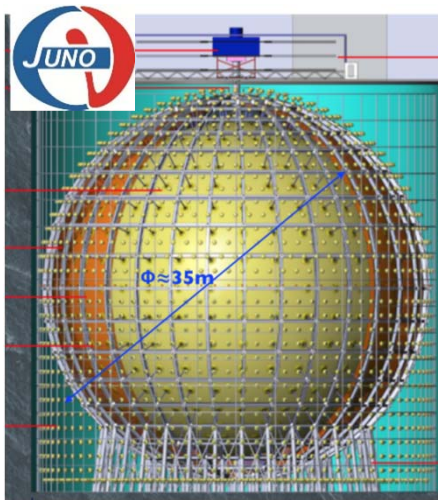
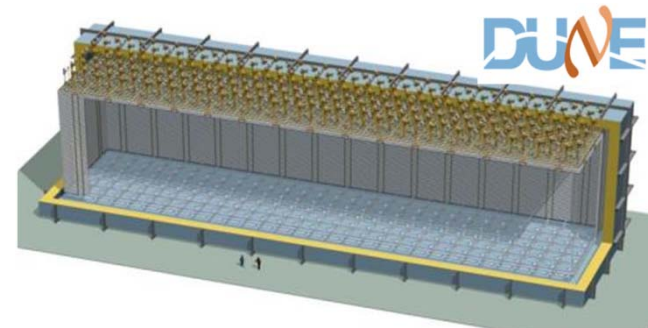
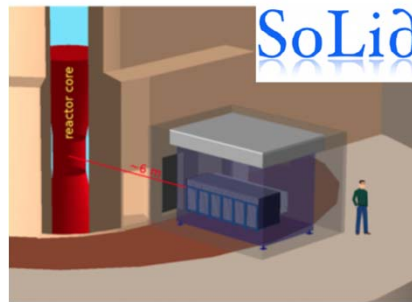
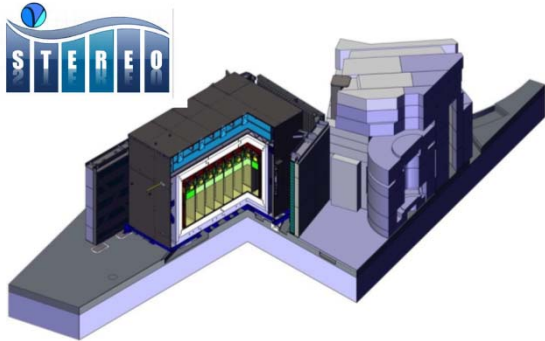


