

# DOUBLE CHOOZ

## ET LES OSCILLATIONS DE NEUTRINOS

Les neutrinos sont des particules élémentaires qui peuvent changer de nature au cours de leur vie. Cette transformation, appelée « oscillation », est un phénomène quantique qui dépend de constantes physiques mesurées par de nombreuses expériences, dont Double Chooz.



Il existe trois types de neutrinos différents : électronique ( $\nu_e$ ), muonique ( $\nu_\mu$ ) et tauique ( $\nu_\tau$ ). Une fois produits, ils sont capables de changer de type au cours de leur vie, grâce à une propriété quantique appelée « oscillation ». Ce phénomène, observé depuis une vingtaine d'années, touche tous les neutrinos avec une ampleur variable, qui dépend de plusieurs paramètres et de la distance parcourue par la particule entre l'endroit où elle a été produite et celui où elle est détectée.

De nombreuses expériences, très différentes par leur conception, étudient ce comportement. Certaines utilisent un faisceau de neutrinos produit

par un accélérateur, d'autres le flux très intense de neutrinos émis par un réacteur nucléaire : de l'ordre de  $10^{21}$  neutrinos par seconde pour une puissance électrique de 1 000 mégawatts. Dans tous les cas, on compare les caractéristiques (connues) de la source de neutrinos avec ce qui est mesuré plus loin dans un détecteur. La distance entre la source et le détecteur est optimisée en fonction de l'énergie des neutrinos et des paramètres de l'oscillation cherchée, afin que l'effet observé soit le plus important possible. Elle va de quelques mètres à plusieurs centaines de kilomètres.

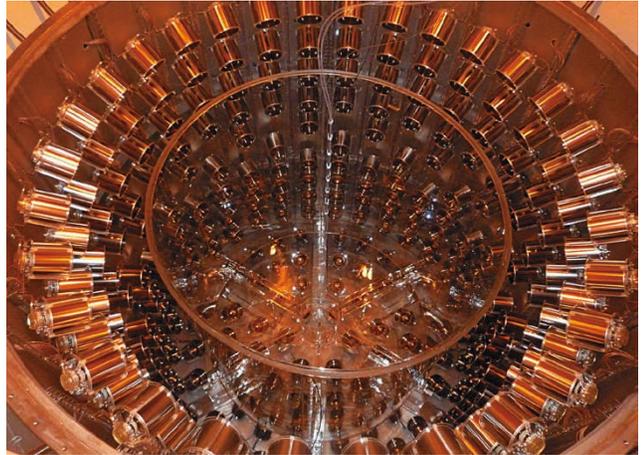
Double Chooz, située dans les Ardennes à proximité immédiate d'une centrale nucléaire, est l'une des nombreuses expériences sur les neutrinos actuellement en cours dans le monde. Elle a pour but de

### Site de Chooz

Le site de Chooz, avec l'emplacement des deux détecteurs de neutrinos. La centrale nucléaire de Chooz comporte deux unités de 1 450 MW chacune.

Les réacteurs à eau pressurisée actuels ont été mis en service en 1996 et 1997.

mesurer avec précision l'un des paramètres des oscillations de neutrinos, important pour explorer l'origine de l'asymétrie entre matière et antimatière dans l'Univers. Pour y parvenir, Double Chooz utilise deux détecteurs placés respectivement à 400 m et 1 km des réacteurs. Le détecteur lointain, le premier à avoir été mis en service, est placé à un endroit où un maximum de neutrinos électroniques devraient avoir oscillé en un autre type – et donc devraient manquer à l'appel. Le détecteur proche, en fonctionnement depuis 2015, permet la mesure du flux de neutrinos avant oscillation.



Les neutrinos ne se laissent pas traquer facilement. Leur détection est tellement rare qu'il faut faire des mesures dans des endroits très isolés. Les détecteurs doivent être protégés, en particulier des rayons cosmiques, par une épaisse couverture de roche. Ainsi le détecteur lointain se situe sous 150 mètres de collines rocheuses – 45 mètres de roches pour le détecteur proche.

Faute de « voir » les neutrinos, les physiciens détectent les photons énergétiques (rayons gamma), produits lors d'interactions de neutrinos avec de l'hydrogène contenu dans le détecteur. Chaque détecteur est constitué de volumes imbriqués les uns dans les autres à la manière de poupées russes pour détecter le signal des photons tout en l'isolant des bruits de fond parasites. Les cuves sont remplies de liquide scintillant qui transforme les dépôts d'énergie de rayons gamma en émission de lumière visible, détectée par près de 500 photodétecteurs (tubes photomultiplicateurs).

Les résultats de Double Chooz et des expériences similaires comme Daya Bay (Chine) et RENO (Corée du Sud) montrent clairement l'oscillation des neutrinos électroniques. La valeur mesurée, plus grande qu'attendue, ouvre des perspectives expérimentales intéressantes – comme par exemple l'étude d'éventuelles différences entre neutrinos et antineutrinos qui pourraient nous aider à comprendre l'origine de l'asymétrie matière-antimatière dans l'Univers.

Actuellement (avril 2016), les valeurs absolues de tous les paramètres gouvernant les oscillations des neutrinos sont connues avec une précision de l'ordre de quelques pourcents. Reste à déterminer leurs signes – on ne sait pas par exemple classer les trois types de neutrinos par masse croissante – et à chercher d'éventuelles différences entre neutrinos et antineutrinos.

#### Cuve d'un détecteur Double Chooz

La cuve d'un détecteur Double Chooz, ici vue de dessus, fait environ 10 m<sup>3</sup>. Lors des périodes de prise de données, elle contient 8 tonnes de liquide scintillant dans lequel des neutrinos peuvent interagir. Les photons créés lors de ces processus sont enregistrés par environ 500 photomultiplicateurs qui tapissent les parois de la cuve.