



PROJET SUPERNEMO

A la conquête de l'antineutrino

neutrino, l'un étant absorbé par l'autre ! Cette désintégration doit ainsi se traduire par l'émission de deux électrons d'une énergie bien déterminée. C'est ce que cherche à observer depuis le début 2002 l'expérience Nemo 3, à Modane

(Savoie), sous le mont Fréjus. Mais le dispositif, un détecteur d'électrons au sein duquel se trouvent des feuilles de molybdène, pourrait bien ne pas être assez sensible.

20 FOIS LA TAILLE DU PROJET NEMO

Du coup, les physiciens travaillent sur un projet cent fois plus sensible, Supernemo. "Avec Nemo, on doit être capable d'observer une double désintégration sans neutrinos si le phénomène se produit en moyenne aussi rarement qu'une fois tous les deux millions de milliards de milliards d'années (2×10^{24} ans). Supernemo pourra l'observer même s'il ne se produit que tous les 200 millions de milliards de milliards d'années (2×10^{26} ans)", explique Fabrice Piquemal, du Centre d'études nucléaires de Bordeaux Gradignan et responsable du projet. Supernemo serait formé d'une vingtaine de modules de la taille de Nemo, plongés dans des cavités remplies d'eau. La phase de recherche et développement en cours pourrait aboutir à la construction d'un premier module dès 2009.

SUPERNEMO

Super Neutrino Ettore Majorana Observatory

Date A partir de 2011

Lieu Encore indéterminé. Dans un laboratoire souterrain comme celui de Modane (Français), ou du Gran Sasso (Italie)

Budget 30 millions d'euros

Pays impliqués Espagne, Etats-Unis, Finlande, France, Japon, Maroc, République tchèque, Royaume-Uni, Russie, Slovaquie, Ukraine

Une question taraude les physiciens : le neutrino est-il sa propre antiparticule ? Impossible pour l'instant de le savoir car ce n'est pas leur charge électrique qui les différencie, celle-ci étant nulle. Or la charge est justement le seul paramètre mesurable sur le neutrino. Pour contourner le problème, les physiciens cherchent à observer une double désintégration bêta sans émission de neutrinos. Lors d'une désintégration radioactive bêta, un neutron se transforme en proton, émettant un électron et un antineutrino. Mais pour des atomes comme le molybdène, il arrive (rarement) qu'une double désintégration bêta survienne. La réaction précédente se produit alors simultanément deux fois. Or, on le sait, émettre un antineutrino revient à absorber un neutrino. Donc, s'ils sont identiques, cette double désintégration pourrait se produire sans émission de

< A Bordeaux, Fabrice Piquemal, du projet Supernemo, teste l'un des futurs photodétecteurs.

PROJET KATRIN

A la recherche de sa masse

Quels que soient les progrès qui permettent de mieux le cerner, la grande inconnue de neutrino demeure encore et toujours sa masse. Car depuis que l'on sait qu'ils se transforment les uns en les autres, les équations le démontrent formellement : une telle oscillation implique une différence de masse entre deux neutrinos d'espèces différentes. Et une différence de masse implique nécessairement... une masse ! Mais si l'on parvient à mesurer les écarts de masses entre les différents neutrinos, grâce aux expériences sur les oscillations, la masse absolue de chaque particule reste in-

accessible. Alors qu'elle est déterminante : même s'ils sont extrêmement légers, ils contribuent, vu leur nombre, significativement à la masse de l'Univers ! De là, l'expérience allemande baptisée Katrin : en cours de construction à Karlsruhe, elle fait le pari de parvenir à peser ces particules, en décomptant précisément le défaut de masse résultant de la perte d'un neutrino lors de la désintégration radioactive bêta du tritium. Dans cette réaction, un neutron du tritium se transforme en proton, émettant un électron et un antineutrino. Or, parvenir à mesurer très précisément les énergies

des électrons émis lors des désintégrations successives permet de quantifier l'énergie manquante, c'est-à-dire celle qui est emportée par l'antineutrino ! Ce qui donne accès à sa masse, dont on déduira celle de tous les neutrinos. Si des expériences de ce type ont déjà été menées, aucune n'a réussi à atteindre une précision suffisante pour obtenir le résultat escompté. Katrin, qui devrait commencer ses mesures en 2009, en viendra peut-être à bout ! →

KATRIN

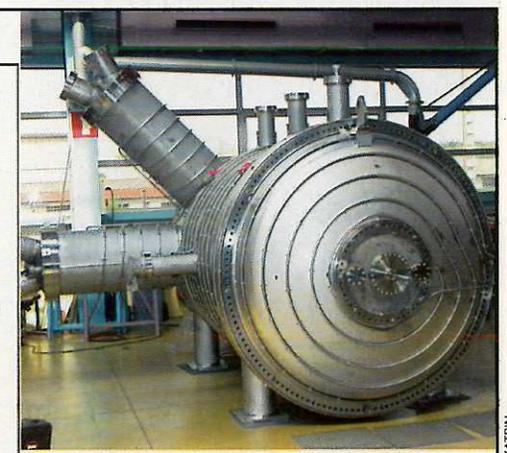
Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment

Date A partir de 2009

Lieu Karlsruhe, Allemagne

Budget 35 millions d'euros

Pays impliqués Allemagne, Etats-Unis, République tchèque, Royaume-Uni, Russie



▲ L'objectif de Katrin est de calculer la masse d'un neutrino grâce à une série de spectromètres.

