



## Le tour de France des neutrinos

H. Pessard

► **To cite this version:**

H. Pessard. Le tour de France des neutrinos. Les Journées d'Instrumentation et de Prospective Giens 2002, Oct 2002, Giens, France. Numero Special Juin 2003, pp.28-29, 2003. <in2p3-00013796>

**HAL Id: in2p3-00013796**

**<http://hal.in2p3.fr/in2p3-00013796>**

Submitted on 3 Jul 2003

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Le Tour de France des neutrinos

*Que cela concerne les neutrinos issus d'accélérateurs ou les neutrinos solaires, ou encore la désintégration double bêta, les idées de projets ne manquent pas pour construire le futur à moyen et long terme de la recherche sur les neutrinos. Mais les moyens seront-ils au rendez-vous en France ?*

La physique des neutrinos vue de l'IN2P3 et du Dapnia a été déclinée à Giens selon trois axes : neutrinos d'accélérateurs, neutrinos solaires et désintégrations double bêta. Les physiciens français seraient-ils présents sur tous les fronts du neutrino ? C'est ce que nous avons essayé d'approfondir en écoutant les exposés présentés.

### Neutrinos d'accélérateurs : les superfaisceaux

En quelques transparents, nous voici projetés dans l'avenir à long terme du domaine. Les projets en construction font presque partie du passé. Minos en 2005 ? Le CNGS en 2006 avec Icarus et Opera, où quatre équipes IN2P3 sont engagées ? Il n'en est point question : le thème est la prospective.

On suppose connus  $\theta_{23}$ ,  $\Delta m_{23}$  et le changement de saveur de  $\nu_\mu$  en  $\nu_\tau$ , et l'on ne parlera ni de confirmations, ni de meilleure précision sur les paramètres. On admettra aussi connaître  $\theta_{12}$  et  $\Delta m_{12}$  car les résultats de Kamland vont arriver et devraient confirmer la solution LMA (*Large Mixing Angle*) des neutrinos solaires. Il ne manque donc que l'angle  $\theta_{13}$  et la phase  $\delta$  violant CP pour compléter la matrice de mélange MNS.

De nombreux projets se présentent pour mesurer  $\theta_{13}$ , que nous savons inférieur à  $10^\circ$  grâce à Chooz, où la France joua un grand rôle. Pour accéder à  $\theta_{13}$ , il faut rechercher l'oscillation des  $\nu_\mu$  en  $\nu_e$  au maximum de l'oscillation atmosphérique, mais la probabilité restant petite, faisceaux intenses et détecteurs très massifs sont nécessaires. Les expériences « actuelles » (Minos, CNGS) ne disposeront que d'une courte période pour améliorer la contrainte de Chooz sur  $\theta_{13}$  si des projets dédiés commencent à produire des résultats dès 2008. Quant à la phase  $\delta$ , son accès, possible seulement dans le cas LMA, est plus difficile et il faudra pour cela passer à des détecteurs énormes de l'ordre du million de tonnes.

Un faisceau de protons très intense peut produire un superfaisceau neutrino. Il est également possible de régler plus efficacement l'énergie des neutrinos en désaxant le détecteur. Au Japon, le JHF pourrait viser Super-Kamiokande après 2007 avec un synchrotron à protons (PS) de 1 MW. Plus tard (aux environs de 2021 !), un PS de 4 MW pourrait pointer vers un détecteur géant de 1 000 kilotonnes, Hyper-Kamiokande. Une proposition des États-Unis est d'utiliser le faisceau

Numi hors axe avec un calorimètre de 20 000 tonnes (en 2008 ?) pour atteindre  $2-3^\circ$  sur  $\theta_{13}$ , comme la phase 1 de JHF. L'étape suivante est encore en discussion.

En Europe, en l'absence de faisceaux très intenses à moyen terme (ou de projets hors axe compétitifs sur le CNGS), l'orateur se fait l'avocat d'un détecteur mégatonne qui utiliserait les 4 MW du SPL prévu au Cern après 2015. Le tunnel du Fréjus est juste à la bonne distance pour  $\theta_{13}$ . Il ne resterait plus qu'à y creuser une nouvelle cavité de  $60 \times 80 \times 250 \text{ m}^3$ . Cela peut s'imaginer à l'occasion du perçage de la galerie de sécurité qui va doubler le tunnel routier. Un détecteur mégatonne au Fréjus, sensible à  $1,2^\circ$  en  $\theta_{13}$  et à  $\delta$ , pourrait revisiter la désintégration du proton et les neutrinos de supernovæ avec une sensibilité inégalée. Et si des «  $\beta$ -beams », faisceaux de  $\nu_e$  formés avec des noyaux radioactifs, étaient développés au Cern pendant cette période, les performances sur les paramètres d'oscillation pourraient encore s'améliorer. Tout cela à condition de trouver financements et hommes, au sein bien sûr de grandes collaborations.

