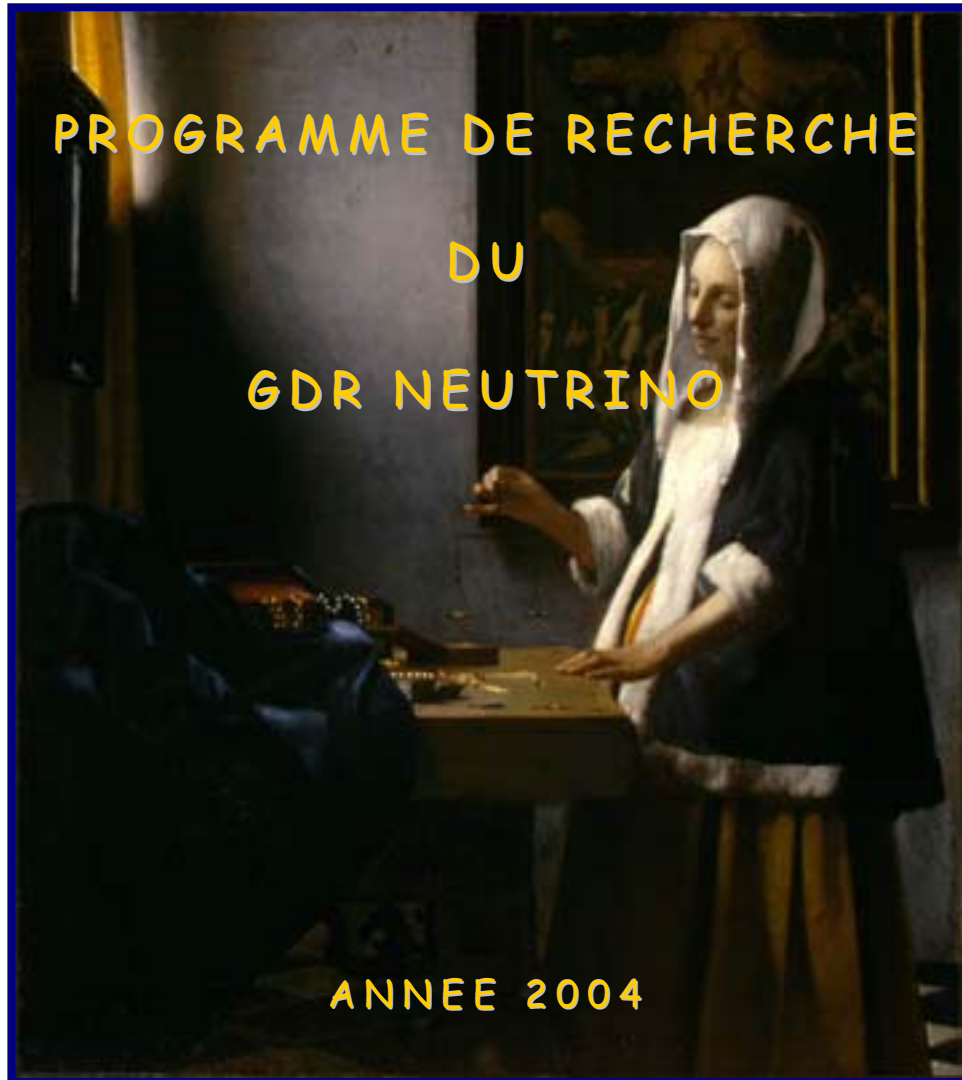


CEA-CNRS  
DAPNIA-IN2P3



PROGRAMME DE RECHERCHE  
DU  
GDR NEUTRINO

ANNEE 2004

<i>Motivations</i> .....	3
<i>Le neutrino</i> .....	3
Oscillations de neutrinos.....	4
Nature du neutrino.....	6
Physique au-delà du modèle standard.....	7
<i>Etat de l'art dans le monde</i> .....	8
<i>Fonctionnement du groupement</i> .....	11
<i>Structure du groupement</i> .....	12
<i>Groupes de travail</i> .....	13
1. <i>Détermination des paramètres du NEUTRINO</i> .....	13
2. <i>Physique au-delà du Modèle Standard</i> .....	14
3. <i>Neutrinos dans l'univers</i> .....	15
4. <i>Accélérateurs, moyens de détection, R&amp;D et valorisation</i> .....	16
5. <i>Outils communs aux groupes de travail</i> .....	19
<i>Participants au GDR</i> .....	20

## MOTIVATIONS

Le but du Groupement de Recherche (GDR) proposé dans ce document est de fédérer les équipes de recherche du CEA et du CNRS travaillant autour de la physique du neutrino que ce soit au niveau expérimental ou théorique. Il visera, pour les quatre années à venir, à consolider et accroître l'expertise de la communauté française dans la compréhension des propriétés du neutrino.

Le GDR contribuera à l'élaboration de la «feuille de route» scientifique de la communauté française, en cohérence avec l'ensemble des partenaires internationaux. Il participera également à l'organisation de la nécessaire R&D associée (accélérateurs, détecteurs, software).

Il constituera un forum pour l'ensemble des jeunes chercheurs de la discipline (en particulier les étudiants en thèse).

Enfin, le GDR participera à la valorisation des développements techniques issus des travaux autour de la physique du neutrino.

Le groupement comprendra des physiciens théoriciens, des physiciens des particules, des physiciens nucléaires et des astrophysiciens, ainsi que des experts travaillant en R&D sur les faisceaux et les détecteurs de neutrinos.

---

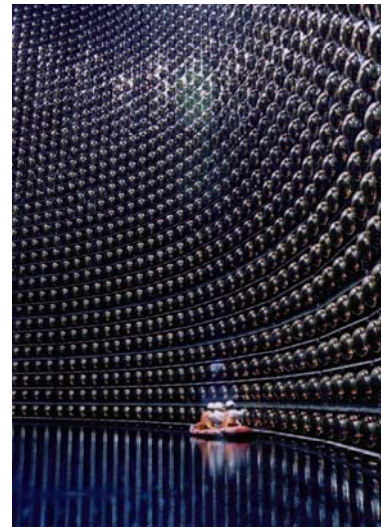
## LE NEUTRINO

---

Wolfgang Pauli prédit son existence en 1930 pour sauver le principe de la conservation de l'énergie dans la désintégration  $\beta$ . Initialement appelé neutron, cette particule, symbolisée par la lettre grecque  $\nu$ , a été rebaptisée neutrino (petit neutron) par Enrico Fermi en 1933.

Compte tenu de sa faible probabilité d'interaction avec la matière, les premiers neutrinos n'ont été observés que bien des années plus tard par F. Reines et C. Cowan auprès du réacteur nucléaire de Savannah River (1956). En 1962, une deuxième famille de neutrinos est détectée. La prolifération des neutrinos continue avec la prédiction de l'existence d'une troisième famille de neutrinos en 1977 et de son observation récente en 2001.

Le premier paradoxe concernant le neutrino est venu du fond d'une mine d'or du Dakota du Sud dans les années 60. Un détecteur de neutrinos placé dans un tel endroit pour ne pas être gêné par le rayonnement cosmique, met en évidence un net déficit entre le flux de neutrinos solaires détecté et le flux prédit par les modèles solaires (expérience menée par R. Davis, prix Nobel de physique en 2002). Ce dernier résultat a été confirmé par une série d'expériences de détection de neutrinos solaires, parmi lesquelles les expériences Kamiokande et Super-Kamiokande (Super-K) au Japon (prix Nobel 2002 à Masatoshi Koshiba), mais aussi l'expérience Gallex en Italie, dans laquelle la France a tenu un rôle de tout premier plan. En 1998, Super-K a de plus observé une nette variation du flux de neutrinos atmosphériques (produits dans l'atmosphère par le rayonnement cosmique) en fonction de l'angle zénithal des neutrinos, et donc en fonction de la distance de vol entre la zone de production et le détecteur.



*Le détecteur Super-K.*

Cette expérience a permis par cette percée majeure de conforter de façon déterminante l'interprétation des déficits observés dans la détection de neutrinos par les expériences antérieures en

termes d'oscillation des neutrinos et par là même de l'hypothèse que ces particules possédaient une masse, aussi petite soit-elle.