PROSPECTIVE

NEUTRINO

La petite particule qui monte

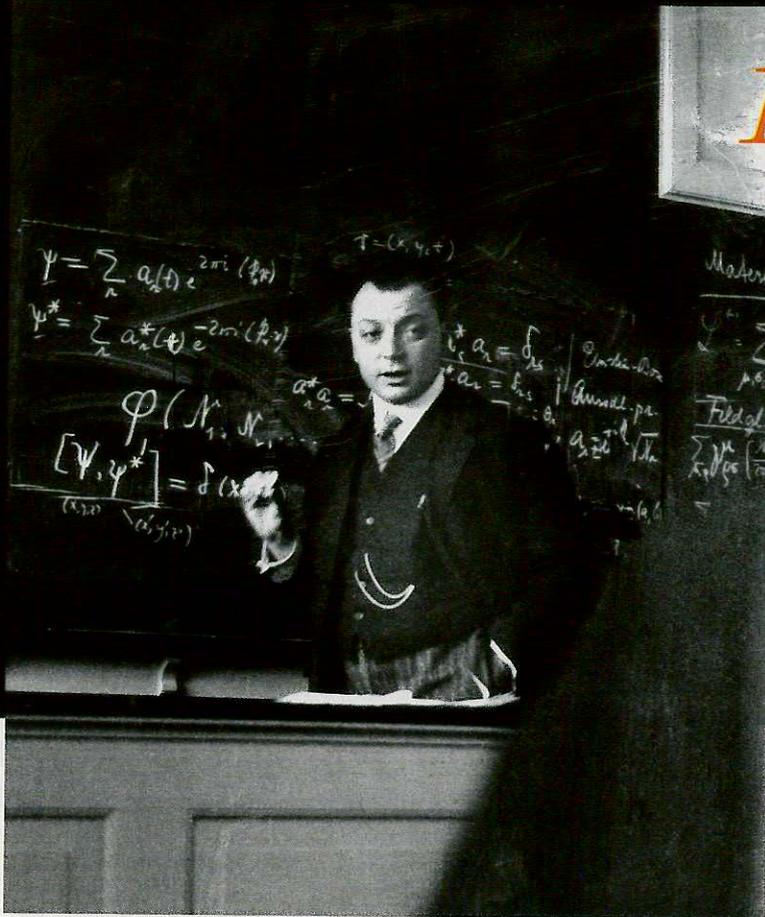
En **1956**, une particule extrêmement discrète était détectée pour la **première fois**. 50 ans plus tard, le neutrino est devenu une véritable **star** de la physique. Dans le monde entier, des chercheurs déploient des **détecteurs** toujours plus fantastiques pour le **capturer**, ou même l'utiliser. Pleins feux sur **sept expériences** qui promettent de percer enfin à jour la particule la plus **mystérieuse** de la science moderne.

Par Cécile Bonneau

explorations

1

D A T E S C L É S

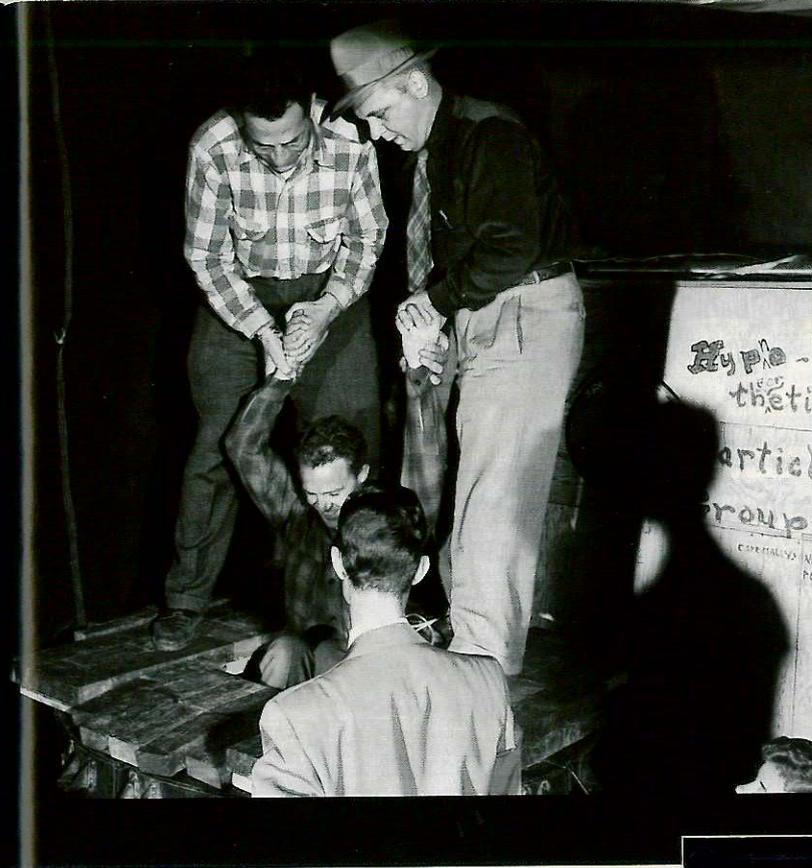


1930

Wolfgang Pauli propose l'existence d'une particule neutre de faible masse pour expliquer l'apparente non-conservation de l'énergie dans la désintégration radioactive bêta, mise en évidence en 1914. Trois ans plus tard, Fermi baptisera cette particule "neutrino".

1956

Fred Reines et Clyde Cowan détectent le premier neutrino grâce à une cuve de 400 litres, remplie d'eau et de chlorure de cadmium et tapissée de photodétecteurs, située près du réacteur nucléaire de Savannah River, en Caroline du Sud.



