



Le détecteur OPERA, destiné à l'étude des oscillations de neutrinos.

# Les neutrinos défient la relativité

François Vannucci (vannucci@in2p3.fr)

Laboratoire de physique nucléaire et des hautes énergies, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05

Apprendre à la radio que les neutrinos voyagent plus vite que la lumière, ce fut un choc pour un physicien rompu à ces particules fantasmagoriques. En effet, le vendredi 23 septembre 2011, les grands médias, les journaux et jusqu'aux télévisions, relayaient l'information que le neutrino serait une particule supraluminique.

Mais, pour l'instant, la communauté est plutôt réservée.

(1) Il existe trois saveurs de neutrinos : le neutrino électronique, le neutrino muonique et le neutrino tauique, ainsi appelés d'après le lepton qui leur est associé dans le modèle standard.

(2) Au moment où nous mettons sous presse cet article, des mesures additionnelles, permettant une mesure plus précise du temps de départ des neutrinos, paraissent confirmer le résultat [2].

(3) Un tachyon est une particule subatomique hypothétique, dont la vitesse est supérieure à la vitesse de la lumière dans le vide ; sa masse au repos est donc un nombre imaginaire pur.

## De quoi s'agit-il exactement ?

Des neutrinos produits au CERN ont été observés à 730 km de distance par un détecteur situé sous la montagne du Gran Sasso près de Rome, par la collaboration OPERA. Leur vitesse apparente est mesurée supérieure à celle de la lumière, montrant un excès de vitesse relative petit mais significatif, de l'ordre de  $2 \times 10^{-5}$  [1].

Les neutrinos se propagent en ligne droite, la croûte terrestre ne les arrête pas, leur vitesse est donc donnée par le rapport entre la distance parcourue et le temps de transit associé. L'expérience se fonde sur une métrologie très raffinée utilisant des récepteurs GPS et des horloges atomiques. À l'arrivée, les neutrinos précèdent la lumière de près de 60 nanosecondes, c'est-à-dire qu'ils la devancent d'environ 20 mètres.

Les neutrinos étudiés sont du type muonique<sup>(1)</sup> et transportent une énergie moyenne de 20 GeV. La vitesse des neutrinos avait été mesurée en accord avec celle de la lumière dans le cas de ceux issus de la supernova SN1987A. En l'occurrence, il s'agissait de neutrinos de type électronique et d'énergie 20 MeV. Comment réconcilier ces résultats ?

## Le résultat est-il fiable ?

Au-delà des spéculations théoriques, il a été proposé plus prosaïquement des corrections

mal comptabilisées. Il a d'abord été suggéré que des effets très fins liés à la relativité générale, venant du mouvement de la Terre, pourraient être à l'origine du phénomène observé. Mais, sur ce front, les physiciens d'OPERA ont pris toutes leurs précautions.

Malgré tout, il reste plusieurs questions au sujet de la définition du temps zéro de départ des neutrinos. Le profil des quelques 15 000 interactions détectées reproduit le profil de courants induits par la multitude de protons nécessaires à la production des neutrinos, mais de petites variations de populations dans les paquets de départ pourraient être responsables de corrections non prises en compte. Le traitement statistique du signal observé a aussi été critiqué.

## Où en est-on ?

Avant toute conclusion, le résultat demande confirmation. D'autres mesures plus précises doivent être envisagées. La collaboration OPERA elle-même met déjà au point deux tests nouveaux. L'un mesurera plus directement le temps zéro de production des neutrinos, l'autre utilisera des impulsions de protons beaucoup plus précises<sup>(2)</sup>.

Mais la physique des neutrinos demande du temps, et il faudra se montrer patient pour attendre la réponse définitive sur une énigme aussi détonante.

## Quelques pistes pour expliquer les faits

Une telle annonce a porté la communauté à ébullition. Les articles se sont multipliés, chacun tentant une interprétation. Les théoriciens ont, bien sûr, proposé diverses spéculations, parfois hasardeuses. Les neutrinos voyageraient-ils dans des dimensions supplémentaires ? La nature de tachyons<sup>(3)</sup> leur est exclue puisque depuis peu on leur assigne une masse, mais ils pourraient emprunter des raccourcis spatio-temporels prédits par certaines théories.

On a avancé un effet très subtil de mécanique quantique : la propagation des neutrinos dans la matière pourrait se faire en partie de manière cohérente et une « vitesse de phase » serait à l'œuvre. Si avéré, cela constituerait un résultat important, quoique restant dans un domaine ne violant pas l'orthodoxie.

Un théoricien a aussi pointé du doigt le fait que des neutrinos devançant la lumière rayonneraient sur leur passage, perdant ainsi de l'énergie. Pourtant la distribution en énergie mesurée est en accord avec une atténuation négligeable.

## Alors pourquoi ce battage médiatique ?

Le brouhaha des médias, très inhabituel pour un résultat de physique, est sans doute lié au personnage d'Einstein dont on ose discuter la théorie. Le physicien est devenu le symbole d'une science hégémonique.

Souvenons-nous, malgré tout, que les théories trouvent un jour leur limite. La relativité, en question ici, a elle-même dépassé la théorie de Newton qui reste pourtant valable dans son domaine d'application. Pour le moment, restons prudents avant de remettre en cause la relativité. Il ne faut pas enterrer trop vite la formule «  $E = mc^2$  » !

En tout cas, une fois de plus, les neutrinos s'affichent comme des particules élémentaires pas comme les autres, et tant mieux si elles ont mérité une notoriété médiatique d'un jour, même si c'est pour une raison qui n'est peut-être pas la bonne. ■

### Référence

- 1• L'article original (22 septembre 2011) est en accès libre sur le site : <http://arxiv.org/abs/1109.4897>.
- 2• Voir le communiqué du CERN (18 novembre 2011) : <http://press.web.cern.ch/press/PressReleases/Releases2011/PR19.11E.html>.