En effet, les physiciens s'étaient très vite posés la question: le neutrino a-t-il une masse? La théorie développée à la fin des années 60, «le Modèle Standard», qui régit les lois de la nature et qui décrit précisément maintes observations, suppose une masse nulle pour les neutrinos. La mise en évidence d'une masse de neutrino très faible par rapport à celles des quarks et des leptons chargés nécessiterait une extension de ce modèle.

En fait, l'histoire des neutrinos commence beaucoup plus tôt que ce qui est décrit précédemment. Elle commence avec la création de l'univers. Moins d'une seconde après le Big Bang l'univers était déjà rempli de neutrinos. Jusqu'à aujourd'hui la densité de ces neutrinos, témoins de la création de l'univers, est de l'ordre de  $300/\text{cm}^3$ . Mais, quelles sont les autres sources de neutrinos dans l'univers? Les étoiles, surtout pendant leur mort, produisent également un grand nombre de neutrinos parvenant jusqu'à notre terre. Mais, le champion toute catégorie de production de neutrinos arrosant la terre est notre soleil envoyant plus de 400000 milliards de neutrinos par seconde et par corps humain.

Le très faible taux d'interaction des neutrinos avec la matière, phénomène qui en fait de très bons messagers pour sonder les confins de l'univers, constitue à contrario un inconvénient majeur pour leur détection. Cela oblige les physiciens à imaginer des détecteurs de grande masse et donc de "grand volume" pour espérer en détecter quelques uns parmi les milliards qui vont les traverser.

### OSCILLATIONS DE NEUTRINOS

Nous savons aujourd'hui qu'il existe trois familles de neutrinos légers, chacune associée à une famille (saveur) de leptons massifs et chargés. La première famille est la famille de l'électron (e), particule bien connue, les deux autres familles étant celles du muon ( $\mu$ ) et du tau ( $\tau$ ), deux particules qu'on pourrait appeler électrons lourds.

La théorie prédit que si ces particules ont une masse, elles doivent osciller entre les trois familles, c'est-à-dire, qu'un neutrino d'une famille se transforme au cours du temps en un neutrino d'une autre famille. En fait, les trois neutrinos connus  $\nu_e$ ,  $\nu_\mu$  et  $\nu_\tau$  peuvent se décrire comme un mélange quantique des trois états propres de masse  $\nu_1$ ,  $\nu_2$  et  $\nu_3$  (masses  $m_1$ ,  $m_2$  et  $m_3$ ):

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu1} & U_{\mu2} & U_{\mu3} \\ U_{\tau1} & U_{\tau2} & U_{\tau3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

avec la matrice de mélange paramétrisée par 3 angles de mélange ( $\theta_{12}$ ,  $\theta_{23}$ ,  $\theta_{13}$ ) et une phase de Dirac  $\delta$  ( $s_{ij} = \sin \theta_{ij}$ ,  $c_{ij} = \cos \theta_{ij}$ ):

$$U_{PMNS} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & +c_{23} & +s_{23} \\ 0 & -s_{23} & +c_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} +c_{13} & 0 & +s_{13}e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{i\delta} & 0 & +c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} +c_{12} & +s_{12} & 0 \\ -s_{12} & +c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

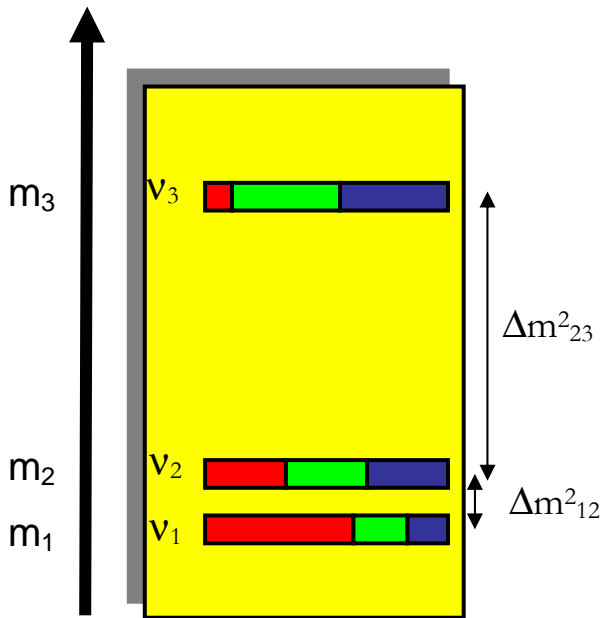
Le formalisme adapté à deux familles de neutrinos, par exemple ( $\nu_e$ ,  $\nu_\mu$ ), mélange quantique de deux états de masse ( $\nu_1$ ,  $\nu_2$ ) gouverné par un angle de mélange  $\theta$ , permet de mieux appréhender le phénomène d'oscillation. Des neutrinos muoniques produits dans un accélérateur auront, après

propagation sur une distance  $L$ , une probabilité d'osciller en neutrinos électroniques (expérience d'apparition) donnée par:

$$P(\nu_\mu \Rightarrow \nu_e) = \sin^2 2\theta \sin^2 \left[ 1.27 \Delta m^2 (\text{eV}^2) \frac{L(\text{km})}{E(\text{GeV})} \right]$$

où  $\Delta m^2 = m_2^2 - m_1^2$  est la différence du carré des masses des neutrinos et  $E$  leur énergie. L'amplitude de l'oscillation est gouvernée par l'angle de mélange, tandis que la fréquence est fonction de la différence du carré des masses.

Le changement de saveur des neutrinos observé dans les diverses expériences de neutrinos solaires, atmosphériques, de réacteurs et d'accélérateurs trouve dans la théorie des oscillations une explication naturelle. Précisons que dans le cas des neutrinos solaires, les effets de matière jouent un rôle important. La matière étant composée uniquement de constituants de la première saveur de leptons et de quarks (e, u, d), les neutrinos électroniques auront une propagation différente des neutrinos  $\mu$  et  $\tau$  dans la matière, c'est l'effet Mikheyev-Smirnov-Wolfenstein (MSW). Notons que c'est cet effet de matière qui permet d'extraire le signe de  $\Delta m_{12}^2$  des mesures de neutrinos solaires.



*Spectre (schématique) de masse et décomposition en saveur: e en rouge,  $\mu$  en vert,  $\tau$  en bleu.*

Au final, les différents déficits de neutrinos déjà observés par les expériences s'expliquent alors par le fait que les détecteurs associés n'étaient sensibles qu'à une famille de neutrinos alors que ceux-ci, au moment de leur arrivée dans les détecteurs, avaient déjà changé de famille.

Les expériences d'oscillations de neutrinos en cours ou à venir visent maintenant à, d'une part, renforcer l'interprétation du changement de saveur des neutrinos en termes d'oscillation<sup>1</sup> (en mesurant l'évolution de ce changement en fonction de la phase d'oscillation  $L/E$ ), et d'autre part, déterminer le plus précisément possible les paramètres de la matrice de mélange (les angles  $\theta_{12}, \theta_{23}, \theta_{13}$  et la phase de Dirac  $\delta$ ) ainsi que les deux différences de masses carrées  $\Delta m_{12}^2$  et  $\Delta m_{23}^2$ , et le signe de cette dernière (hiérarchie de masse).

<sup>1</sup> Des effets sous-dominants prédits par certaines théories d'interactions de neutrinos changeant la saveur, le moment magnétique, la violation de CPT, les oscillations entre neutrinos actifs et stériles, pourraient également contribuer aux changements de saveur observés.

## NATURE DU NEUTRINO

Une autre interrogation fondamentale porte sur la nature du neutrino: cette particule qui est un fermion de charge électrique nulle, serait-elle identique à sa propre antiparticule? Le neutrino serait dans ce cas une particule de Majorana, à l'inverse des autres fermions chargés électriquement (leptons chargés et quarks) qui sont des particules de Dirac. La nature Majorana du neutrino permet de rendre compte de façon élégante de la petitesse de la masse du neutrino et apparaît également dans les processus de physique au-delà du Modèle Standard violant le nombre leptonique (élément important pour la compréhension de l'asymétrie entre matière et anti-matière dans l'univers).

Pour répondre à cette question, certaines expériences tentent de mesurer le moment magnétique du neutrino, comme l'expérience MUNU qui s'est déroulée auprès du réacteur nucléaire civil de Bugey.