1968

Raymond Davis observe lors d'une expérience souterraine dans le Dakota un déficit de neutrinos solaires, premier indice de l'oscillation des neutrinos. Elle ne sera prouvée qu'en 1998. Davis a obtenu le Nobel en 2002.

Des résultats bouleversants en 1998. Un prix Nobel en 2002. Une expérience souterraine hors norme lancée l'an dernier aux États-Unis. Une autre attendue en Europe cette année. Des projets démesurés prévus jusqu'en 2020, du Japon à l'Allemagne, en passant par le fond de la Méditerranée... Pas de doute, le neutrino est la particule star de la physique de ce début de XXI^e siècle!

Une star bien discrète cependant. Minuscule – au moins un million de fois moins lourde qu'un électron – à tel point que l'on pensait encore il y a dix ans que sa masse était nulle. Électriquement neutre, ce qui lui permet de traverser à la vitesse de la lumière l'espace, la Terre, et la matière la plus dense presque sans interagir avec elle, tel un moucheron passant au travers d'un filet à papillons. Résultat : le Soleil a beau bombarder la Terre de neutrinos à raison de 66 milliards par centimètre carré et par seconde, nos propres os ont beau en produire 400 millions chaque jour par radioactivité

naturelle, cette particule, dont l'existence est postulée depuis soixante-quinze ans, a longtemps résisté à l'observation.

Le premier physicien à avoir soupçonné son existence, dès 1930, est l'Autrichien Wolfgang Pauli. En observant les électrons émis par la radioactivité bêta, il remarqua que le principe de conservation de l'énergie semblait violé par cette réaction. A moins... qu'une particule indétectable, neutre, n'emporte subrepticement une part de l'énergie. L'hypothèse sembla dépasser Pauli lui-même qui concéda : "[si de telles particules] existaient, on les aurait sans doute vues depuis bien longtemps", écrivit-il à l'époque!

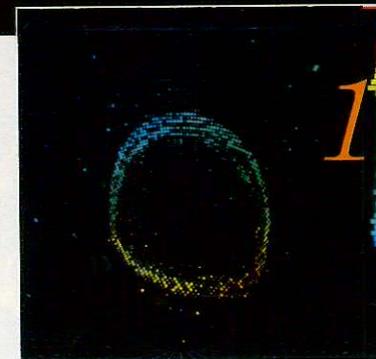
PAS MOINS DE SIX TYPES DE NEUTRINOS !

Finalement, c'est le célèbre physicien italien Enrico Fermi qui, convaincu par l'idée de Pauli, publiera en 1933 une théorie de la désintégration bêta intégrant cette particule fantôme, qu'il appelle "petit neutre" en italien. Le neutrino était né et baptisé... Restait encore à le voir! Ce n'est

qu'en 1956, en Caroline du Sud, que les Américains Fred Reines et Clyde Cowan vont réussir pour la première fois à en attraper un. Ou plutôt... à sentir frémir le filet tendu sur le passage d'un de ces mouchérons élémentaires.

Ce ne fut qu'un début. Depuis, les chercheurs n'ont cessé de tisser des toiles de plus en plus denses pour s'en emparer et les disséquer enfin. Une tâche fort longue. Et pour cause : dans le monde des particules élémentaires, il n'existe pas moins de trois "familles" pourvues chacune d'un neutrino. *Primo*, celle de l'électron, qui constitue notre matière stable et ordinaire, et qui possède son neutrino électronique. C'est celui-ci que découvrirent Reines et Cowan. Puis la famille du muon (sorte de gros électron instable), qui compte un neutrino muonique, découvert en 1962 au Brookhaven National Laboratory, dans l'Etat de New York. Enfin, la famille du tau (sorte de gros muon), pourvue d'un neutrino tauique qui, lui, ne fut observé qu'en 2000, au Fermilab, près de Chicago. Et puisque chacun de ces neutrinos possède son double d'antimatière, l'antineutrino, cela porte finalement à six le nombre d'individus de cette espèce!

Mais si les neutrinos voient aujourd'hui un tel champ d'investigation s'ouvrir sur leur passage, c'est grâce à une découverte capitale faite au Japon en 1998, dans l'impressionnant détecteur SuperKamiokande. Cet immense dis-



1998

SuperKamiokande, au Japon, prouve enfin que les neutrinos "oscillent" (ils se transforment les uns en les autres).

positif a pu prouver qu'ils sont capables de se métamorphoser (d'"osciller") : ils se transforment les uns en les autres au fil de leur voyage! Une découverte qui implique que le neutrino possède bien une masse, si petite soit-elle... Et qui fait jaillir nombre de questions : comment se déroulent en détail ces étranges transmutations? Quelle est la masse des neutrinos? Quelles sont les caractéristiques de leurs antiparticules? Plusieurs expériences comptent bientôt apporter des réponses. Tandis que d'autres, menées en parallèle, entendent déjà utiliser les neutrinos pour observer le ciel ou la Terre sous un angle inédit... Voici donc sept projets fondamentaux ou appliqués, qui, parions-le, devraient enfin lever le voile sur une des plus mystérieuses particules de la physique moderne!

