.

Cependant, nous savons pertinemment que le modèle standard est incomplet puisqu'il n'explique ni la matière noire ni l'énergie sombre, entités qui semblent pourtant constituer l'essentiel du contenu de l'Univers. Or une nouvelle saveur de neutrinos pourrait bien être le chaînon manquant entre la physique connue et ce royaume obscur. Après des décennies d'incertitude, les physiciens mettent enfin sur pied de nouveaux projets expérimentaux, dont notre détecteur *CCM* (ou *Coherent Captain-Mills*), grâce auxquels ils résoudront peut-être le problème.

Véritables fantômes, les neutrinos sont des milliers de milliards à traverser votre corps à chaque seconde. Le neutrino stérile serait le plus fantomatique de tous

Les neutrinos sont des particules fantomatiques. Ils sont ainsi des milliers de milliards à traverser votre corps à chaque seconde, presque à la vitesse de la lumière. Mais le neutrino stérile serait le plus fantomatique de tous. Insensible aux interactions faible, forte et électromagnétique auxquelles sont soumises les autres particules, il serait indétectable. De ce fait, il serait un composant de ce que les physiciens nomment le «secteur sombre», auquel appartiennent la matière noire et l'énergie sombre, qui constituent 95% de la densité d'énergie de l'Univers. Il se pourrait que les neutrinos stériles soient capables d'interagir avec la matière noire via de nouvelles forces de la nature. Ces particules pourraient même être une composante de la matière noire : selon certaines hypothèses, des neutrinos stériles (de masse cependant supérieure à celle des neutrinos recherchés par *MiniBooNE* et *CCM*) représenteraient une fraction appréciable, voire l'essentiel, de la matière invisible du cosmos.

UN PROBLÈME AVEC LE SOLEIL

L'existence des neutrinos stériles ne serait que la dernière d'une longue série de surprises venant de cette intrigante famille de particules. La première date des années 1960, lorsque des expériences destinées à mesurer le flux de neutrinos émis dans notre direction par le Soleil détectaient systématiquement beaucoup moins de particules que ne le prévoyaient les scientifiques. Toutes les étoiles sont alimentées par des réactions de fusion thermonucléaire au cours desquelles des protons fusionnent et forment des noyaux d'hélium, lesquels fusionnent à leur tour pour former des éléments plus lourds.

Les neutrinos électroniques (l'une des trois saveurs de neutrinos, aux côtés des neutrinos muoniques et tauiques) figurent parmi les sous-produits de ces réactions. La théorie permettait de calculer le flux continu de ces particules qui devait atteindre les détecteurs sur Terre. Or on ne détectait qu'une fraction du nombre attendu. C'était le fameux «problème des neutrinos solaires».

Au départ, beaucoup de physiciens ont supposé que nous comprenions simplement mal le fonctionnement du Soleil. La réalité s'est révélée bien plus simple et nettement plus intéressante. Le Soleil n'émettait pas moins de neutrinos que prévu. C'étaient en fait lesdits neutrinos qui n'arrivaient pas jusqu'à nos détecteurs sur Terre. Pour être plus exact, ils s'étaient transformés en chemin.

Les physiciens ont fini par comprendre que les neutrinos ne sont pas des entités physiques «pures». Chaque neutrino est plutôt un mélange des différentes saveurs et il peut passer d'une saveur à l'autre au cours du temps. Ce phénomène appelé «oscillation» fut une surprise pour plusieurs raisons. Pour commencer, le fait que les neutrinos soient susceptibles de changer de saveur implique qu'ils ne sauraient être les particules de masse nulle et voyageant à la vitesse de la lumière prédites par le modèle standard.

Une façon de le comprendre est de se rappeler que, conformément à la théorie de la relativité restreinte d'Einstein, le temps s'écoule plus lentement pour un objet en mouvement que pour un objet immobile. Plus un objet va vite, plus son horloge ralentit (par rapport à une horloge immobile) jusqu'à s'arrêter complètement si l'objet se déplace à la vitesse de la lumière. Cela signifie que si vous pouviez voyager à la vitesse de la lumière, le temps