*Le détecteur MUNU.*

D'autres expériences utilisent une méthode plus prometteuse basée sur la recherche, dans certains noyaux, de la désintégration double bêta sans émission de neutrino ( $\beta\beta 0\nu$ ). La période de ce processus très rare ( $>10^{23}$  ans) est fonction de la masse effective  $\langle m_\nu \rangle$  du neutrino de Majorana<sup>2</sup>:

$$\langle m \rangle = \left| m_1 |U_{e1}|^2 + e^{i\Phi_2} m_2 |U_{e2}|^2 + e^{i\Phi_3} m_3 |U_{e3}|^2 \right|$$

L'observation d'un tel processus constituerait une découverte majeure qui permettrait également de préciser l'échelle de masse absolue des neutrinos.

Expérimentalement, de nombreux projets ont vu le jour au cours des vingt dernières années. La meilleure limite actuelle sur la masse effective, obtenue avec des détecteurs Germanium (expériences Heidelberg-Moscou et IGEX), se situe entre 0.35 et 1 eV selon le calcul des éléments de matrice nucléaire. Une partie de la collaboration Heidelberg-Moscou a dernièrement publié un résultat positif pour le signal  $\beta\beta 0\nu$  correspondant à une masse effective du neutrino comprise entre 0.1 et 0.9 eV. Cependant ce résultat est très controversé. Deux expériences sont en cours de prises de données: NEMO3 et Cuoricino. NEMO3 est un détecteur avec reconstruction des traces des deux électrons provenant de sources  $\beta\beta$  telles que le  $^{100}\text{Mo}$ . Cuoricino utilise des bolomètres et une source de  $^{130}\text{Te}$ . Ces deux expériences devraient atteindre des sensibilités entre 0.2 et 0.35 eV. Le but dans les dix prochaines années est de construire des détecteurs sensibles à des masses effectives de l'ordre de 30 meV à 50 meV : détecteurs Germanium, bolomètres, détecteurs avec reconstruction de traces «à la NEMO» et TPC au Xénon.

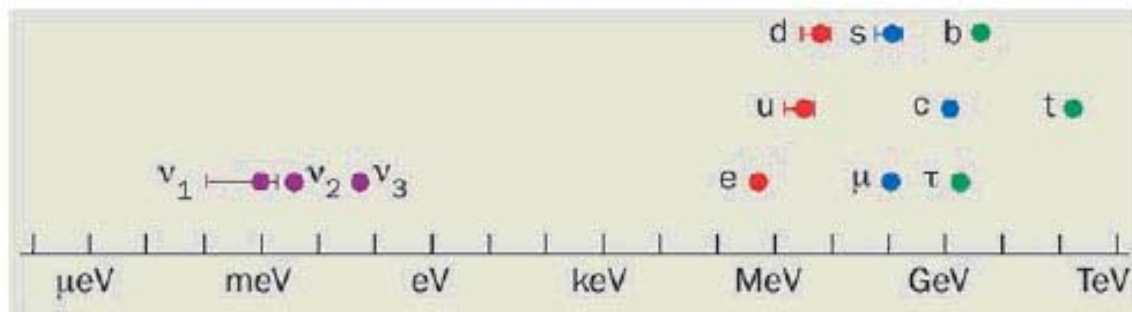
<sup>2</sup>  $\Phi_2$  et  $\Phi_3$  sont les phases de Majorana.

## PHYSIQUE AU-DELA DU MODELE STANDARD

S'il est possible de rendre compte des masses des neutrinos sans modification profonde du Modèle Standard, en introduisant simplement trois neutrinos de chiralité droite formant des fermions de Dirac avec les neutrinos de chiralité gauche, l'extrême petitesse des masses des neutrinos suggère une autre possibilité, celle que le nombre leptonique ne soit pas conservé et que les neutrinos soient des particules de Majorana. Plusieurs mécanismes peuvent être à l'origine de ces masses de Majorana. Tous font appel à une nouvelle physique au-delà du Modèle Standard, soit dans le domaine d'énergie du TeV, soit, à une échelle d'énergie beaucoup plus élevée proche de l'échelle d'unification des couplages de jauge, comme dans le mécanisme de «see-saw».

Dans le premier cas, les masses des neutrinos peuvent être associées à des signaux observables aux futurs collisionneurs, comme la désintégration du partenaire supersymétrique le plus léger dans les modèles supersymétriques avec violation de la R-parité, ou la production de bosons de Higgs doublement chargés dans les modèles avec triplet de Higgs électrofaible. Dans le second cas, la physique responsable des masses des neutrinos ne se manifeste aux énergies accessibles expérimentalement que de manière indirecte, par des processus tels que la désintégration du proton, par ses contributions aux changements de saveur dans les courants neutres, ou par ses conséquences cosmologiques, comme la création de l'asymétrie baryonique de l'Univers. En outre, la plupart des mécanismes susceptibles d'engendrer des masses de Majorana pour les neutrinos, prédisent des taux significatifs pour les processus violant la saveur leptonique; certains modèles sont déjà fortement contraints par les limites expérimentales actuelles. Enfin, la physique au-delà du Modèle Standard est susceptible d'affecter les observables liées aux neutrinos: oscillations (contribution sous-dominante d'interactions de neutrinos violant la saveur ou d'oscillations entre neutrinos actifs et neutrinos stériles), double désintégration bêta sans émission de neutrino (contribution d'interactions violant le nombre leptonique), moments magnétiques de transition (boucles de particules non standard), et bien d'autres.

Le mécanisme de see-saw, qui fait intervenir des neutrinos de chiralité droite très lourds se mélangeant avec les neutrinos de chiralité gauche du Modèle Standard, est généralement considéré comme l'explication la plus naturelle de la petitesse des masses des neutrinos. Dans le cas d'un spectre de masse hiérarchique, la différence de masses au carré gouvernant les oscillations des neutrinos atmosphériques correspond à une échelle de masse pour les neutrinos droits de l'ordre de  $5 \times 10^{14}$  GeV, proche de l'échelle d'unification des couplages de jauge (soit  $2 \times 10^{16}$  GeV dans l'extension supersymétrique minimale du Modèle Standard).



*Spectre de masse (hiérarchique) des fermions. Les couleurs rouge, bleue et verte indiquent respectivement la 1<sup>ère</sup>, 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> famille de quarks et leptons chargés; la couleur violette indique les partenaires neutrinos.*

Les Théories de Grande Unification (GUTs) apparaissent ainsi comme un cadre naturel pour le mécanisme de see-saw. En particulier, dans les GUTs basées sur le groupe de jauge SO(10), chaque famille de fermions contient un neutrino droit et ce dernier acquiert une masse de Majorana lors de la brisure du groupe SO(10) dans le groupe de jauge du Modèle Standard. Dans un tel scénario, le proton serait instable ( $\tau_p \sim 10^{35}$  ans), mais la sensibilité des expériences actuelles ( $\tau_p^{\text{exp}} > 10^{32}$  ans) ne permet pas encore d'observer sa désintégration.

Si le mécanisme de see-saw ne peut pas être testé directement, ses conséquences observables ne se limitent pas aux oscillations de neutrinos. D'une part, la désintégration des neutrinos droits du mécanisme de see-saw peut être à l'origine de l'asymétrie baryonique de l'Univers. Ce scénario de «leptogenèse» nécessite que les couplages des neutrinos droits violent la symétrie CP, afin que leurs taux de désintégration en leptons et en antileptons soient différents. L'asymétrie leptonique ainsi créée est convertie en asymétrie baryonique par des processus non-perturbatifs du Modèle Standard appelés «sphalérons». D'autre part, dans la version supersymétrique du mécanisme de see-saw, les couplages des neutrinos droits contribuent à la renormalisation des masses des sleptons (les partenaires supersymétriques des leptons), introduisant ainsi de nouvelles sources de violation de la saveur leptonique et de la symétrie CP dans le secteur des partenaires supersymétriques. Ces derniers contribuent à leur tour aux processus violant la saveur leptonique, comme les désintégrations rares  $\mu \rightarrow e\gamma$  ou  $\mu \rightarrow eee$ , et aux moments dipolaires électriques des leptons chargés. Autant d'observables pour lesquelles des améliorations de la sensibilité expérimentale sont attendues dans les années à venir.