PROJETS MINOS ET OPÉRA

A l'assaut de la nature transformiste du neutrino

Un autre projet doit venir compléter Minos dès l'été prochain. Baptisée Opéra, cette expérience européenne prévoit, à l'inverse de Minos, de décompter le nombre de

neutrinos tauïques apparus. Une tâche bien plus ardue, mais incontournable : "Les deux expériences, de disparition du neutrino muonique et d'apparition du neutrino tauïque, complémentaires, sont nécessaires pour valider l'hypothèse de l'oscillation du neutrino", explique Yves Déclais, physicien à l'Institut de physique nucléaire de Lyon, impliqué dans le projet. Non moins impressionnant que Minos, Opéra prévoit de lancer depuis le Cern un faisceau de neutrinos muoniques jusqu'à la montagne du Gran Sasso, en Italie. "On vise avec une précision angulaire de quelques microdegrés, note Yves Déclais, puisqu'il faut atteindre un détecteur d'une petite centaine de mètres à 732 km de distance!" Un tir d'élite, orchestré depuis l'accélérateur de Genève, où le faisceau, dont le dispositif

est en cours de construction, devrait être testé en juin.

Une fois reçu dans le laboratoire du Gran Sasso, le faisceau se compose toujours en majorité de neutrinos muoniques, mais aussi de quelques

neutrinos tauïques (issus → **Des détecteurs évaluent au départ (ici) et à l'arrivée le nombre de neutrinos muoniques.**)



On le sait avec certitude depuis 1998 : les neutrinos se transforment les uns en les autres. Ils "oscillent", en langage de physicien. Deux expériences comptent justement percer les secrets de cet étonnant phénomène. Et les dispositifs qu'elles mobilisent ne se contentent pas d'attendre que les neutrinos arrivent du Soleil ou des centrales nucléaires. Il s'agit ici de produire spécialement des neutrinos!

Ainsi le projet Minos, entré en service il y a déjà quelques mois aux Etats-Unis, consiste à envoyer un faisceau de neutrinos depuis le Fermilab, le célèbre accélérateur de particules situé près de Chicago, vers un détecteur situé... dans une mine profonde du Minnesota, à 724 km de là! Les neutrinos traversent tout l'Etat du Wisconsin en quelques millièmes de seconde, dans le sous-sol, sans emprunter de tunnel. Cette expérience doit déterminer dans quelle proportion le neutrino muonique se transforme en un autre neutrino (électronique ou tauïque) pendant le voyage. Pour ce faire, un premier détecteur, situé à un kilomètre du Fermilab, évalue le nombre de neutrinos muoniques envoyés, tandis que le deuxième les recense 724 km plus loin.

DES EXPÉRIENCES COMPLÉMENTAIRES

Le deuxième détecteur contient 486 plans massifs octogonaux en acier recouverts d'une couche de scintillateur plastique. En atteignant l'acier, les neutrinos muoniques qui heurtent un atome se transforment en muons, lesquels émettent un flash lumineux dans le scintillateur. Il ne reste plus qu'à faire la soustraction entre les neutrinos du premier et du second détecteur pour connaître la proportion de neutrinos muoniques disparus. Les premières données pourraient arriver courant 2006, mais plusieurs années de mesures seront nécessaires pour les affiner.

< Minos consiste à faire parcourir 724 km à un faisceau de neutrinos. Le but? Percer les mystères de leur transformation.

MINOS

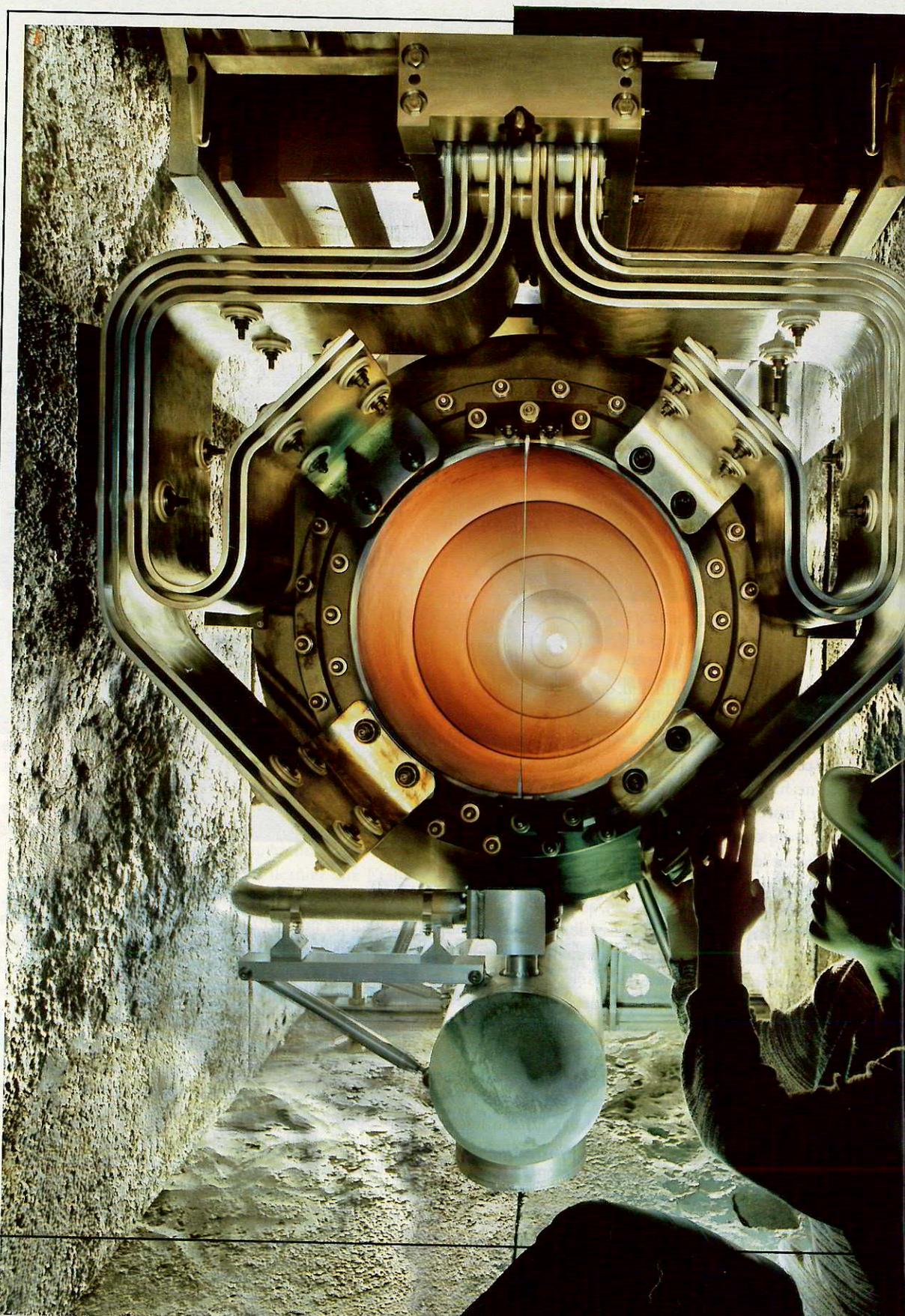
Main Injector
Neutrino Oscillation
Search

