

■ L'AUTEUR



Francis HALZEN est professeur de physique à l'université du Wisconsin à Madison, aux États-Unis. Il dirige l'expérience *IceCube*.

Les neutrinos de haute énergie seraient produits par des événements violents dans la Galaxie et au-delà

En 2010, l'une des expériences de physique les plus ambitieuses a été lancée au pôle Sud. Enfoui dans la glace de l'Antarctique, le détecteur de particules géant *IceCube* enregistre le passage de neutrinos de haute énergie : des particules élémentaires insaisissables qui traversent presque tout ce qu'elles rencontrent sans laisser de trace. Le projet vise à utiliser les neutrinos pour étudier des phénomènes cosmiques lointains, en particulier certains processus parmi les plus violents dont on pense qu'ils produisent les rayons cosmiques, ces particules qui bombardent en permanence la Terre. *IceCube* est donc un télescope astronomique d'un nouveau type.

Les neutrinos sont des particules furtives. Leur masse est presque nulle et ils se propagent à des vitesses proches de celle de la lumière dans le vide. Leur charge électrique est nulle, ce qui explique pourquoi ils interagissent si rarement avec la matière. Lorsqu'ils arrivent sur Terre, la plupart poursuivent leur route comme si de rien n'était, filant à travers la planète. *IceCube* s'intéresse surtout aux neutrinos de haute énergie, d'autant plus rares et difficiles à observer. Nous n'avons donc pas été surpris que les données des premières années, obtenues alors que le détecteur était encore en construction, n'aient rien révélé d'extraordinaire. Mais en 2012, tout cela a changé.

Lors d'une téléconférence de routine entre membres de l'équipe, des motifs que nous n'avions jamais vus auparavant se sont affichés sur nos écrans. Les signaux reflétaient la détection de deux neutrinos d'une énergie plus de mille fois supérieure à celle des neutrinos les plus énergétiques jamais produits par un accélérateur sur Terre, et près de un milliard de fois à celle des neutrinos régulièrement émis par le Soleil. Une joie intense a envahi la salle quand nous avons compris que nous avions sous les yeux un phénomène qui allait changer la donne. Dans l'euphorie du moment, l'un de nos étudiants en thèse a surnommé Bert et Ernie les deux particules, comme les personnages de l'émission télévisée pour enfants *1, rue Sésame* (ces noms ont l'avantage d'être plus faciles à retenir et à reconnaître que les longues chaînes de chiffres que nous attribuons d'ordinaire aux événements de neutrinos).

Il nous a fallu encore une année et une analyse totalement repensée des mêmes

données pour nous assurer que nous avions bien affaire à ce que nous pensions : les premiers pixels d'une nouvelle carte de l'Univers dessinée par les neutrinos de haute énergie. Depuis, nous avons enregistré un total de 54 neutrinos de haute énergie, et beaucoup ont reçu des noms de Muppets, parmi lesquels Big Bird avait une énergie double de celle d'Ernie et de Bert.

Nous cherchons maintenant à identifier l'endroit du ciel d'où proviennent ces neutrinos, et comment ils ont acquis une telle énergie. Nous soupçonnons des événements cosmiques d'une extrême violence, telles des supernovæ ou d'autres explosions stellaires nommées sursauts gamma, deux phénomènes, survenus loin du Système solaire, qui produiraient des rayons cosmiques en grande quantité. Si nous parvenons à confirmer le lien entre les neutrinos de haute énergie et ces sources probables de rayons cosmiques, nous ouvrirons une nouvelle fenêtre sur le monde pour observer et mieux comprendre la physique de certains événements parmi les plus spectaculaires du cosmos.

Des particules imperturbables

Les rayons cosmiques, qui bombardent constamment la Terre depuis l'espace, sont constitués de protons et d'autres particules chargées de très haute énergie. Plus d'un siècle après leur découverte, nous ignorons toujours quels processus les engendrent. Quand ils arrivent sur Terre, nous ne pouvons pas déterminer leur lieu d'origine dans l'Univers parce que ces particules ne se déplacent pas en ligne droite. En effet, du fait de leur charge électrique, elles sont déviées par les champs magnétiques galactiques et intergalactiques. Leur parcours s'en trouve brouillé et il est impossible de savoir quel chemin ils ont parcouru à travers l'espace. Mais, par chance, la théorie suggère qu'ils interagissent aussi avec des photons sur leur lieu de naissance, et produisent ainsi des neutrinos.

