

## Neutrino: masses, oscillations. Désintégration du proton.

Version du 17/02/2012

### Participants :

Dario Autiero (IPNL), Marcos Dracos (IPHC), Dominique Duchesneau (LAPP), Muriel Fallot (Subatech), Andrea Giuliani (CSNSM), Laurent Simard (LAL), Alessandra Tonazzo (APC), Arnaud Robert (LPNHE), Michel Gonin (LLR), Sandrine Emery, Thierry Lasserre, Eduardo Mazzucato, Guillaume Mention, Georges Vasseur, Marco Zito, Claudia Nones (SPP), Stéphane Lavignac (IPhT)

### Synthèse :

La physique des neutrinos a connu deux décennies riches en découvertes majeures, notamment celle des oscillations des neutrinos. Un ensemble cohérent de résultats expérimentaux a permis de résoudre l'énigme des neutrinos solaires et le déficit, connu depuis longue date, des neutrinos atmosphériques. Cela a démontré que les neutrinos oscillent et donc qu'ils ont une masse. C'est un premier élément très important qui montre que le modèle standard minimal est incomplet. Néanmoins, des nombreuses questions fondamentales restent ouvertes dans ce domaine, notamment en ce qui concerne le dernier angle de rotation de la matrice PMNS,  $\theta_{13}$ , l'existence ou pas de phénomènes de violation de CP liés à cette matrice, le type de hiérarchie de masse, et *last but not least* la nature même du neutrino, Dirac ou Majorana.

Tout au long de ce travail nous avons montré comment la prochaine décennie verra les efforts se tourner vers quatre axes prioritaires d'investigation pour lesquels la communauté française de physique des neutrinos propose de s'investir et ainsi poursuivre son implication majeure dans cette thématique. Ces quatre axes proposés sont :

#### **La poursuite de l'exploration de la matrice de mélange PMNS avec les expériences en cours, Borexino, OPERA, T2K et Double Chooz.**

Ces quatre expériences, avec pour trois d'entre elles (OPERA, T2K et Double Chooz) une forte implication des groupes français, sont actuellement en prise de données et cela pour les prochains trois à cinq ans. Borexino sonde les flux de neutrinos solaires pour la détermination des paramètres d'oscillation  $\Delta m_{21}^2$  et  $\theta_{12}$ , et apporte des informations notables sur les mécanismes nucléaires à l'œuvre au cœur du Soleil. OPERA étudie les oscillations  $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\tau}$  et devrait pouvoir conclure sa prise de données en mettant en évidence l'apparition de  $\nu_{\tau}$  dans un faisceau de  $\nu_{\mu}$ , ce qui pour l'instant reste une hypothèse. T2K et Double Chooz ont déjà montré des premières indications d'un angle  $\theta_{13}$  grand, proche de la limite supérieure. Il s'agit pour ces expériences de poursuivre la prise de données, pour Double Chooz avec la construction du laboratoire proche et la mise en service de son détecteur, et d'apporter une confirmation de ces indications, avec des mesures de plus grande précision. Signalons que la mesure de cet angle est d'une grande importance pour le programme

futur d'expériences visant à étudier la violation de CP dans la matrice PMNS. Ce programme est particulièrement intéressant du fait que T2K et Double Chooz apportent un éclairage complémentaire sur  $\theta_{13}$ , grâce à des techniques orthogonales et à la mesure de phénomènes différents (apparition-disparition). Le programme de physique de T2K pourrait être poursuivi par une prise de données en mode anti-neutrino, ensuite par une phase d'upgrade et une montée en puissance de JPARC.