---

### ETAT DE L'ART DANS LE MONDE

---

En cet automne 2004, la situation expérimentale (expériences terminées, en cours ou approuvées) peut se résumer comme suit:

- Dans le domaine des expériences de désintégration double bêta, NEMO3 en France et Cuoricino en Italie, devraient atteindre des niveaux de sensibilité (0.2-0.35 eV, vers 2008) permettant de confirmer ou d'infirmer les résultats de l'expérience Heidelberg Moscou.
- Dans le domaine des oscillations «à grands  $\Delta m^2$ », l'expérience Super-K a mis en évidence le phénomène de changement de saveur des neutrinos atmosphériques ( $\nu_\mu$ ) dès 1998. Ce phénomène a été depuis confirmé par l'expérience K2K avec des neutrinos issus de l'accélérateur de KEK et détectés 250 km plus loin par l'incontournable détecteur Super-K. De ces expériences, on déduit les valeurs des paramètres atmosphériques (à 90% CL<sup>3</sup>) :

$$1.9 \leq |\Delta m_{23}^2| / 10^{-3} \text{ eV}^2 \leq 3.0 ;$$

$$\sin^2 2\theta_{23} \geq 0.9.$$



*Le détecteur NEMO3.*

---

<sup>3</sup> Niveau de confiance.



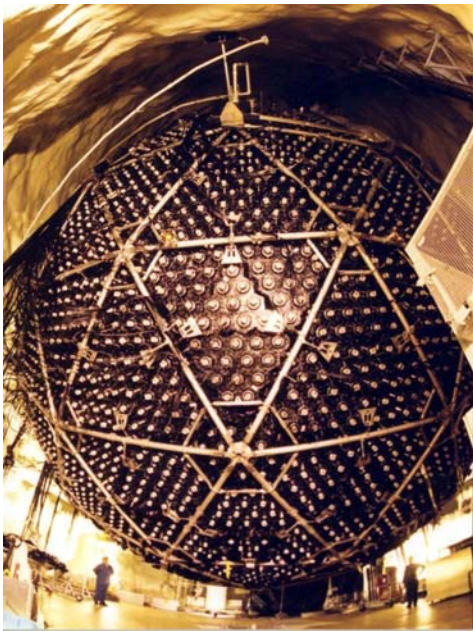


*La centrale nucléaire de Chooz où une collaboration entre EDF et les physiciens a permis de fournir la meilleure limite actuelle sur  $\theta_{13}$ .*

L'expérience Chooz, conduite auprès du réacteur nucléaire du même nom dans les Ardennes françaises, a par ailleurs établi que les neutrinos muoniques se transformaient majoritairement en  $\nu_\tau$ , fournissant par là même la meilleure limite actuelle sur l'angle de mélange  $\theta_{13}$  ( $\leq 11^\circ$ ).

Dans ce domaine, deux expériences sur accélérateur, MINOS aux USA (dès 2005) et OPERA en Europe (à partir de 2006) vont bientôt prendre le relais. MINOS tentera de mettre en évidence le phénomène d'oscillation en mesurant la probabilité de disparition des  $\nu_\mu$  en fonction de la phase L/E. OPERA (expérience dans laquelle la France a une contribution significative) devrait

clairement établir l'apparition des  $\nu_\tau$  à partir d'un faisceau de  $\nu_\mu$ . Les deux expériences permettront de contraindre l'angle de mélange  $\theta_{23}$  et la différence des masses carrées « atmosphérique »  $\Delta m_{23}^2$  au niveau de 10%. Enfin, après 5 ans de prises de données, MINOS et OPERA devraient fournir une première amélioration de la limite actuelle sur l'angle de mélange  $\theta_{13}$  au niveau de  $6^\circ$ , limite qui sera encore améliorée en 2008 par l'expérience double-Chooz ( $4^\circ$ ), dans laquelle les chercheurs français jouent un rôle de premier plan.



*Le détecteur SNO.*

- Dans le secteur des oscillations «à petits  $\Delta m^2$ », toutes les expériences de détection de neutrinos solaires, depuis l'expérience pionnière de Davis jusqu'aux données récentes de SuperK, ont mis en évidence un déficit entre la quantité de neutrinos électroniques ( $\nu_e$ ) fabriqués par les réactions de fusion nucléaire au coeur du soleil et le nombre de neutrinos ( $\nu_e$ ) détectés. Rappelons à ce sujet le rôle important des données d'hélio-sismologie (expérience GOLF) dans la consolidation des modèles solaires. Soulignons aussi l'apport fondamental de l'expérience SNO qui a établi très clairement l'an passé que ce déficit de neutrinos solaires s'expliquait par la transformation des neutrinos électroniques en neutrinos d'une autre saveur ( $\nu_\mu$  et  $\nu_\tau$ ), auxquels les expériences antérieures à SNO n'étaient pas ou étaient peu sensibles.

Enfin, l'expérience KamLAND a aussi observé un déficit net dans la détection d'anti-neutrinos de réacteurs nucléaires japonais situés à une distance moyenne de 180 km du

détecteur, déficit compatible avec les valeurs des paramètres d'oscillation extraits des expériences solaires. L'interprétation de l'ensemble de ces résultats (solaires + KamLAND) en termes d'oscillation et d'effets de matière conduit aux paramètres solaires suivants<sup>4</sup> (à  $3\sigma$  CL):

$$\begin{aligned} 7.4 \leq \Delta m_{12}^2 / 10^{-5} \text{ eV}^2 \leq 9.2 \\ 0.28 \leq \tan^2 \theta_{12} \leq 0.58 \end{aligned}$$

L'étape suivante pour les neutrinos solaires sera d'une part d'améliorer la précision sur les paramètres d'oscillation (en particulier, après 5 ans de prises de données, KamLAND devrait atteindre une précision de 10% à 95% CL sur  $\Delta m_{12}^2$ ) et d'autre part de confirmer la solution LMA, en mesurant par exemple la distorsion jour-nuit et saisonnière des neutrinos solaires du  $^8\text{B}$  et  $^7\text{Be}$  (BOREXINO).

- Du côté des mesures directes de masse, après la fin des expériences à Mainz et à Troitsk, ayant fourni une limite supérieure sur la masse du  $\nu_e$  à 2.2 eV (95% CL), l'expérience KATRIN en cours de construction en Allemagne devrait démarrer vers 2008 et atteindre à terme le niveau de 0.2 eV (90% CL)

En provenance du Cosmos, l'anisotropie du fonds diffus cosmologique (WMAP et ACBAR), combinée aux mesures des grandes structures dans l'univers (2DF et SDSS) permet d'extraire une limite<sup>5</sup> sur la somme des masses des neutrinos  $\Sigma m_\nu \leq 1$  eV. Cette limite doit cependant être prise avec précaution en raison de sa dépendance dans les détails du modèle cosmologique utilisé pour l'extraire. On peut cependant prévoir que les données futures sur le CMB<sup>6</sup> (le satellite Planck en particulier) permettront d'encore abaisser cette limite.

Pour le plus long terme, des réflexions sont en cours aux USA, au Japon et en Europe. Les physiciens des Etats-Unis ont lancé en décembre 2003 sous l'égide de l'American Physical Society une étude visant à bien cerner les questions clés dans le domaine du neutrino et déterminer les meilleures approches expérimentales capables d'y répondre. Le rapport final de cette étude sera disponible à la fin de cette année<sup>7</sup>. Il prendra en compte:

- Le rapport du DOE<sup>8</sup> «*facility for the future of science*», dans lequel une expérience souterraine de double bêta (Ge ou Xe) est classée en 3<sup>ième</sup> priorité pour les projets à moyen terme, et un super-faisceau de neutrinos numéro un pour les priorités à long terme.
- La «feuille de route» pour la physique des particules aux USA<sup>9</sup> qui elle aussi place les expériences «neutrinos» en bonne position.