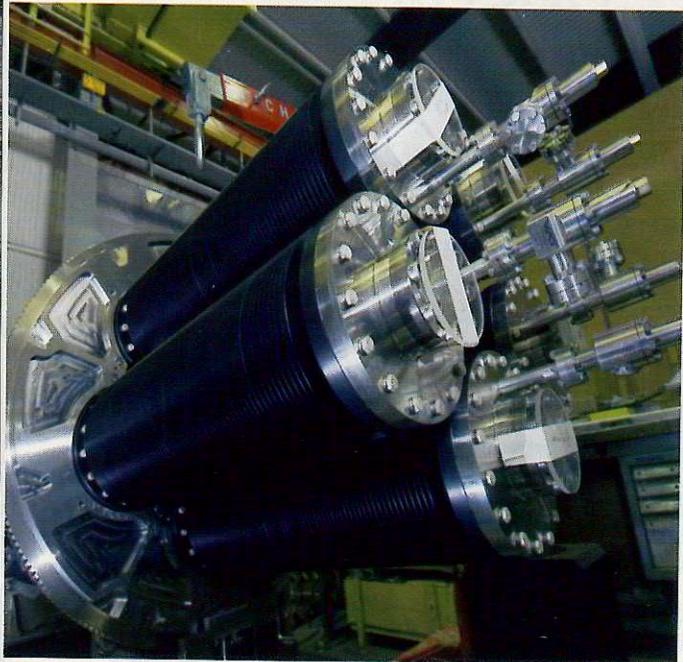
Date A partir de
février 2005

Lieu Depuis le
Fermilab, à Chicago
(Illinois, Etats-Unis),
jusqu'à Soudan
(Minnesota, Etats-
Unis)

Budget 150 mil-
lions de dollars

Pays impliqués
Etats-Unis, Grèce,
France, Russie,
Grande-Bretagne,
Brésil





▲ Cette cible de graphite située au Cern, près de Genève, sera bombardée de protons, afin de produire une émission de neutrinos muoniques vers l'Italie.



▲ 732 km plus loin, Opéra analysera la composition du faisceau.

soin d'une résolution supérieure à une fraction de millimètre, dans un détecteur qui fait au total 2 000 tonnes, ce qui laisse facilement imaginer la difficulté expérimentale!", s'exclame Yves Déclais. Et voilà bien la prouesse :

OPERA
Oscillation Project with Emulsion Tracking Apparatus

Date A partir de début 2007
Lieu Depuis le Cern, près de Genève, jusqu'au laboratoire souterrain du Gran Sasso (Italie)
Budget 111 millions d'euros
Pays impliqués Allemagne, Belgique, Bulgarie, Chine, Corée, Croatie, France, Israël, Italie, Japon, Russie, Suisse, Turquie

→ des fameuses oscillations), qu'il s'agit alors de détecter. "C'est sortir une aiguille d'une botte de foin, insiste Yves Déclais. En cinq ans de fonctionnement, on devrait enregistrer à peu près 30 000 interactions de neutrinos, parmi lesquels seulement quelques dizaines de neutrinos tauiques!"

UNE FRACTION DE MM DE RÉOLUTION !

Or, le neutrino tauique est justement le plus difficile à observer. En effet, en heurtant la matière, il se transforme en tau, sorte de gros électron très instable extrêmement difficile à détecter. Contrairement au muon du neutrino muonique, qui traverse en ligne droite une grande quantité de matière, ou à l'électron du neutrino électronique, qui produit une immense gerbe électromagnétique, le tau se désintègre très rapidement, quelques millimètres seulement après avoir été créé, pour se transformer en d'autres particules. Dans ces conditions, le défi consiste à identifier les rares traces dotées d'une petite cassure à leur origine. "On a be-

