

4. Antarès : le neutrino, un autre messager du cosmos



Immersion d'un étage à trois « yeux » lors du déploiement de la première ligne d'Antarès à 40 kilomètres de la Seyne-sur-Mer.

S'il est un lieu où une personne non initiée n'irait pas chercher un télescope, c'est bien dans les profondeurs marines. Pourtant, l'expérience Antarès (pour *Astronomy with a Neutrino Telescope and Abyss environmental RESearch*) observe les cieux par 2 500 mètres au fond de la mer Méditerranée, à 40 kilomètres au large de Toulon. Placer un télescope observant vers le bas, à travers la terre, et donc à l'inverse des instruments tournés vers le ciel, pourrait paraître saugrenu *a priori*. Pour les chercheurs, il s'agit d'un endroit qui pourrait permettre de contribuer à résoudre une énigme encore indéchiffrée de l'astrophysique : l'origine du **rayonnement cosmique** qui pourtant bombarde l'atmosphère en permanence. Pour comprendre l'expérience Antarès, il faut savoir que les rayons cosmiques les plus énergétiques naissent d'événements comme les échanges de matière dans les **étoiles** binaires, l'explosion de **supernovae** dans la **Voie lactée**, les jets des **noyaux** actifs de **galaxies** ou les **sursauts gamma** dans les zones plus éloignées du cosmos. Il faut savoir encore que les **photons** gamma, aux énergies les plus extrêmes, ne permettent de sonder les phénomènes cataclysmiques que dans la proche banlieue de la galaxie. Difficulté supplémentaire : les particules constituant le rayonnement cosmique – pour l'essentiel des **protons** – sont rapidement arrêtées ou, à plus basse énergie,

déviées par les **champs magnétiques** intergalactiques. La solution à l'ensemble de ces problèmes passe par le **neutrino**. Produit dans les objets où le rayonnement cosmique s'accélère, il s'agit d'une particule élémentaire neutre et donc insensible aux champs magnétiques – il n'interagit que faiblement avec la matière et rend donc l'Univers transparent. Il permet de sonder le cœur des objets les plus denses. Mais cet avantage devient un inconvénient : il les rend extrêmement difficile à observer. D'où l'idée de concevoir un détecteur, suffisamment grand pour pouvoir déceler quelques rares interactions de ces particules fugaces, et immergé pour atténuer le flux du rayonnement cosmique. Il recevra le nom d'Antarès.

Qu'il soit immergé augmente les chances d'observer les neutrinos en se servant de la Terre comme cible. En effet, un neutrino qui interagit avec la croûte terrestre crée un « **muon** » émis dans la même direction. En arrivant dans le milieu marin, celui-ci produit alors des photons Cherenkov. Antarès peut les observer grâce à son réseau de 900 photodétecteurs installés sur 12 lignes, hautes de 450 mètres, espacées de 65 mètres, dont la surface d'ancrage équivaut à quatre terrains de football (figure 1). Chaque ligne est maintenue verticale par des bouées et comporte 25 étages équipés de trois photomultiplicateurs et d'une électronique embarquée capable de transmettre



L. Fabre/CEA

Ligne d'Antarès en attente d'être déployée.

des signaux, en temps réel, vers la côte. Là, une « ferme » de plusieurs dizaines d'ordinateurs filtre la centaine de photons recueillie pour chaque muon, de la lumière parasite due à la **radioactivité naturelle** et à la faune bioluminescente.

Opérationnel depuis 2006, Antarès a permis d'accumuler un grand nombre de données, notamment des dizaines de millions de muons descendants provenant de l'interaction du rayonnement cosmique dans l'atmosphère, malgré le blindage d'eau placé au-dessus du détecteur. Mais ce sont également des muons montants, un phénomène beaucoup plus rare – seulement quelques milliers par an – induits par des neutrinos dits atmosphériques, les seules particules produites lors de l'interaction du rayonnement cosmique aux antipodes qui soient capables de traverser la Terre. Une fois leur direction déterminée, ces neutrinos peuplent uniformément la carte du ciel et constituent ce que les physiciens des astro-

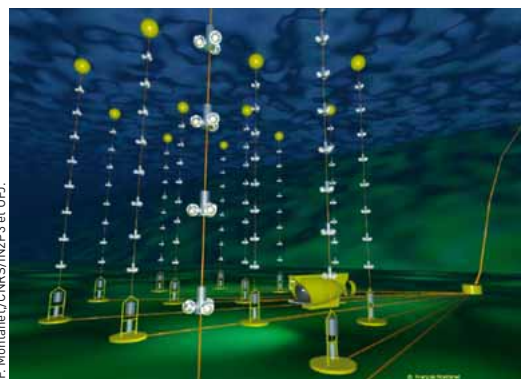
particules appellent « un bruit de fond ». La découverte d'une source cosmique n'interviendra qu'à l'occasion d'une accumulation anormale de quelques neutrinos de haute énergie observée sur cette carte. Mais la détection d'une telle source apportera la preuve irréfutable de la présence d'un accélérateur du rayonnement cosmique.

Compte tenu du très faible nombre d'événements attendus, le développement de l'astronomie neutrinos appelle un détecteur aux dimensions kilométriques, soit 50 fois plus grand qu'Antarès et doté de plusieurs milliers de photomultiplicateurs. L'étude de ce télescope du futur a déjà commencé au sein du consortium KM3NeT (pour *Km³ scale Neutrino Telescope*), un consortium regroupant 40 laboratoires appartenant à 10 pays européens et financé avec l'aide l'Union européenne.

Prévue pour 2012, le début de la construction de l'instrument concrétisera une infrastructure pluridisciplinaire unique au monde dans le domaine des sciences environnementales (océanographie, sismologie, zoologie marine, climatologie...). En l'attente, Antarès continue de scruter le ciel de l'hémisphère Sud, à travers la Terre, à la recherche de l'origine du rayonnement cosmique.

> Thierry Stolarczyk

Service de physique des particules (SPP)
Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers (Irfu)
Direction des sciences de la matière (DSM)
CEA Centre de Saclay (Orme des Merisiers)



F. Montane/CNRS/IN2P3 et UFL

Figure 1. Vue d'artiste du détecteur Antarès, un réseau de 900 photodétecteurs équipant 12 lignes de 450 mètres de haut à 2 500 mètres de profondeur. Ces lignes délimitent un volume de 20 millions de tonnes d'eau utilisée pour observer la lumière Cherenkov des particules qui la traverse (les échelles et le nombre d'éléments ne sont pas respectés).

POUR EN SAVOIR PLUS

T. STOLARCZYK, *Le neutrino, particule ordinaire*, Collection Les petites pommes du savoir, Editions du Pommier, 2008.
<http://antares.in2p3.fr> et <http://www.km3net.org>