<sup>4</sup> M. C. Gonzalez-Garcia, et al., hep-ph/0406294

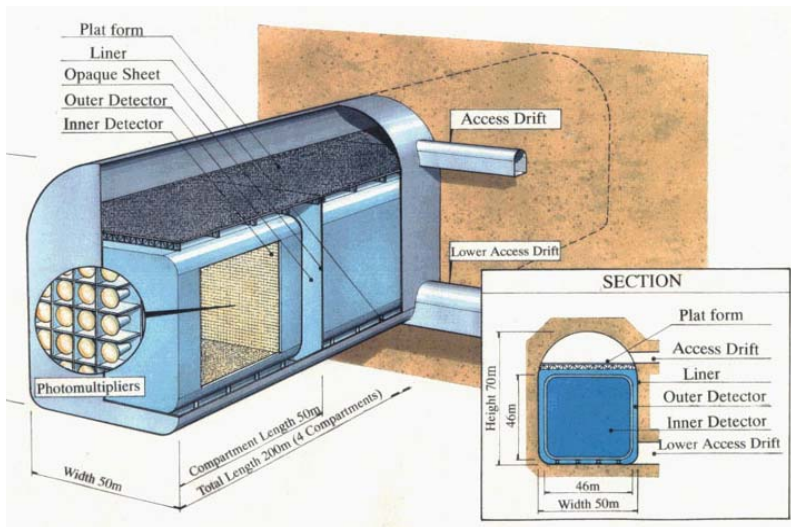
<sup>5</sup> P. Crotty et J. Lesgourgues, Phys. Rev. D **69**, 123007-2004

<sup>6</sup> Cosmic Microwave Background

<sup>7</sup> Version préliminaire : <http://www.neutrinooscillation.org/studyaps/apsfin>

<sup>8</sup> [http://www.sc.doe.gov/Sub/Facilities\\_for\\_future/20-Year-Outlook-screen.pdf](http://www.sc.doe.gov/Sub/Facilities_for_future/20-Year-Outlook-screen.pdf)

<sup>9</sup> <http://www.science.doe.gov/hep/P5/Roadmap.html>



*Le projet japonais de détecteur mégatonne Hyper-Kamiokande.*

Au Japon, au delà de l'expérience d'oscillation de neutrinos T2K entre l'accélérateur JPARC à Tokaï (accélérateur de proton de 40 GeV-0.7 MW) et Super-K en cours de construction et à laquelle la France participe, une expérience de seconde génération est à l'étude. Elle nécessitera une montée en puissance de JPARC à 4 MW et la construction d'un détecteur Cerenkov à eau d'une masse proche de la mégatonne (Hyper-K).

Enfin, en Europe le travail de prospective en physique des neutrinos se met en place. Il se dessine une première ébauche de stratégie dans laquelle un «driver» de protons d'une énergie de quelques GeV et d'une puissance de 4 MW basé au CERN pourrait servir d'épine dorsale aux projets de «superbeam», «beta-beam» et «neutrino factory» visant à fournir des faisceaux intenses de neutrinos. Dans le cas du «superbeam» et du «beta-beam», les neutrinos pourraient être détectés à 130 km par un détecteur de grande masse situé dans un laboratoire souterrain proche du laboratoire actuel de Modane au Fréjus. Ce nouvel accélérateur présenterait l'avantage de pouvoir tout d'abord contribuer à l'augmentation de luminosité du LHC puis d'être aussi utilisé pour le projet de faisceaux radioactifs EURISOL. Cette activité au niveau des accélérateurs se fait au travers du réseau européen BENE<sup>10</sup>.

Ajoutons que l'Europe est actuellement leader dans le domaine de la double bêta avec NEMO (reconstruction des traces des deux électrons), MPI (diodes Germanium dans l'azote liquide) et CUORE (bolomètres). De plus ces trois expériences utilisent trois méthodes expérimentales différentes et très encourageantes. Ces expériences commencent à collaborer au travers du programme européen ILIAS.

---

## FONCTIONNEMENT DU GROUPEMENT

---

Le GDR se propose de fonctionner en groupes de travail tout en évitant le cloisonnement entre les groupes. C'est essentiellement dans cet esprit que le découpage de groupes proposé ci-dessous a été défini. Chaque groupe doit s'occuper d'un sujet d'intérêt commun, le sujet étant suffisamment large de façon à pouvoir attirer toute personne de la communauté.

Des sessions plénières cadenceront les travaux du GDR. Ces sessions, tenues deux fois par an, permettront de faire le point sur l'avancement des travaux de chaque groupe et de fixer de nouvelles orientations.

---

<sup>10</sup> Beams for European Neutrino Experiments (<http://bene.na.infn.it>).

Il est bien évident que les activités du GDR doivent être et seront influencées par le contexte mondial et par le travail d'autres groupes dans les autres pays. Les groupes de travail seront donc incités à collaborer avec des groupes étrangers ayant des activités similaires et pourront occasionnellement avoir recours à des experts provenant d'autres communautés.

Une attention particulière sera portée aux jeunes chercheurs (thésards, post-docs). Au cours de ses réunions plénières, le GDR favorisera autant que faire se peut des exposés effectués par les étudiants en thèse. Une école à leur intention sera organisée au moins une fois dans les 4 prochaines années.

Les directions scientifiques principales du GDR seront données par le Conseil de Groupement dont la composition est donnée ci-après.

Le contact avec les différents laboratoires sera effectué à travers un représentant qui sera chargé de récupérer et diffuser les informations au niveau de son unité. Les représentants de chaque laboratoire seront aussi chargés de recenser les activités relatives au GDR et maintenir un descriptif des activités de chaque membre de l'unité. Ils auront aussi pour mission d'attirer d'autres personnes susceptibles d'aider le travail du GDR.

Le budget du GDR sera consacré aux frais de mission nécessaires à la participation aux réunions plénières et, dans la mesure du possible, aux réunions des groupes de travail. Le reste des dépenses doit être couvert par les laboratoires participants. Les représentants de chaque laboratoire donneront tous les ans à la direction du GDR une estimation des dépenses en frais de mission de leur équipe. Ils doivent aussi présenter une demande complémentaire à la direction de leur laboratoire pour toutes les autres dépenses. Tablant sur une participation de 100 personnes à chaque réunion plénière, le budget annuel du GDR serait de l'ordre de 50 k€.

Pour une meilleure circulation de l'information, un site web sera créé. Ainsi, des outils communs y seront mis à disposition de tous les utilisateurs. Des notes internes seront aussi accessibles par ce site. Un des laboratoires participant au GDR hébergera son secrétariat et le site web.

---

## **STRUCTURE DU GROUPEMENT**

---

L'animation du GDR sera assurée par un directeur et un co-directeur. Leurs fonctions seront de planifier les réunions plénières et envoyer les convocations relatives avec l'aide du secrétariat.

La coordination de chacun des cinq groupes de travail sera effectuée par deux personnes (coordinateurs du groupe de travail) qui auront la charge d'organiser et diriger les réunions de leur groupe.

Un représentant de chaque laboratoire participant au GDR sera nommé. Cette personne aura la gestion du budget "missions" attribué par le GDR à son groupe.

Le GDR sera doté d'un Conseil Scientifique comprenant 5 personnalités et les 2 directeurs. Le Conseil Scientifique donne les directions scientifiques du GDR, définit les groupes de travail et valide les coordinateurs proposés par les groupes de travail.

Le GDR dispose aussi d'un Conseil de Groupement comprenant les 2 directeurs, les 5 membres du Conseil Scientifique et un des deux coordinateurs de chacun des cinq groupes de travail<sup>11</sup>. Le Conseil de Groupement définit les thématiques principales à débattre pendant les réunions plénières. Il lui incombe aussi la tâche de créer des groupes à missions spécifiques (étude d'un point précis, urgence particulière etc).

---

## GROUPES DE TRAVAIL

---

Comme il a été indiqué plus haut, le travail du GDR entend s'organiser principalement autour de groupes de travail, dont le sujet est assez général pour pouvoir rassembler les différentes communautés (physique des particules, physique nucléaire, astrophysique, physique des accélérateurs et théoriciens). Il va sans dire que des sous-structures peuvent se créer autour d'un sujet d'intérêt particulier.

C'est au Conseil de Groupement que reviendrait la tâche de définir plus précisément le contenu scientifique de chaque thème, et si besoin est, de susciter de nouveaux groupes de travail. Les thèmes retenus pour le moment sont décrits ci-dessous.

---

### 1. DETERMINATION DES PARAMETRES DU NEUTRINO

---

Ce groupe de travail s'articule autour des diverses approches expérimentales afin de déterminer les paramètres des neutrinos. Les objectifs de ce groupe de travail sont de:

- Favoriser les échanges d'informations entre les diverses équipes françaises engagées sur des expériences « neutrinos »: NEMO (nature du neutrino et échelle de masse absolue), OPERA et K2K (mesures des paramètres atmosphériques  $\Delta m_{23}^2$ ,  $\theta_{23}$ ) dans l'immédiat, expériences Double Chooz et T2K dans un futur proche (mesures précises des paramètres atmosphériques  $\Delta m_{23}^2$  et  $\theta_{23}$ , amélioration de notre connaissance de l'angle de mélange  $\theta_{13}$  au niveau de  $3^\circ$ ).
- Fédérer et renforcer les travaux des experts français visant à contribuer à la définition, puis à la réalisation dans le cadre d'un partenariat international des étapes pour le plus long terme (horizon 2012):
  - ✓ la mesure encore plus précise de l'angle de mélange  $\theta_{13}$  (de  $2^\circ$  en «superbeam» jusqu'à  $1^\circ$  à 90% CL pour la «neutrino factory»),
  - ✓ la mise en évidence de la violation de CP dans le secteur leptonique,
  - ✓ la détermination de la hiérarchie de masse (signe de  $\Delta m_{23}^2$ ) par mesure des effets de matière.