### Neutrinos solaires

Pour les neutrinos solaires, 2002 est une date historique. Il manque toujours la « fumée du canon », comme disent les Anglo-Saxons, après les expériences Chloé et Gallium, et Super-Kamiokande qui a affiné ses données sur les neutrinos du  $B^8$ , lesquelles n'ont fait apparaître aucune distorsion spectrale, ni aucun effet temporel caractéristique d'une oscillation. L'expérience SNO au Canada a donné des résultats en courant chargé sur deutérium qui confirment le déficit du  $B^8$  et qui, combinés aux autres résultats, semblent désigner la solution d'oscillation LMA.

En avril 2002, les résultats de SNO en courant neutre amènent l'élément décisif attendu. Tout est cohérent : un flux total de neutrinos parfaitement compatible avec le modèle standard solaire, un flux réduit de  $\nu_e$  mesuré de façon consistante en courant chargé et en diffusion élastique sur électron. Le déficit des neutrinos solaires est donc bien dû à un changement de saveur des neutrinos. La solution LMA est clairement favorisée. Il ne reste qu'à la confirmer : différence de masse et angle de mélange solaires seront alors connus. C'est cette réponse que l'expérience Kamland, en mesurant

*Nemo3, installée  
au laboratoire  
souterrain de Modane,  
seule expérience  
neutrino à composante  
française à prendre  
actuellement  
des données.  
© CNRS/IN2P3*

des neutrinos de réacteurs nucléaires à une distance moyenne de 180 km, aurait pu nous apporter à Giens<sup>1</sup>.

Mais Giens était en avance d'une semaine... et nous avons encore pu considérer le problème des neutrinos solaires dans une certaine généralité. Borexino est en phase de préparation finale au Gran Sasso (Italie). En mesurant la diffusion élastique des neutrinos du  $\text{Be}^7$ , cette expérience très délicate au niveau du bruit de fond est capable de distinguer les solutions solaires, comme les solutions LOW et VAC qui auraient des effets journalier ou saisonnier. Et si Kamland donne un résultat améliorable avec des réacteurs à une distance plus faible, un projet pourrait être mis sur pied à Heilbronn, en Allemagne.

Si la solution LMA est confirmée, les projets solaires futurs seront perçus différemment. Le projet Lens de mesure des neutrinos solaires pp, dont l'étude de faisabilité devait aboutir en 2003, pourrait voir son apport se limiter à un test des modèles solaires. XMASS, avec 10 tonnes de xénon liquide pour mesurer le flux pp en diffusion  $\nu$ -e, pourrait se trouver dans un cas analogue, mais avec l'avantage de combiner d'autres recherches : les Wimps de la matière noire et la désintégration double bêta.

### Recherche de la désintégration double bêta

La désintégration  $\beta\beta$  sans neutrino nous renseigne à la fois sur la nature de Majorana du neutrino et sur son échelle absolue de masse. Nous voyons les avantages et inconvénients des méthodes purement calorimétriques ou comportant un détecteur de traces. Les meilleures limites actuelles sur la masse effective du neutrino  $\langle m_\nu \rangle$ , entre 0,3 et 1,3 eV, viennent d'expériences utilisant des diodes au germanium enrichi, Heidelberg-Moscou et Igex.

Cependant, Nemo3, dans laquelle la France a une contribution importante, a récemment démarré à Modane (photo) et son faible bruit de fond, dû au détecteur de traces, aux blindages et à l'effort de purification des matériaux, doit lui permettre d'atteindre avec 7 kg de  $\text{Mo}^{100}$  une limite sur  $\langle m_\nu \rangle$  entre 0,2 et 0,7 eV en cinq ans. Une partie minoritaire des secteurs permettra de tester le  $\text{Se}^{82}$ , prometteur sur le plan du bruit de fond. Cuoricino au Gran Sasso va démarrer en 2003 avec des



modules bolométriques représentant 13 kg de  $\text{Te}^{130}$  et pourrait rapidement atteindre une limite de 0,2 à 0,3 eV, voire de 0,1 à 0,2 eV. Nemo3 pourra arriver à ces derniers chiffres avec 25 kg de  $\text{Se}^{82}$ .

Avant d'atteindre une sensibilité de 10 meV, qui exigera 1 tonne d'isotopes  $\beta\beta$  et un bruit de fond réduit de deux ordres de grandeur, une étape intermédiaire comportant une source de 100 kg devrait être nécessaire. Enrichir et purifier 100 kg de matériau est déjà long et difficile, la mesure de la pureté étant à la limite des détecteurs. Le choix de l'isotope ultime n'est pas clair. La maîtrise des bruits de fond demandera encore beaucoup d'efforts, et des progrès restent à faire sur l'efficacité et la résolution en énergie avec un détecteur de traces.

On sent qu'il faudra du temps pour arriver à 10 meV, que ce soit avec des bolomètres comme Cuore (250 kg de  $\text{Te}^{130}$ ), des détecteurs Germanium comme Genius (1-10 t de  $\text{Ge}^{76}$ ), des scintillateurs comme XMASS ou bien des détecteurs de traces comme une TPC au xénon. La route s'annonce longue aussi sur la voie double bêta. Finalement, 2021, ce n'est peut-être pas si loin pour voir un synchrotron à protons de 4 MW tirer des salves de neutrinos sur un énorme Hyper-Kamiokande.

1 Les premiers résultats de Kamland (hep-ex/0212021) semblent bien confirmer la solution LMA.