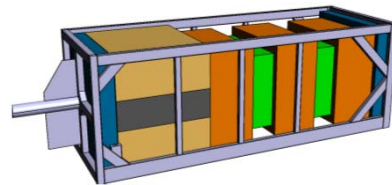
Conseil scientifique IN2P3

Neutrinos réacteurs/accélérateurs

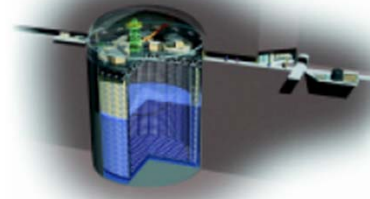
Introduction thématique



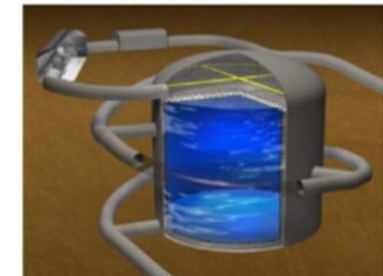
T2K ND upgrade



Super-K



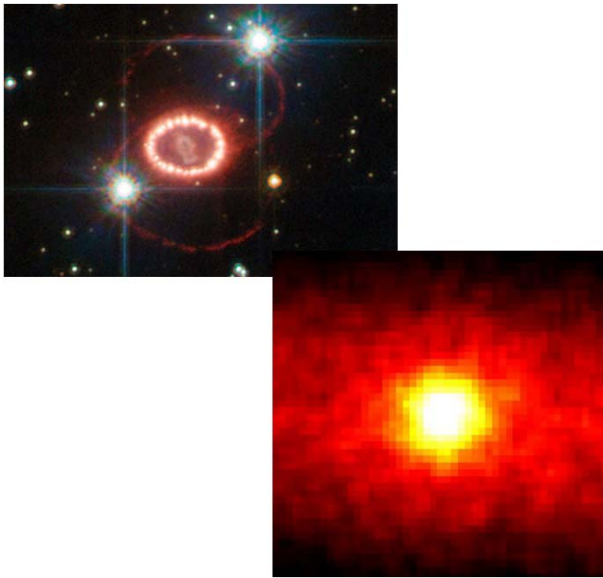
HyperK



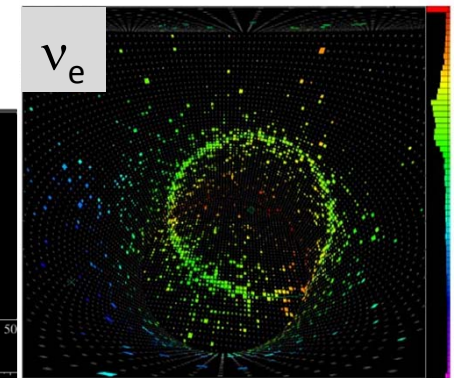
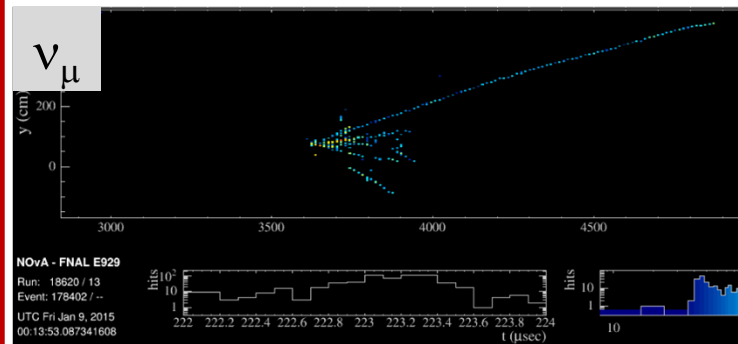
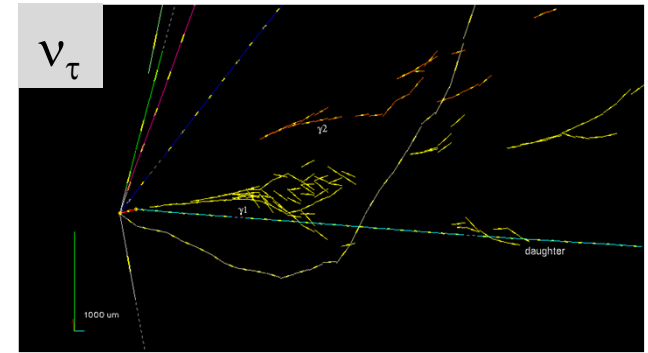
28 juin 2018

La physique des neutrinos:

Etude des neutrinos comme sondes astrophysiques



Etude des propriétés de neutrinos



La connaissance détaillée des propriétés de neutrinos nécessitent:

- ⇒ une plus grande précision dans les mesures: systématiques, théorie, ...
- ⇒ des sources plus intenses (faisceau, développements technologiques)
- ⇒ des détecteurs plus grands
- ⇒ une évolution vers des collaborations de plus en plus grande
- ⇒ Maitrise des conditions expérimentales (sources de bruits de fond et environnement expérimental)

Cadre théorique est relativement bien établie:

Matrice MNSP et oscillation à 3 ν

(MNSP: Maki-Nakagawa-Sakata-Pontecorvo)