La détermination de la nature du neutrino (Majorana ou Dirac), et l'échelle de masse absolue (mesure d'une masse effective de l'ordre de 30 meV.)

---

<sup>11</sup> Le deuxième coordinateur pourra assister aux réunions du Conseil Scientifique à titre d'observateur.

Ces travaux concernent aussi bien les projets sur accélérateur avec des faisceaux de neutrinos de haute intensité («superbeam», «beta-beam», «neutrino factory») couplé à un détecteur adéquat (Cerenkov à eau d'une masse proche de la mégatonne, détecteur à argon liquide de seconde génération (100 kt), détecteur magnétisé d'une cinquantaine de kilotonnes pour la «neutrino factory»); que les projets d'expérience de réacteur de 3<sup>ième</sup> génération.

Dans ce domaine le GDR se coordonnera avec les autres acteurs internationaux, en particulier l'ECFA pour les accélérateurs<sup>12</sup> et le futur groupe de travail mondial (autour des collaborations Hyper-K au Japon et UNO aux USA) pour la détection, et aussi le groupe double bêta européen ILIAS.

---

## 2. PHYSIQUE AU-DELA DU MODELE STANDARD

---

Ce groupe de travail a pour objectif, d'une part, de rassembler les théoriciens français travaillant dans le domaine de la physique au-delà du Modèle Standard et de la physique des neutrinos, et d'autre part de favoriser les échanges entre ces théoriciens et les expérimentateurs impliqués dans les expériences sur les neutrinos. Les questions suivantes pourront être abordées par le groupe de travail :

- Etudes des conséquences phénoménologiques du mécanisme de see-saw dans le cadre de théories de grande unification ou d'autres extensions du Modèle Standard, en particulier des contributions des neutrinos droits aux processus violant la saveur leptonique et aux observables violant la symétrie CP, comme les moments dipolaires électriques des leptons chargés.
- Leptogenèse. Une première piste de travail consiste à rechercher des modèles dans lesquels les phases responsables de la leptogenèse peuvent être reliées aux phases mesurables dans les oscillations de neutrinos et dans la double désintégration bêta sans émission de neutrino. Dans le mécanisme de see-saw «minimal», ces différentes phases sont en effet indépendantes. Une autre piste de recherche porte sur des mécanismes de leptogenèse non-standard susceptibles d'être testés expérimentalement, comme les scénarios de leptogenèse à basse énergie, qui impliquent de nouvelles particules avec des masses de l'ordre du TeV.
- Origine des masses et angles de mélanges observés, et prédictions pour les paramètres non encore mesurés. Une des énigmes de la physique des particules est la grande dispersion du spectre de masse des fermions, qui n'est pas expliquée par le Modèle Standard. Encore plus surprenante est le contraste entre le petit mélange observé dans le secteur des quarks, et la présence de deux grands angles de mélange dans le secteur des leptons. De nombreuses approches ont été proposées pour comprendre le spectre de masse observé: symétries de saveur, points fixes du groupe de renormalisation, localisation des différentes familles de fermions dans des dimensions d'espace supplémentaires. Il s'agit non seulement d'expliquer les paramètres déjà connus, mais aussi d'obtenir des prédictions susceptibles d'être testées pour les paramètres mal ou non encore mesurés (angle de mélange  $\theta_{13}$  et phases violant la symétrie CP).

---

<sup>12</sup> En particulier le projet CARE (Coordinated Accelerator Research in Europe) III du 6<sup>ième</sup> PCDR.

- Alternatives au mécanisme de see-saw. Bien que le mécanisme de see-saw ait d'autres conséquences observables que les oscillations, il semble exclu de pouvoir un jour le tester directement. Il est donc important d'étudier les mécanismes alternatifs de génération de masses de Majorana, qui font généralement appel à une nouvelle physique à une échelle proche du TeV, et peuvent donc être testés expérimentalement. Des exemples de ces alternatives sont les modèles avec triplet de Higgs électrofaible et les modèles de génération radiative de masses de neutrinos.

- Effets non standard dans la physique des neutrinos. De nombreuses extensions du Modèle Standard prédisent de tels effets, qu'il s'agisse de la présence de nouvelles interactions de neutrinos susceptibles d'affecter les oscillations dans la matière, par exemple dans les modèles supersymétriques avec violation de la R-parité ; de la présence de neutrinos stériles se mélangeant avec les neutrinos du Modèle Standard, par exemple dans les théories avec dimensions supplémentaires dans lesquels les neutrinos droits se propagent dans plus de quatre dimensions d'espace-temps ; de contributions non standard à la double désintégration bêta sans émission de neutrino, par exemple dans les modèles supersymétriques avec violation de la R-parité. Les futures expériences devraient être sensibles à d'éventuels effets sous-dominants dans les oscillations de neutrinos.

---

### 3. NEUTRINOS DANS L'UNIVERS

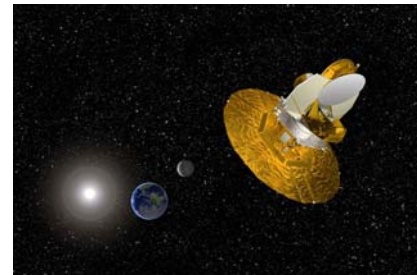
---

Des progrès essentiels ont été fait dans notre connaissance des propriétés des neutrinos grâce aux neutrinos provenant de notre Univers. Tout d'abord, l'expérience de R. Davis a permis d'observer pour la première fois, des neutrinos provenant du soleil et a ainsi ouvert l'ère de l'astronomie neutrinos. La compréhension du problème du déficit des neutrinos solaires a stimulé plusieurs dizaines d'années d'études théoriques et d'expériences et a apporté des progrès essentiels concernant notre connaissance du soleil ainsi que notre compréhension des propriétés des particules élémentaires. Ceci a abouti en particulier, à la découverte du phénomène d'oscillations des neutrinos. Cette découverte a un impact important dans divers domaines de la physique.

D'autre part, les meilleures limites indirectes sur le moment magnétique des neutrinos proviennent d'arguments astrophysiques, comme la luminosité des géantes rouges, ou à partir de la dizaine d'événements collectés lors de l'explosion de la Supernova 1987A. Même si ces limites ne dépendent pas des modèles, elles indiquent une limite supérieure qui améliore de deux ordres de grandeur les limites par mesure directe.

Un autre exemple d'actualité est fourni par les informations sur la masse des neutrinos déduite des structures à grande échelle (LSS) et de WMAP. Les avancées importantes réalisées en physique des neutrinos dans les dernières années ont stimulé une série d'expériences pour répondre à la question cruciale encore ouverte: le neutrino stérile existe-t-il?

Le neutrino est-il une particule de Majorana ou de Dirac? Quel est l'ensemble des paramètres d'oscillation? Peut-on déterminer le moment magnétique des neutrinos? Y a-t-il violation de CP dans le secteur des leptons? Les réponses à toutes ces questions peuvent avoir un impact important sur divers problèmes de grande actualité en astrophysique et cosmologie. En effet, aujourd'hui les neutrinos sont couramment utilisés en tant que



*Le satellite WMAP.*

sondes d'objets astrophysiques, nous apportant des informations cruciales sur la vie des étoiles ou encore sur les phénomènes d'explosion des Supernovae de type II. Il est important de rappeler qu'à l'heure actuelle les modèles théoriques n'arrivent pas à reproduire le phénomène d'explosion dont la compréhension représente un défi pour l'avenir. Or, une quantité gigantesque de neutrinos est émise pendant les diverses phases de l'explosion jusqu'à la formation d'une proto-étoile à neutrons ou d'un trou noir. La propagation des neutrinos ainsi que le signal dans un observatoire sur terre dépendent fortement des propriétés des neutrinos. Celles-ci influencent également le processus de nucléosynthèse des éléments lourds.