### **L'étude des anomalies**

Une série d'anomalies a été mise en évidence dans les études expérimentales des neutrinos. Les plus connues sont liées à l'expérience LSND, aux mesures de calibration de GALLEX et SAGE avec une source intense, et plus récemment à l'anomalie des mesures de flux de neutrinos avec des réacteurs. L'ensemble de ces anomalies ne se prête pas facilement à une interprétation globale. Néanmoins, certaines d'entre elles pourraient indiquer l'existence de neutrinos stériles avec une masse de l'ordre de l'eV. L'expérience NUCIFER initialement prévue pour la non-prolifération nucléaire pourrait donner des premières indications dans ce sens. D'autres expériences sont à l'étude, notamment avec des sources radioactives très intenses déployées dans des détecteurs existants (comme Borexino ou KamLAND) et avec des nouvelles mesures auprès de réacteurs, notamment à l'ILL. Il faut aussi évoquer l'anomalie de la vitesse supra-luminique des neutrinos observés par OPERA. Si cela est confirmé par d'autres expériences (MINOS, T2K), et si aucune explication en terme d'erreur systématique expérimentale n'est trouvée, elle pourrait indiquer une violation de la relativité qui demanderait à être étudiée de façon plus approfondie.

### **Les expériences accélérateur à longue ligne de base couplées à des détecteurs de type Mégatonne**

Si les premières indications d'un angle  $\theta_{13}$  grand se confirment, on peut envisager une nouvelle étape dans l'exploration de la matrice PMNS avec comme axes la détermination de la hiérarchie de masse des neutrino et l'étude de la phase de violation de CP. Pour ce faire, il est nécessaire de disposer d'un super-faisceau avec une puissance du MW et d'un détecteur lointain d'une masse de l'ordre de la Mégatonne. Sur ce programme pourraient se déployer des efforts considérables au niveau mondial, avec des projets aux USA (LBNE) et au Japon (Hyper-Kamiokande, avec un upgrade JPARC). Dans ces études, l'Europe possède des atouts considérables, en particulier avec la possibilité d'une ligne de base courte, CERN à Fréjus de 130 km, et celle d'une ligne de base très longue, CERN à Pyhäsalmi de 2500 km, proche de la distance « magique ». C'est sur ces deux options que travaille LAGUNA-LBNO, étude européenne qui rassemble la communauté intéressée par ces études. Celle-ci s'accorde pour souligner le rôle primordial du CERN dans ces projets et a privilégié une approche incrémentale, dans laquelle la masse des détecteurs augmente par palier successif, en permettant de moduler l'effort de construction. A chaque étape correspondent des objectifs de physique très clairs dans l'étude la matrice PMNS. Au programme avec un faisceau se couplent des études des neutrinos astrophysiques et la recherche de désintégration du proton. Une Lettre d'Intention devrait être soumise au CERN au cours de l'année 2012. Cet effort, qui voit une bonne participation de la communauté française, doit être suivi et soutenu, vu l'importance fondamentale de cet axe de

recherche. Au niveau français, il conviendrait de soutenir aussi l'effort de R&D pour des détecteurs Mégatonne.

### **La recherche de désintégrations double beta sans neutrino**

La recherche de désintégrations double beta sans neutrino est la seule à pouvoir nous renseigner sur la nature du neutrino : Dirac ou Majorana. En outre, elle peut établir le type de hiérarchie de masse en parallèle avec l'information que les mesures d'oscillations peuvent donner sur ce sujet crucial. Deux approches de détection ont été retenues par les laboratoires français. D'une part l'approche de tracement et calorimétrie, en continuant une longue tradition qui a vu et voit la France à l'avant-garde dans la recherche de cette décroissance rare. Cette technologie est la seule qui permet d'accéder à tous les paramètres de l'état final à deux électrons. Après Nemo-3, le projet SuperNEMO se propose d'atteindre une sensibilité sur le neutrino de Majorana de l'ordre de 0,05 eV en 2016-2018 avec un scénario de mise en route séquentielle des modules de SuperNEMO. D'autre part, un développement extrêmement prometteur, basé sur la technique des bolomètres scintillants, a débuté très récemment, en partie en lien avec le projet LUCIFER et en partie en suivant une démarche originale qui utiliserait des cristaux de  $ZnMoO_4$  pour des recherches avec l'isotope prometteur  $^{100}Mo$ . Comme pour la technique à tracement et calorimétrie, plusieurs isotopes pourraient en principe être investigués, en donnant une redondance indispensable pour la découverte de la décroissance double beta.