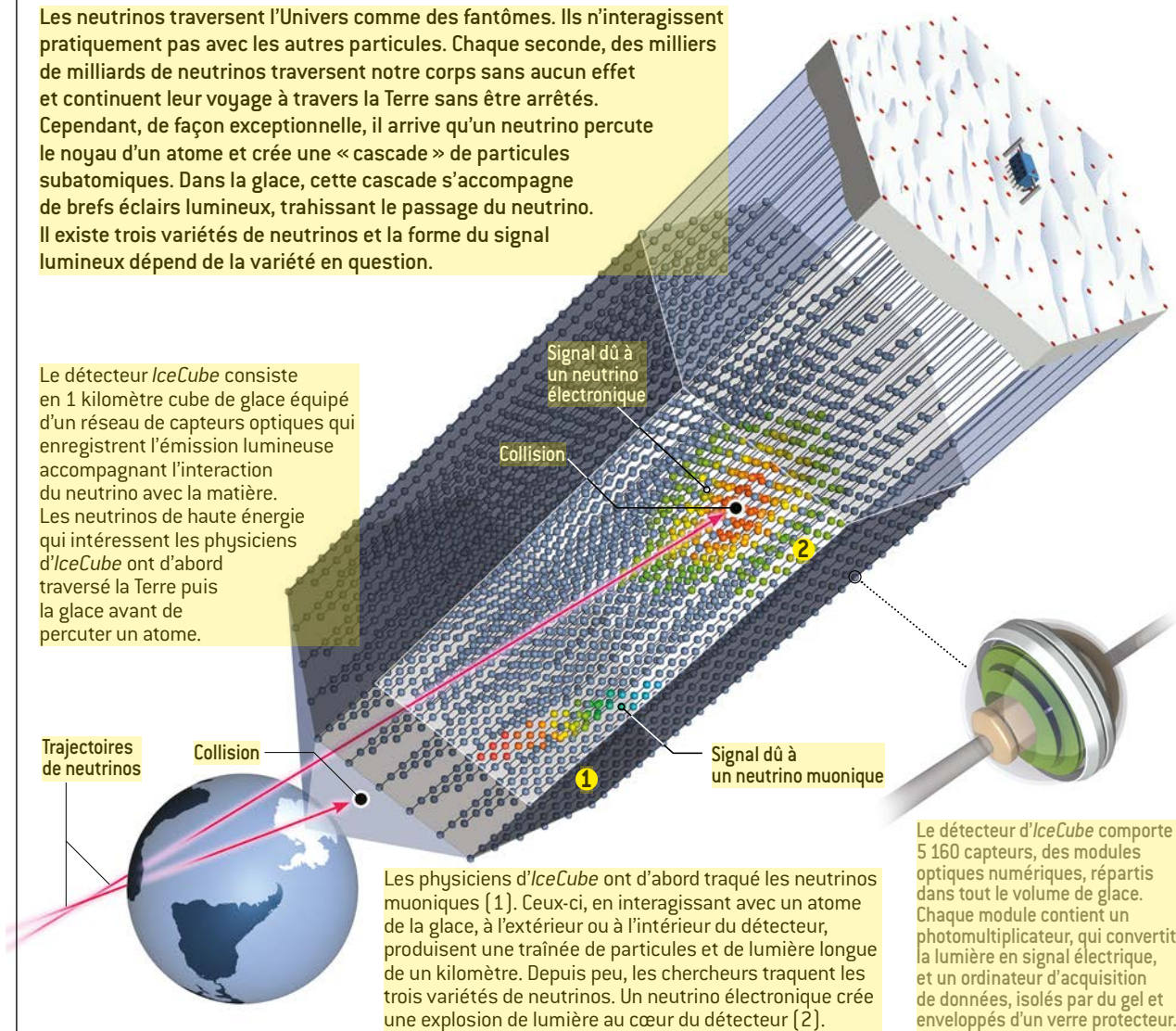
Les neutrinos, eux, se déplacent en ligne droite, ignorant la matière et les champs magnétiques sur leur passage. Par conséquent, les neutrinos pointent directement vers leur source et celle des rayons cosmiques.