Plusieurs détecteurs de neutrinos fonctionneront d'ici 2015 et sont autant d'observatoires potentiels pour les Supernovae de type II. Parmi les projets à présent en phase d'étude, le détecteur Mégatonne offrirait une opportunité unique car environ  $10^5$  événements pourraient être collectés pour une explosion dans notre Galaxie. Il a aussi été proposé récemment de dissoudre dans l'eau des grands détecteurs Cerenkov, un composé (sel de Gadolinium) permettant de signer les captures de neutrons. Cela permettrait de séparer les anti-neutrinos électroniques des autres interactions et apporterait ainsi des informations précieuses lors de l'explosion d'une supernova. Un grand détecteur tel que Super-K équipé de cette façon pourrait mesurer le bruit de fond diffus de neutrinos de supernovae lointaines.

Des expériences «large volume» ou «télescopes à neutrinos», comme celles placées au fond de la mer (comme ANTARES qui va se situer au large de Toulon à 2000 m de profondeur), pourraient aussi aider à mieux cerner le problème de la matière noire en mettant en évidence l'existence du neutralino, la particule supersymétrique la plus légère. Ces expériences ont pour mission principale de détecter des neutrinos de très grande énergie venant du cosmos et apporter des informations inaccessibles ou complémentaires à l'astronomie utilisant des photons. Ces informations pourraient aider à mieux comprendre les mécanismes d'accélération des protons dans l'univers et ainsi mieux étudier les problématiques liées à la matière noire ou aux explosions des Supernovae.

Une autre question brûlante est la compréhension de l'asymétrie entre matière et anti-matière dans l'univers. Les scénarios de bariogénèse induite par leptogénèse nécessitent parmi ces ingrédients essentiels que les neutrinos soient des particules de Majorana ainsi qu'une brisure de la symétrie CP dans le secteur des leptons. Dans ce contexte, une synergie étroite entre physiciens des neutrinos, astrophysiciens et cosmologues est indispensable afin de progresser dans la connaissance des sources, continuer à explorer l'impact des découvertes récentes, préparer les développements futurs et avancer dans l'étude des propriétés des neutrinos à travers l'étude des neutrinos de l'Univers.

---

#### 4. ACCELERATEURS, MOYENS DE DETECTION, R&D ET VALORISATION

---

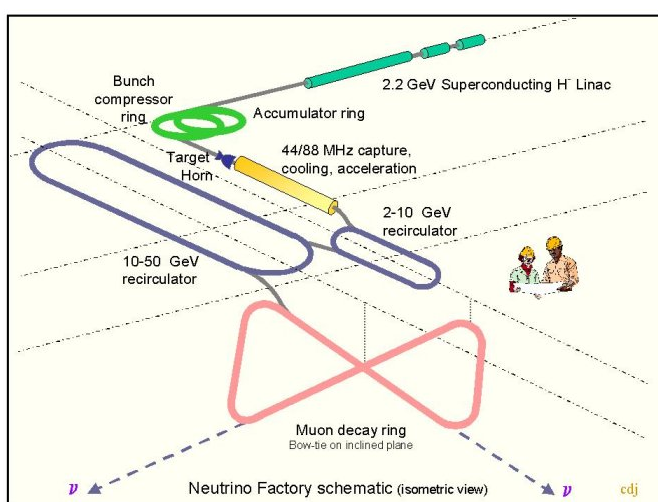
Pour mener à bien le programme « neutrino » de nouveaux développements sont nécessaires que ce soit au niveau des accélérateurs de particules et des faisceaux de neutrinos ou au niveau des techniques de détection.

Toutes les expériences de neutrino auprès des accélérateurs demandent des **faisceaux** significativement **plus intenses** que ceux existant actuellement. Trois schémas sont proposés actuellement pour obtenir des faisceaux intenses de neutrinos: les « superbeams », les « beta beams » et la « neutrino factory ».



Les « superbeams » sont des faisceaux basés sur des techniques conventionnelles utilisant la désintégration des pions issus d'intenses faisceaux de protons envoyés contre une cible. La nouveauté dans ce domaine viendra de la très haute intensité du faisceau protonique qui avoisinera le MW.

Les neutrinos des « beta beams » proviendront de la désintégration de radio-isotopes, comme l'hélium ou le néon, accélérés en faisceau intense ayant des sections droites pointant vers des détecteurs placés à des centaines de kilomètres de là. Des faisceaux purs de neutrinos et anti-neutrinos électroniques peuvent ainsi être obtenus.



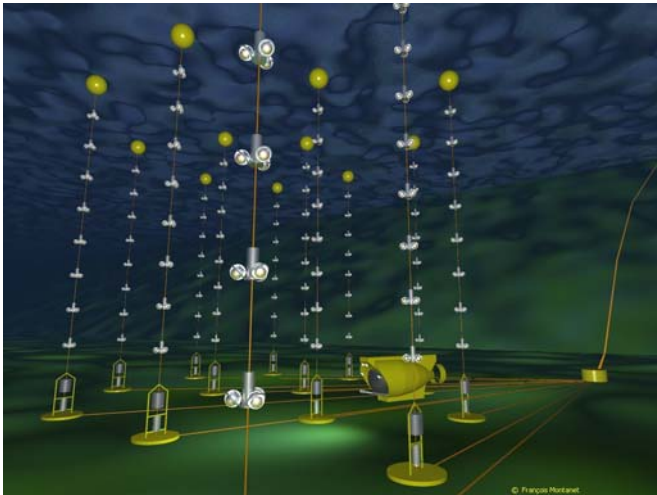
Le projet de "Neutrino Factory" du CERN.

La « neutrino factory » peut produire par désintégration de muons de charge positive des faisceaux intenses de neutrinos électroniques et d'anti-neutrinos muoniques, tandis que la désintégration de muons de charge négative produirait des anti-neutrinos électroniques et des neutrinos muoniques. Ces trois types de faisceaux sont actuellement en état de projets et nécessitent un travail de R&D intense. Ces développements constituent un investissement conséquent et devront s'inscrire dans les efforts de la communauté mondiale de la physique des particules et des astroparticules.

Les buts principaux actuels de ces projets sont de cerner la valeur de l'angle de mélange  $\theta_{13}$ , mettre en évidence une éventuelle violation CP dans le domaine des leptons et déterminer la hiérarchie de masse en observant des effets de matière.

Les puissants accélérateurs de protons développés dans ce cadre fourniront aussi des faisceaux intenses de muons qui serviront à la recherche de désintégrations rares de muons et pour faire des mesures de précision concernant les propriétés de ces particules. Les faisceaux intenses de muons peuvent aussi servir à d'autres branches de la science comme à la physique de la matière condensée ou encore à la physique du vivant.

Au niveau des **détecteurs**, en ce qui concerne les projets auprès des accélérateurs, leurs performances doivent être optimisées en adéquation avec les progrès de la R&D sur les accélérateurs. Des détecteurs «grand volume» plus ou moins générique sont à l'étude: Cerenkov à eau d'une masse proche de la mégatonne, détecteurs à argon liquide de seconde génération, détecteur magnétisé d'une cinquantaine de kilotonnes pour la «neutrino factory». Quant aux détecteurs pour les projets de 3<sup>ème</sup> génération sur réacteur, l'accent sera mis sur les détecteurs "grand volume" à base de liquide scintillant. Leur finalisation dépendra de la R&D sur les techniques de détection déjà lancées ou qui seront lancées dans un avenir relativement proche.



*L'observatoire sous-marin ANTARES.*

La plupart de ces détecteurs sont à base de photodétecteurs et essentiellement de photomultiplicateurs. Beaucoup d'efforts ont été fait concernant la production de «grands» photomultiplicateurs (ANTARES en France) et sur le développement de l'électronique associée. Ces efforts continuent en s'intensifiant en particulier dans la perspective du futur observatoire sous-marin « km<sup>3</sup> ». Concernant toutes ces techniques, des projets sont aussi en cours pour améliorer la résolution en énergie et pouvoir ainsi observer des phénomènes rares comme la désintégration double-bêta (super-NEMO).

