

---

## GDR-NEUTRINO

### FEUILLE DE ROUTE FRANÇAISE (2006)

---

La feuille de route proposée ici fait partie du rapport d'activité du GDR neutrino (<http://gdrneutrino.in2p3.fr/>) et est basée sur les résultats de physique et extrapolations dans le futur, sujets largement discutés au sein des groupes de travail du GDR. Plus particulièrement, les futurs projets sur les oscillations de neutrinos se concentrent sur l'observation de l'oscillation  $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e$ , la mesure de l'angle "manquant"  $\theta_{13}$  et sur l'observation de la désintégration double bêta sans émission de neutrino. Cette feuille de route s'inscrit aussi dans une certaine continuité concernant la participation des groupes français dans les projets passés comme Gallex, Chooz, Nomad et les projets "double bêta". Elle sera actualisée suivant les nouveaux résultats expérimentaux et théoriques dans le domaine de la physique du neutrino et suivant de nouvelles idées d'expériences dans ce même domaine.

---

#### A. PROJETS PRESENTS

---

Les projets en cours étudiant les propriétés du neutrino auxquels les équipes françaises jouent un rôle déterminant sont:

- NEMO3: Observation de la désintégration double bêta sans émission de neutrino. Cette expérience en cours tente de déterminer la nature du neutrino, Dirac ou Majorana, et par la même occasion donner des informations sur l'échelle absolue des masses des neutrinos (sensibilité  $\langle m_{\nu} \rangle < 0.7$  eV). NEMO3 se propose de prendre des données jusqu'en 2010. Nous considérons ce programme de physique essentiel pour la compréhension des propriétés du neutrino et un soutien constant doit être apporté à ce projet dans lequel la France joue un rôle essentiel.
- OPERA: Observation de l'apparition de  $\nu_{\tau}$  dans un faisceau de  $\nu_{\mu}$ . Le projet va démarrer progressivement à partir de cette année et prendra des données pendant 5 ans pour observer au total une quinzaine d'événements  $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\tau}$ . L'observation de cette oscillation de manière directe est nécessaire pour faire taire toute autre spéculation dans ce domaine. Il faut aussi noter la parfaite complémentarité de cette expérience avec l'expérience MINOS laquelle va mesurer avec précision les paramètres de la même oscillation.

NEMO, et bientôt OPERA, seront les seuls projets en phase d'acquisition de données, qui plus est européens, où des équipes françaises jouent un rôle déterminant. Ces équipes, susceptibles d'attirer des doctorants et des jeunes chercheurs doivent être soutenues. Une politique de recrutement de jeunes chercheurs pour les prochaines années doit être établie pour renforcer les projets présents et assurer l'avenir de la thématique.

Par ailleurs, dans le paysage des expériences avec une participation française qui vont prendre des données il faut aussi inclure Borexino.

- Borexino: Détection directe des neutrinos solaires de basse énergie et de supernovae. Cette expérience a subi un retard d'au moins 2 ans dû à la mise en conformité d'une grande partie du laboratoire National du Gran-Sasso. Le remplissage en eau a débuté et il est prévu de remplir de scintillateur dès janvier 2007, de cette façon le détecteur sera en prise de données

en 2007. Une telle expérience peut donner lieu à des travaux de thèse complémentaires des deux expériences précitées sur l'aspect astronomie neutrino à basse énergie.

---

## B. PROJETS A COURT TERME

---

Ces projets sont approuvés ou en passe d'être par les directions de l'IN2P3 et du CEA.