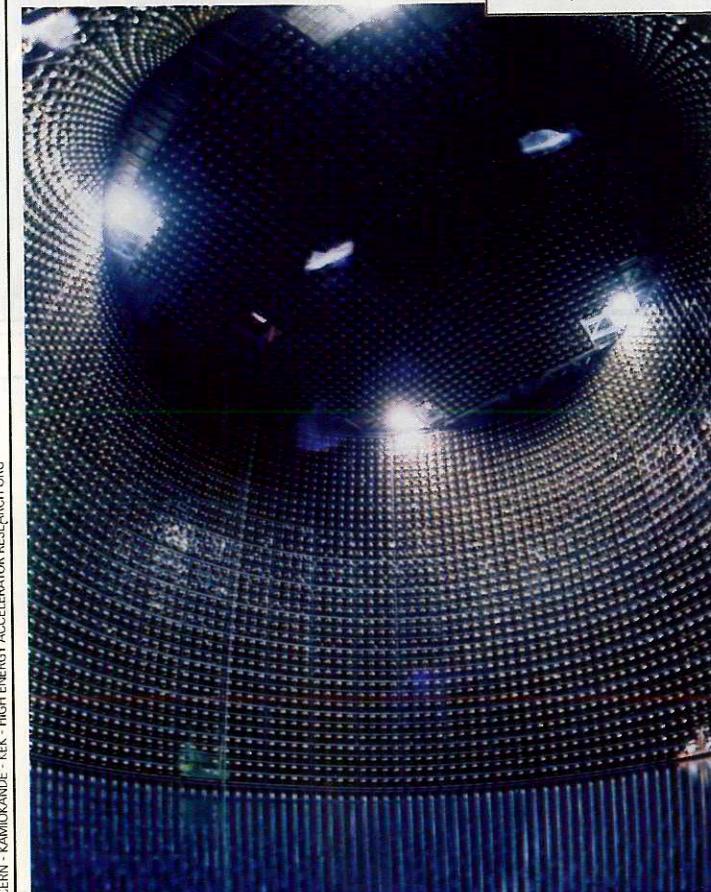
les physiciens sont parvenus à concevoir un détecteur capable de concilier, d'une part, une taille immense pour augmenter les chances d'interaction entre les neutrinos et la matière, et d'autre part, une résolution très fine permettant de distinguer les maigres traces de désintégrations des taus. Son secret? Au sein de la caverne qui le protège des rayons cosmiques perturbateurs, Opéra est constitué de 200 000 petites briques élémentaires, formées de très fines feuilles de plomb et d'émulsions photographiques empilées, qui sont récupérées et analysées lorsqu'une particule vient à les frapper. Entre 30 et 40 interactions devraient se produire par jour, pendant les cinq ans que durera l'expérience. Et les briques ayant subi les interactions seront prélevées quotidiennement et envoyées dans les différents laboratoires participant au projet, en Europe comme au Japon, pour y être développées. "Passer par des émulsions est long et fastidieux, mais employer, dans une machine de cette taille, des détecteurs électroniques donnant des résultats immédiats aurait coûté des centaines de fois plus cher!", explique Yves Déclais.

PROJETS T2K A la poursuite de ses métamorphoses cachées

lourdes réparations : en 2001, l'un de ses 11 200 photodétecteurs, situé dans le fond de la cuve, avait imploré, créant une onde de choc qui détruisit finalement plus de la moitié des détecteurs! L'expérience avait pu reprendre quelque temps, après une répartition homogène des détecteurs restant. Mais il fait maintenant l'objet de travaux en vue de permettre une expérience qui devrait surpasser Minos et Opéra! En effet, le futur accélérateur de protons J-Park de Tokai, en cours de construction à 295 km de là, doit lui envoyer un flux de neutrinos si dense qu'il devrait permettre d'observer les quelques rares oscillations de neutrinos muoniques en neutrinos électroniques. "On ne sait presque rien de cette oscillation pour le moment, tant elle est minoritaire et difficile à observer, explique Christian Cavata, chercheur au CEA impliqué dans le projet japonais. On sait juste qu'elle concerne moins de 5 % des oscillations! Et on espère pouvoir la quantifier précisément grâce à cette expérience." Il faudra toutefois sûrement attendre la fin des années 2010 pour avoir des résultats de ce projet nommé T2K (pour "Tokai to Kamioka"). Résultats qui seront d'ailleurs décisifs pour les futurs projets de recherche des années 2020! →

T2K
Tokai to Kamioka
Date A partir de 2009
Lieu De Tokai à Kamioka (Japon)
Budget 16 milliards de yens
Pays impliqués Canada, Corée, Espagne, Etats-Unis, France, Italie, Japon, Pologne, Royaume-Uni, Russie, Suisse

Tandis que l'expérience Opéra battra son plein, en 2009, c'est le célèbre détecteur japonais SuperKamiokande qui devrait reprendre du service. Plus grand détecteur de neutrinos du monde, il est situé à 200 km au nord de Tokyo, à 1 000 mètres sous terre, dans une ancienne mine d'étain. C'est un réservoir cylindrique en acier inoxydable, de 40 mètres de haut et 40 mètres de diamètre, contenant 50 000 tonnes d'eau ultrapure. Arrêté depuis l'année dernière, il subit actuellement de



CERN - KAMIOKANDE - KEK - HIGH ENERGY ACCELERATOR RESEARCH ORG



▲ L'accélérateur de protons J-Park actuellement en construction enverra un flux de neutrinos...

< ...que la cuve de 50 000 litres d'eau ultrapure de SuperKamiokande, située à 295 km de là, permettra d'observer.



PROJET SUPERNEMO

A la conquête de l'antineutrino

neutrino, l'un étant absorbé par l'autre ! Cette désintégration doit ainsi se traduire par l'émission de deux électrons d'une énergie bien déterminée. C'est ce que cherche à observer depuis le début 2002 l'expérience Nemo 3, à Modane (Savoie), sous le mont Fréjus. Mais le dispositif, un détecteur d'électrons au sein duquel se trouvent des feuilles de molybdène, pourrait bien ne pas être assez sensible.