Enfin, pour les projets de détecteur «grand volume», leur aptitude à étudier des domaines de physique autre que les neutrinos d'accélérateur (supernovae, durée de vie du proton, neutrinos solaires, ...) dépendra du niveau ambiant du rayonnement cosmique. Pour minimiser ce bruit cosmique, les détecteurs devront être enterrés à une profondeur de l'ordre de 4000 mètres équivalent eau. La construction de cavités expérimentales à ces profondeurs pouvant accueillir ces détecteurs de grand volume nécessitera aussi un effort important de R&D.

La radioactivité apporte une contribution non négligeable à l'équilibre thermique de la planète. Il existe des différences importantes entre les différents modèles à ce sujet. La mesure des neutrinos créés par cette radioactivité devient maintenant possible, grâce à l'arrivée des détecteurs conçus pour mesurer les neutrinos autour du MeV. Les premiers résultats de KAMLAND montrent la faisabilité de cette mesure, malgré la gêne apportée par les anti-neutrinos de réacteurs. BOREXINO, situé à des centaines de km de tout réacteur, permettra d'ouvrir ce champ de recherche. Si ce dernier implique des détecteurs placés à différents endroits de la surface terrestre, cela peut permettre à terme d'évaluer les radioactivités de différentes couches du globe.

Comme le développement sur les accélérateurs, la R&D sur les détecteurs pourra servir dans d'autres domaines que la détection de neutrinos, comme par exemple l'imagerie médicale utilisant des photo-détecteurs. La recherche dans le domaine de la basse radioactivité menée essentiellement par les expériences double bêta ainsi que les installations préparées à cet effet, peuvent aussi servir à d'autres domaines même inattendus comme récemment prouvé par une équipe de l'IN2P3<sup>13</sup>.

### **Lutte contre la prolifération nucléaire (AIEA)**

L'agence internationale pour l'énergie atomique est une agence de l'ONU dont la mission est de lutter contre la prolifération nucléaire. Elle a recommandé récemment que soit étudiée la possibilité d'utiliser les neutrinos pour aider au contrôle des combustibles présents dans le cœur des réacteurs nucléaires. L'expérience Double Chooz<sup>14</sup> qui va détecter les neutrinos émis par la centrale nucléaire

<sup>13</sup> "De la masse du neutrino... à la datation des vins", Ph. Hubert, F. Hubert, V. Raffestin, (<http://www.cenbg.in2p3.fr/heberge/DDV/page3.html>).

<sup>14</sup> DoubleChooz hep-ex/0405032

de Chooz, comportera le détecteur de neutrinos le plus performant pour cette tâche par son comptage plus élevé que les détecteurs précédents et son bruit de fond plus bas. A l'intérieur de cette collaboration, un effort important est en cours pour mieux connaître et utiliser les spectres de neutrinos correspondants à chaque combustible utilisé dans les réacteurs.

---

## 5. OUTILS COMMUNS AUX GROUPES DE TRAVAIL

---

L'importance de la communauté concernée par le GDR lui permettra de développer des outils que chacune des expériences aurait eus du mal à maintenir à un bon niveau en comptant sur ses seules forces. Parmi les plus importants, on peut citer, sans que ce soit exhaustif:

- **L'outil de phénoménologie *Globes*** : Le groupe de phénoménologie de Munich a développé et rendu public un code permettant de comparer les différentes expériences existantes ou en projet, en matière d'oscillations des neutrinos. Cela intéresse aussi bien les expériences près des réacteurs nucléaires (Double Chooz) que celles qui utilisent les faisceaux de neutrinos à grande distance d'un accélérateur (OPERA, K2K, MINOS), et notamment les expériences en projet (T2K, NOVA, Mégatonne à Fréjus).
- **Le programme de simulation *Geant*** : Le programme de simulation Geant est devenu l'outil standard pour simuler les expériences de neutrinos à toutes énergies. Si ce code a beaucoup progressé, il garde des insuffisances qu'un effort concerté de la communauté concernée pourrait améliorer aisément. On peut citer:
  - Le suivi du neutron est médiocre. Certaines expériences ont développé des compléments de code et il serait intéressant de les mettre en commun en créant une version unique du code Geant.
  - Toutes les expériences de neutrino à basse énergie ont dû développer une description de la basse radioactivité. Un acquis important existe en France, autour des mesures de hautes qualités accumulées à Fréjus. Les expériences de recherche de matière noire partagent cet intérêt. Cela peut conduire à une interface bénéfique aux deux communautés.
  - **Codes solaires et atmosphériques** : La mise en évidence des oscillations de neutrinos créés dans la haute atmosphère a donné une grande importance au développement de codes simulant la physique des particules en haute atmosphère. Des développements ont eu lieu en France et l'ensemble de la communauté neutrino ne peut que gagner à réunir ses forces dans ce domaine. La simulation du soleil et du flux de neutrinos émis, est également un domaine essentiel à la physique du neutrino. Il existe en France une équipe de haut niveau dans ce domaine<sup>15</sup> et sa présence devrait irriguer davantage la communauté des physiciens impliqués dans cette physique.

Beaucoup d'autres exemples plus concrets d'outils communs pourraient être cités ici comme la simulation de grands détecteurs Cerenkov à eau (ANTARES) ou de TPC à argon liquide.

---

<sup>15</sup> Turck Chieze astro-ph/0309806

---

**PARTICIPANTS AU GDR**

---

**Laboratoires du CEA**

J. Argyriades, J. Bouchez, C. Cavata, G. Chardin, M. Cribier, M. Fechner, T. Lasserre, J. P. Meyer,  
A. Milsztajn, L. Mosca, D. Motta, F. Pierre  
**Service de physique des particules**

S. Mathur, S. Turck-Chieze  
**Service d'astrophysique**

F. Marie, A. Letourneau, D. Lhuillier  
**Service de physique nucléaire**

A. Chancé, M. Desmons, R. Duperrier, R. Ferdinand, R. Gobin, F. Méot, A. Mosnier, J. Payet,  
J. M. Rey, D. Uriot, B. Visentin  
**Service des Accélérateurs et de CryoMagnétisme**

S. Aune, F. Ardelier-Desages, A. Delbart, H. Deschamps, M. Fesquet, Y. Giomataris, X. F. Navick  
**Service d'Électronique, des Détecteurs et d'Informatique**

C. Veysiere  
**Service d'Ingénierie des Systèmes**

C. Grojean, P. Hosteins, S. Lavignac, C. Savoy, R. Schaeffer, G. Servant  
**Service de physique théorique**

**Laboratoires de l'IN2P3**

J. Brunner, J. Busto, J. Carr, F. Cassol, C. Cerna, P. Coyle, L. Sulak, Ch. Tao  
**Centre de Physique des Particules de Marseille**

A. Albert, R. Arnold, M. Dracos, J-P. Ernenwein, J-L. Guyonnet, C. Jollet, T. Pradier, C. Racca  
**Institut de Recherches Subatomiques et Université de Haute Alsace**

Ch. Marquet, F. Piquemal  
**Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux Gradignan**

C. Augier, J-E. Campagne, A. Cazes, S. Jullian, X. Sarazin, L. Simard  
**Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire**

F. Mauger  
**Laboratoire de Physique Corpusculaire de Caen**

B. Andrieu, J. Chauveau, J. Dumarchez, J. M. Levy, F. Vannucci  
**Laboratoire de Physique Nucléaire et de Hautes Energies**

A. de Bellefon, J. Dolbeau, H. de Kerret, Ph. Gorodetzky, D. Kryn, G. Mention, M. Obolensky,  
Th. Patzak, P. Salin, D. Vignaud  
**Physique Corpusculaire et Cosmologie**

L. Arrabito, D. Autiero, Y. Caffari, L. Chaussard, S. Davidson, A. Deandrea, Y. Déclais,  
S. Fleck, O. Giarmana, I. Laktineh, J. Marteau, P. Royole-Degieux, J. Welzel  
**Institut de Physique Nucléaire de Lyon**

D. Boutigny, J. Damet, D. Duchesneau, J. Favier, H. Pessard  
**Laboratoire d'Annecy-le-vieux de Physique des Particules**

T. Kirchner, M. Fallot  
**SUBATECH**

J. Orloff  
**Laboratoire de Physique Corpusculaire de Clermont-Ferrand**

A. Abada, H. Aissaoui  
**Laboratoire de Physique Théorique, Université de Paris XI**

C. Volpe  
**Institut de Physique Nucléaire Orsay**

M. Gonin  
**Laboratoire Leprince-Ringuet**

D. H. Koang, F. Montanet  
**Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie de Grenoble**