- Double-Chooz: Cette expérience sur réacteur nucléaire se propose d'observer l'oscillation  $\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_\mu$  et à défaut mettre une limite plus stricte (sensibilité  $\sin^2 2\theta_{13} > 0.03$ ) que la limite existante ( $\sin^2 2\theta_{13} < 0.15$ ) sur l'angle d'oscillation  $\theta_{13}$ . Le grand intérêt de cette expérience réside dans le fait qu'elle peut se faire rapidement (premiers résultats avant fin 2008) et ainsi éclairer les projets futurs sur la valeur de  $\theta_{13}$ . Le projet, se passant en France, avec un leadership français reconnu, doit avoir un soutien fort de la part de l'IN2P3 et du CEA.
- T2K phase I (sensibilité  $\sin^2 2\theta_{13} > 0.01$ ): Ce projet localisé au Japon utilisant un faisceau intense de protons doit entrer en opération après Double-Chooz pour encore une fois tenter d'observer l'oscillation  $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ . Le commencement de la prise de données est prévu pour fin 2009 et durera pendant au moins 5 ans avant de passer à une deuxième phase avec un faisceau de protons encore plus intense. Cette expérience aidera à mieux cibler les caractéristiques des futurs faisceaux de neutrinos à l'horizon 2015 (super-beam, beta-beam, neutrino factory). Les groupes français concentrent leur effort sur le design et la construction des détecteurs "proches".

---

## C. PROJETS A MOYEN TERME

---

Pour les projets au-delà de l'horizon 2011, ne concernant pas les futurs faisceaux de neutrinos, le GDR a considéré les sujets suivants:

- Réacteurs de seconde génération (sensibilité  $\sin^2 2\theta_{13} > 0.01-0.02$ ): Cette étape dépendra des résultats des étapes précédentes (Double-Chooz, T2K, Nova). Ces projets pourraient être Triple-Chooz ou Daya Bay (en Chine).
- Super-NEMO (sensibilité  $\langle m_\nu \rangle > 50$  meV): Actuellement, un R&D est mené essentiellement au sein de l'IN2P3 pour améliorer les performances de la technique "traco-calorimétrie" utilisée déjà par NEMO3. Ce R&D se concentre sur l'enrichissement des isotopes utilisés, les matériaux basse radioactivité et l'amélioration de la résolution en énergie des scintillateurs plastiques. Ces études se poursuivront jusqu'à fin 2008 et à l'issue de cette période et au vu des résultats obtenus une décision doit être prise concernant la faisabilité de l'expérience Super-NEMO.

---

## D. PROJETS A LONG TERME

---

Pour les projets à l'horizon 2015, concernant les futurs faisceaux de neutrinos, le GDR a considéré et soutient les sujets suivants:

- CERN To Fréjus (C2F): super-beam projet basé au CERN couplé à un détecteur lointain situé au Laboratoire souterrain de Modane dans le tunnel du Fréjus. Ce projet de grande ampleur se propose d'utiliser pour la production d'un faisceau intense de neutrinos, un faisceau très intense de protons de 4 MW. Ce "proton driver" pourrait faire partie de l'infrastructure du CERN et servirait aussi à d'autres projets. Ce projet nécessite aussi la présence d'un grand détecteur mégatonne (MEMPHYS) qui pourrait se placer dans un agrandissement du laboratoire souterrain du Fréjus. Deux axes de R&D sont déjà lancés pour

ce projet concernant le faisceau de neutrinos (faisabilité du proton driver, du système de collection des hadrons et de la cible) et le détecteur (excavations, photodétecteurs, liquide à utiliser).

- Beta-beams ("bas  $\gamma$ " < 250): projet basé au CERN couplé à un détecteur lointain au Fréjus. Il s'agit de produire des faisceaux intenses de neutrinos avec une énergie mieux définie et une pureté accrue par rapport à la technique des super-beams en utilisant des faisceaux d'ions radioactifs émetteurs  $\beta$  comme par exemple  ${}^6\text{He}$  pour les anti-neutrinos et  ${}^{18}\text{Ne}$  pour les neutrinos. Cette facilité pourrait faire partie du projet EURISOL pour la production d'éléments radioactifs, utiliser par la suite en grande partie les infrastructures existantes du CERN et orienter son faisceau de neutrinos vers le même détecteur que celui du projet C2F.

Un grand nombre d'études ont montré la complémentarité entre les projets C2F et beta-beams et la puissance de la combinaison des résultats des deux projets dans le domaine de la mesure de  $\theta_{13}$  (sensibilité  $\sin^2 2\theta_{13} > 0.002$ ) et de la violation CP dans le domaine leptonique.