SUPERNEMO
Super Neutrino
Ettore Majorana
Observatory

Date A partir de 2011

Lieu Encore indéterminé. Dans un laboratoire souterrain comme celui de Modane (Français), ou du Gran Sasso (Italie)

Budget 30 millions d'euros

Pays impliqués Espagne, Etats-Unis, Finlande, France, Japon, Maroc, République tchèque, Royaume-Uni, Russie, Slovaquie, Ukraine

20 FOIS LA TAILLE DU PROJET NEMO

Du coup, les physiciens travaillent sur un projet cent fois plus sensible, Supernemo. "Avec Nemo, on doit être capable d'observer une double désintégration sans neutrinos si le phénomène se produit en moyenne aussi rarement qu'une fois tous les deux millions de milliards de milliards d'années (2×10^{24} ans). Supernemo pourra l'observer même s'il ne se produit que tous les 200 millions de milliards de milliards d'années (2×10^{26} ans)", explique Fabrice Piquemal, du Centre d'études nucléaires de Bordeaux Gradignan et responsable du projet. Supernemo serait formé d'une vingtaine de modules de la taille de Nemo, plongés dans des cavités remplies d'eau. La phase de recherche et développement en cours pourrait aboutir à la construction d'un premier module dès 2009.

Une question taraude les physiciens : le neutrino est-il sa propre antiparticule ? Impossible pour l'instant de le savoir car ce n'est pas leur charge électrique qui les différencie, celle-ci étant nulle. Or la charge est justement le seul paramètre mesurable sur le neutrino. Pour contourner le problème, les physiciens cherchent à observer une double désintégration bêta sans émission de neutrinos. Lors d'une désintégration radioactive bêta, un neutron se transforme en proton, émettant un électron et un antineutrino. Mais pour des atomes comme le molybdène, il arrive (rarement) qu'une double désintégration bêta survienne. La réaction précédente se produit alors simultanément deux fois. Or, on le sait, émettre un antineutrino revient à absorber un neutrino. Donc, s'ils sont identiques, cette double désintégration pourrait se produire sans émission de

< A Bordeaux, Fabrice Piquemal, du projet Supernemo, teste l'un des futurs photodétecteurs.

PROJET KATRIN

A la recherche de sa masse

Quels que soient les progrès qui permettent de mieux le cerner, la grande inconnue du neutrino demeure encore et toujours sa masse. Car depuis que l'on sait qu'ils se transforment les uns en les autres, les équations le démontrent formellement : une telle oscillation implique une différence de masse entre deux neutrinos d'espèces différentes. Et une différence de masse implique nécessairement... une masse ! Mais si l'on parvient à mesurer les écarts de masses entre les différents neutrinos, grâce aux expériences sur les oscillations, la masse absolue de chaque particule reste in-

accessible. Alors qu'elle est déterminante : même s'ils sont extrêmement légers, ils contribuent, vu leur nombre, significativement à la masse de l'Univers ! De là, l'expérience allemande baptisée Katrin : en cours de construction à Karlsruhe, elle fait le pari de parvenir à peser ces particules, en décomptant précisément le défaut de masse résultant de la perte d'un neutrino lors de la désintégration radioactive bêta du tritium. Dans cette réaction, un neutron du tritium se transforme en proton, émettant un électron et un antineutrino. Or, parvenir à mesurer très précisément les énergies

des électrons émis lors des désintégrations successives permet de quantifier l'énergie manquante, c'est-à-dire celle qui est emportée par l'antineutrino ! Ce qui donne accès à sa masse, dont on déduira celle de tous les neutrinos. Si des expériences de ce type ont déjà été menées, aucune n'a réussi à atteindre une précision suffisante pour obtenir le résultat escompté. Katrin, qui devrait commencer ses mesures en 2009, en viendra peut-être à bout ! →

KATRIN
Karlsruhe Tritium
Neutrino
Experiment

Date A partir de 2009

Lieu Karlsruhe, Allemagne

Budget 35 millions d'euros

Pays impliqués Allemagne, Etats-Unis, République tchèque, Royaume-Uni, Russie



▲ L'objectif de Katrin est de calculer la masse d'un neutrino grâce à une série de spectromètres.

PROJET ANTARES

A la pêche aux neutrinos de l'espace

Les physiciens n'attendent pas de maîtriser toutes les questions fondamentales qui se posent sur les neutrinos pour commencer à s'en servir ! Car ces particules ne sont pas émises uniquement par le Soleil, les centrales nucléaires et les accélérateurs de particules... Elles nous arrivent également des étoiles ! Les supernovae, ces explosions d'étoiles qui se produisent lorsqu'elles s'effondrent sur elles-mêmes par gra-

visitation à la fin de leur vie, envoient aussi leur lot sur Terre. Si l'on pouvait les capter, les détecteurs de neutrinos deviendraient donc de véritables télescopes. Les photons ne seraient alors plus les seuls messagers célestes à nous transmettre des nouvelles des étoiles...

ANTARES
Astronomy with a
Neutrino Telescope
and Abyss
Environmental
RESearch

Date A partir de fin 2007

Lieu Au large de Toulon, par 2500 m de fond

Budget 20 millions d'euros

Pays impliqués
Allemagne, Espagne, France, Italie, Pays-Bas, Russie

C'est dans d'autres profondeurs qu'un de ces étonnants télescopes à neutrinos est en train de se construire. Par 2 500 mètres sous la surface de la mer, au large de Toulon, baigné par la transparence des eaux méditerranéennes, un gigantesque détecteur de neutrinos, nommé Antares, est en cours de déploiement. Dirigés vers le bas, 900 capteurs répartis sur 12 lignes verticales de 450 mètres auront pour mission de repérer les neutrinos

en provenance de l'autre côté de la Terre. Autrement dit, c'est un télescope de 10 millions de mètres cubes d'eau, situé dans l'hémisphère Nord, qui observera le ciel de l'hémisphère Sud ! Pourquoi un tel choix ? Tout simplement parce qu'il permet d'utiliser la Terre comme gigantesque filtre, tout en limitant les particules parasites, comme les rayons cosmiques, qui viennent perturber les mesures.