Formalisme de base **Matrice de mélange:**

$$V_\alpha = \sum_{j=1}^3 U_{\alpha j} \nu_j$$

$U_{\alpha j}$ est la matrice de mélange

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

Cadre théorique conforté depuis près de 15 ans

$$U = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ c_{23} & s_{23} & 0 \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta m_{31}^2 \\ c_{13} & 0 & e^{-i\delta} s_{13} \\ 0 & 1 & 0 \\ -e^{i\delta} s_{13} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta m_{21}^2 \\ c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

atmos+LBL(dis) Reactor + LBL (app) solar+KamLAND

$c_{ij} = \cos(\theta_{ij}); s_{ij} = \sin(\theta_{ij})$ + 2 phases de Majorana

probabilité d'oscillation

$$P_{\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta} = \sum_{ij} U_{\alpha j} U_{\beta j}^* U_{\alpha i}^* U_{\beta i} e^{-i \frac{\Delta m_{ij}^2 L}{2E}} \approx \sin^2 2\theta_{ij} \sin^2 \left(\frac{\Delta m_{ij}^2 L}{4E} \right)$$

6 paramètres accessibles:

- 3 angles, 2 différences de masse,
- 1 phase de violation CP

- Malgré les avancées majeures des 20 dernières années il reste de nombreux points à éclaircir et trouver des réponses à des questions fondamentales.
- De plus ce formalisme à 3 saveurs de neutrino ne satisfait pas toutes les observations

La « masse du neutrino » est le seul phénomène observé signe de nouvelle physique au delà du Modèle Standard

⇒ **Phénoménologie doit être explorée avec le plus de précision possible**

La physique des neutrinos: ce qui manque à l'heure actuelle (non exhaustif) (cf: S. Lavignac talk)

Les expériences discutées aujourd'hui attaquent les questions fondamentales suivantes:

- **La symétrie CP est-elle violée dans le secteur des leptons?**

- i.e. a-t-on $P(\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta) \neq P(\bar{\nu}_\alpha \rightarrow \bar{\nu}_\beta)$ dans le vide? condition nécessaire pour la leptogénèse
- expériences faisceau long baseline car CP due à termes d'oscillation sous-dominants

T2K (+upgrade), DUNE, HK

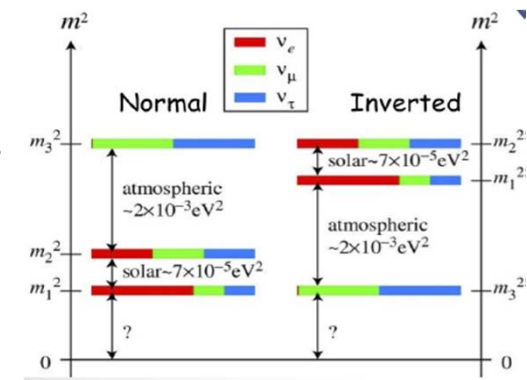
$\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ et $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$ oscillations

- **Quelle est la hiérarchie de masse?**

- essentiel pour la quête de la violation CP

Distinguée par effet de matière sur oscillations (long baseline, atmosphérique...) **DUNE, HK**

Ou avec mesure très précise de disparition avec neutrinos réacteurs **JUNO**



- **Existe-t-il plus de 3 neutrinos, quelle est l'origine des anomalies observées?**

- certaines données expérimentales suggèrent neutrino(s) stérile(s) de masse de l'ordre de 1eV

Expériences d'oscillation courte distance sur réacteurs, avec sources intenses ou sur accélérateurs **STEREO, SoLid**

Les expériences revues concernent essentiellement:

l'étude des propriétés des neutrinos par le mécanisme d'oscillation dans différents régimes (distance et énergie) :

- Réacteurs (JUNO 53km, STEREO 10m , Solid 8m)
- Faisceau ν_μ : T2K et HK (295 km, 0.7 GeV); DUNE (1300 km, 2 GeV)