Pour ces deux projets, la disponibilité d'un détecteur de la classe mégatonne offre des possibilités de synergie avec la physique "hors accélérateurs": désintégration du proton et neutrinos de supernovae en particulier.

---

#### E. PROJETS A TRES LONG TERME

---

Concernant les projets à venir après 2020-2025 ( $\sin^2 2\theta_{13} < 0.01$ ), le GDR a considéré les sujets suivants:

- Neutrino Factory: Ce projet se propose d'utiliser un faisceau intense de neutrino produit par un faisceau de muons accélérés convenablement au préalable. Cette technique jamais utilisée jusqu'à présent, nécessite un R&D intense pour démontrer sa faisabilité. Le projet pourrait grandement bénéficier de l'expérience acquise sur les *proton drivers* développés au préalable pour le projet super-beam. Il pourra aussi profiter des résultats des deux projets précédents (super-beam et beta-beams) pour mieux ajuster ses paramètres et optimiser ainsi son programme de physique. En revanche, le détecteur de taille "modeste" (50 kt) offre peu de possibilités dans le domaine de la physique "hors accélérateur".
- Beta-beams ("haut  $\gamma$ " > 250): Ce projet nécessite un certain R&D concernant la production d'un faisceau à "haut  $\gamma$ ". Il sera la suite du projet "bas  $\gamma$ " et il pourra profiter grandement de l'expérience acquise de ce dernier. Les deux projets, "neutrino factory" et "beta-beams haut  $\gamma$ ", permettront essentiellement de mesurer précisément la violation CP même avec une valeur faible de  $\theta_{13}$ .

---

Vu les incertitudes technologiques qui existent actuellement, les coûts de construction et l'ampleur des tâches, le GDR préfère recommander un "staging" dans le temps des différents projets de faisceaux de neutrinos. Le prochain *proton driver* nécessaire à ces trois projets et à d'autres projets indépendants, peut être construit relativement tôt ce qui ouvrira immédiatement en Europe la voie aux Super-beams et au projet MEMPHYS, en synergie avec des programmes de physique "hors accélérateur". Le projet Beta-beams couplé au projet EURISOL pourrait voir le jour un peu plus tard, en fonction du calendrier de décision du projet EURISOL. Le projet le plus ambitieux, le plus coûteux et nécessitant encore un R&D significatif est celui de la Neutrino-Factory.

Aller directement vers une construction d'une Neutrino-Factory (option "Fast Track") dont la construction se place au-delà de 2020 ne paraît pas une bonne solution tant au plan scientifique que stratégique. Une absence de projets européens pendant un temps si long poserait de grands problèmes

quant au renouvellement de la communauté neutrino en Europe et plus particulièrement en France. D'autre part, la participation à des projets localisés au Japon ou aux USA pendant une si longue période de R&D européenne pour une éventuelle neutrino factory ne serait pas très aisée.

L'approche du problème par étapes présente l'avantage de mieux ajuster les paramètres des étapes suivantes en fonction des résultats obtenus. Le projet MEMPHYS, nécessaire aux premières étapes, ouvre aussi la voie à d'autres études relatives aux oscillations des neutrinos (neutrinos solaires et atmosphériques) ou pas (désintégration du proton, neutrinos provenant des explosions de supernovae) favorisant l'interaction avec d'autres communautés.

Concernant le R&D nécessaire aux futurs faisceaux intenses de neutrinos (super-beams, beta-beams, neutrino factory), il serait judicieux de le séparer en lignes technologiques menées en parallèle en identifiant bien les parties communes qui pourraient être menées en toute synergie. Les demandes de financement iraient dans ce même sens sans opposer les trois projets les uns contre les autres.

Le GDR est aussi favorable à la poursuite des projets "neutrinos de très haute énergie" utilisant le neutrino comme sonde de l'univers mais qui pourraient aussi donner des informations significatives sur les propriétés des neutrinos. Ces projets relèvent principalement du ressort du GDR PCHE.