Les astronomes ont quelques idées sur les mécanismes qui donnent naissance aux rayons cosmiques, mais ils ont besoin de

COMMENT CHASSE-T-ON LES FANTÔMES EN ANTARCTIQUE ?

Les neutrinos traversent l'Univers comme des fantômes. Ils n'interagissent pratiquement pas avec les autres particules. Chaque seconde, des milliers de milliards de neutrinos traversent notre corps sans aucun effet et continuent leur voyage à travers la Terre sans être arrêtés. Cependant, de façon exceptionnelle, il arrive qu'un neutrino percute le noyau d'un atome et crée une « cascade » de particules subatomiques. Dans la glace, cette cascade s'accompagne de brefs éclairs lumineux, trahissant le passage du neutrino. Il existe trois variétés de neutrinos et la forme du signal lumineux dépend de la variété en question.

Le détecteur *IceCube* consiste en 1 kilomètre cube de glace équipé d'un réseau de capteurs optiques qui enregistrent l'émission lumineuse accompagnant l'interaction du neutrino avec la matière. Les neutrinos de haute énergie qui intéressent les physiciens d'*IceCube* ont d'abord traversé la Terre puis la glace avant de percuter un atome.



Des neutrinos de différentes énergies

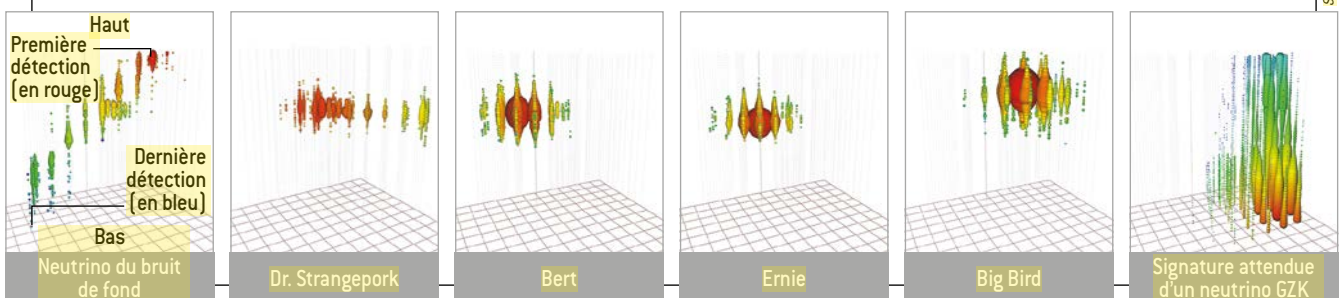
La plupart des neutrinos que détecte *IceCube* sont du « bruit de fond » liés à des processus se déroulant dans l'atmosphère. Leur énergie est assez basse et ils traversent le détecteur de haut en bas (figure de gauche). Le taux de détection est de 3 000 par seconde.

Les neutrinos cosmiques arrivent *a priori* de n'importe quelle direction. Les neutrinos muoniques cosmiques créent des traînées (tel l'événement Dr. Strangepork), alors que les neutrinos électroniques ou tauiques cosmiques apparaissent comme des explosions

de lumière (Bert, Ernie, Big Bird). Les physiciens traquent aussi des signaux de neutrinos GZK, produits par des interactions avec le fond diffus cosmologique. L'énergie d'un tel neutrino serait un millier de fois celle des autres neutrinos cosmiques (figure de droite).

Basse énergie ←

→ Haute énergie



Source: les six images du bas sont reproduites avec l'aimable autorisation de la collaboration IceCube; illustration de George Reiseck