S'ajoute à cela le potentiel de certaines à explorer des sources au-delà des neutrinos réacteurs/accélérateurs

- Atmosphériques (SK, JUNO, DUNE, HK)
- Soleil (JUNO)
- Explosion de Supernovae (JUNO, DUNE, HK)
- + désintégration de nucléon (JUNO, DUNE, HK)

N'est pas couvert dans cette session du CS:

- Les expériences de neutrinos cosmiques de très haute énergie / atmosphériques (Km3Net au conseil de février 2017)
- Recherche de double désintégration beta sans émission de neutrinos (conseil de Octobre 2018)

Sur quelle échelle de temps?

La Hiérarchie de Masse: Premières informations pourraient apparaître avec les expériences réacteurs (JUNO), accélérateurs (Nova, T2K-II) et atmosphériques (Orca) d'ici 10 ans

Complètement déterminée avec des faisceaux longue distance d'ici 15 ans

La phase de violation CP: indications d'ici 2024 avec T2K-II, Nova
mesure peut être relativement longue et nécessite des faisceaux intenses longues distances (avec DUNE, HK) qui devraient démarrer en 2026 et 10-15 ans de prise de données pour atteindre plus de 5 sigmas pour certaines valeurs d'angle dont $3\pi/2$

Au-delà du modèle SvM: les anomalies qui pourraient s'expliquer par des 'steriles' légers (1 eV) sont explorés par des expériences de réacteurs et de sources qui devraient conclure dans les 2 prochaines années.

=> Devraient permettre de confirmer ou infirmer l'anomalie réacteurs.

IN2P3 impliqués dans les projets neutrinos réacteurs/accélérateurs:

Depuis les années 90 l'IN2P3 a participé et développé l'expertise avec les projets:

- Neutrinos réacteurs: ILL, Bugey, Chooz, Double Chooz, Stereo, SoLid, JUNO
- Neutrinos faisceaux: Nomad, CNGS/OPERA, K2K, T2K, DUNE

Laboratoires impliqués aujourd'hui:

➤ JUNO:

- APC, CENBG, CPPM, IPHC, Omega ; Subatech

➤ T2K, SK, HK:

- LLR, LPNHE, +Irfu/CEA

➤ DUNE:

- APC, IPNL, LAL, LAPP, Omega, +Irfu/CEA

➤ STEREO:

- LAPP, LPSC, +Irfu/CEA

➤ SoLid:

- LAL, LPC Caen, LPC Clermont, Subatech

Programme de la journée:

- Introduction à la physique des neutrinos (Stéphane Lavignac, IPT)
- Expériences réacteurs
 - JUNO avec bilan Double-Chooz (Anataël Cabrera, APC)
- Expériences accélérateurs long baseline
 - DUNE (Dario Autiero, IPNL)
 - T2K, upgrades T2K (Claudio Giganti, LPNHE)
 - SK et HK (Michel Gonin, LLR)
- Expériences réacteurs courtes distances (neutrinos stériles)
 - STEREO (Anne Stutz, LPSC)
 - SoLiD (Benoit Guillon, LPC Caen)

Rapporteurs externes:

Alain Blondel	(DPNC, Uni. Genève)
Inés Gil Botella	(CIEMAT, Madrid)
Antonio Ereditato	(AEC, Uni. Bern)
Francesco Terranova	(INFN et Uni. Milan)

Questions de l'institut en préparation de ce conseil:

- Quelles sont les principales spécificités (points forts/points faibles) de la contribution de l'institut, vis-à-vis des autres organismes français et internationaux, dans ces expériences et projets ?
- Comment les projets présentés s'inscrivent-ils dans la durée ?
- Comment les expériences répondent aux questions théoriques ?
- Quelle est la cohérence scientifique des activités au niveau national. Peut-on l'améliorer.
Comment les expériences « réacteurs » et « accélérateurs » se complètent ?
- Y a t'il des problèmes relatifs au calcul ou au stockage des données ?