UNE OBSCURITÉ MAXIMALE EST REQUISE

Si l'idée d'un tel télescope date des années 50, ce n'est qu'aujourd'hui que le défi technologique qu'il représente peut être relevé. "Nous profitons des progrès apportés par l'industrie pétrolière, qui maîtrise parfaitement l'exploitation des grands fonds marins", explique John Carr, du Centre de physique des particules de Marseille, l'un des responsables d'Antares. Le projet a débuté en 1996 avec le choix d'un site approprié, suffisamment profond, et le moins éloigné possible de la côte. Afin de recevoir l'électricité nécessaire aux détecteurs et transmettre les futures données, le site a été relié par câble à une station basée à La Seyne-sur-Mer, après quatre ans passés à faire des mesures pour vérifier la transparence de l'eau, la quantité de salissures auxquelles s'attendre sur le verre des capteurs, et la pollution lumineuse par bioluminescence (cette lumière produite par les organismes vivants, comme certains poissons ou bactéries). Un problème crucial quand une obscurité maximale est requise pour repérer les interactions des neutrinos avec la matière, celles-ci se manifestant par un petit flash lumineux. Et même par 2 000 m de fond, l'activité lumineuse biologique reste énorme : "Dans le fond de la mer, nos capteurs comptent 60 000 flashes de bioluminescence par seconde, tandis qu'ils devront mesurer quelque 2 000 neutrinos par an !" Heureusement, si les flashes émis par les organismes vivants apparaissent de manière aléatoire, celui émis par l'interaction d'un neutrino produit une trajectoire caractéristique, repérable sur une fenêtre de temps très précise par au moins dix capteurs.

Après deux ans de tests, la première ligne complète, comportant 75 modules optiques, a été déployée en février. Trois nouvelles lignes devraient être installées cette année, huit l'année prochaine. "Si nous respectons le planning, le détecteur sera complet fin 2007", affirme John Carr. Et si tout fonctionne, ce télescope sera un précieux outil pour détecter les supernovae et autres phénomènes cosmiques, en complément du détecteur de rayons gamma Hess, situé en Namibie, qui observe la même portion de ciel.

< C'est au fond de la Méditerranée que 900 photodétecteurs surprendront les neutrinos issus de l'explosion des supernovae.



Lena sera édifié sur le principe de KamLand (ci-contre)

PROJET LENA

A l'affût des neutrinos du centre de la Terre

Dernier exploit des traqueurs de neutrinos : ils ont prouvé que ces particules sont capables de percer les mystères du centre de la Terre ! Les chercheurs du détecteur japonais KamLand ont en effet annoncé l'été dernier avoir détecté les premiers "géoneutrinos", ces neutrinos émis par la radioactivité du cœur de notre planète ! Sa chimie interne restant largement inconnue, voici un nouveau moyen d'y avoir accès particulièrement précieux. On ignore quelle part de chaleur est réellement émise depuis ces profondeurs. Et on ne sait pas davantage si un réacteur nucléaire se cache au centre du globe (voir S&V n° 1042) ! Mais KamLand, qui n'a pas été conçu dans ce but, n'a pu détecter que 25 géoneutrinos en deux ans. Tout juste la preuve que l'on peut désormais creuser ce sillon. Ce que fera le projet Lena via un détecteur souterrain cylindrique de 30 mètres de diamètre et 90 de long, rempli de 60 000 tonnes de liquide scintillateur et tapissé de photodétecteurs. Une sorte d'immense KamLand, dont le site n'est pas encore choisi, qui pourrait enfin dévoiler les réactions cachées dans les entrailles de la Terre...

LENA
Low Energy
Neutrino
Astronomy

Date A partir de 2010 ou 2012

Lieu Encore indéterminé, un site européen nécessairement loin d'une centrale nucléaire, tels Pyhäsalmi en Finlande ou la base sous-marine de Pylos (Grèce)

Budget De 200 à 300 millions d'euros

Pays impliqués
L'Allemagne et d'autres pays d'Europe à venir



ANTARES - KAMLAND

> 46 **Grippe aviaire**LES CLÉS POUR
COMPRENDRE

La science aux portes de la conscience

- > Des chercheurs l'ont **FILMÉE** en direct !
- > Des **AIRES CÉRÉBRALES** spécifiques impliquées
- > Le débat **CORPS/ESPRIT** relancé

> 72 **Autre Terre**ÇA Y EST
ENFIN !

FRANCE METRO 3,90 € DOM SUIT 4,50 € -RU avion 6,50 € -BEL 4,40 € -CH 8 FS-CAN 5,95 \$ -CAN-D 6,50 € -AND 3,90 € -A 4,90 € -ESP 5,20 € -FIN 5,80 € -GR 4 € -ITA 3,70 € -LUX 4,40 € -MAR 30DH-MAY 6 € -PORT-CONT 3,80 € -SPM 4,50 € -TUN 3,50DTU

T 02578 - 1062 - F - 3,90 €

> 96 **Neutrino**LA PETITE PARTICULE
QUI MONTE> 84 **ADN**IL A AUSSI UN
RÔLE DE TUEUR> 133 **Photo**LE MEILLEUR
DU NUMÉRIQUE