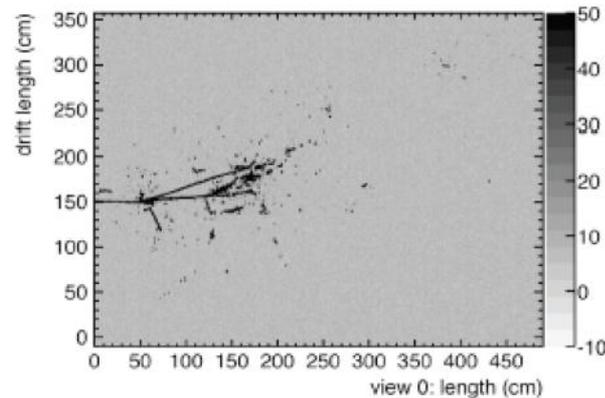
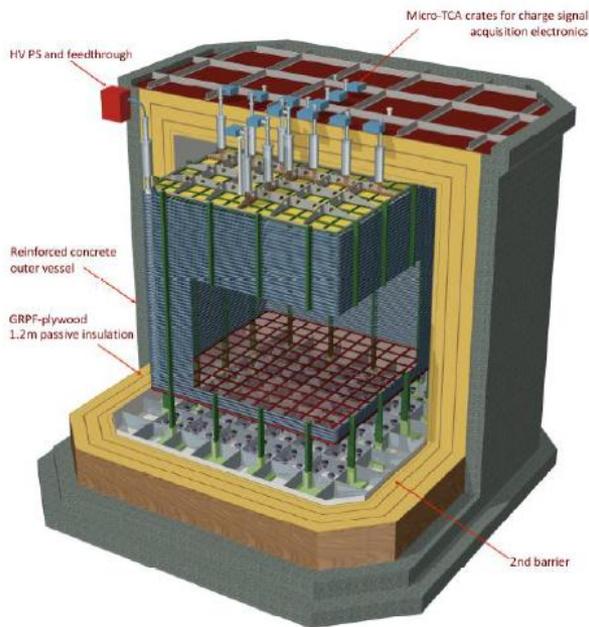


Activité faisceau ν longue distance: développement de prototype de détecteur

D. Duchesneau
LAPP

programme de R&D sur la technologie LAr pour détecteur
lointain avec des faisceaux longue distance



Réunion sélection postdoc ENIGMASS
LPSC, 15 juillet 2013

MNSP Matrix and 3 ν oscillation

(MNSP: Maki-Nakagawa-Sakata-Pontecorvo)

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

$U_{\alpha j}$ matrix element

Formalism

Mixing since 15 years

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

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

Δm_{31}^2 (Reactor + LBL (app))
 Δm_{21}^2 (solar+KamLAND)
 atmos+LBL(dis)

Theoretical framework well consolidated since 15 years

Oscillation probability

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

6 parameters to determine:

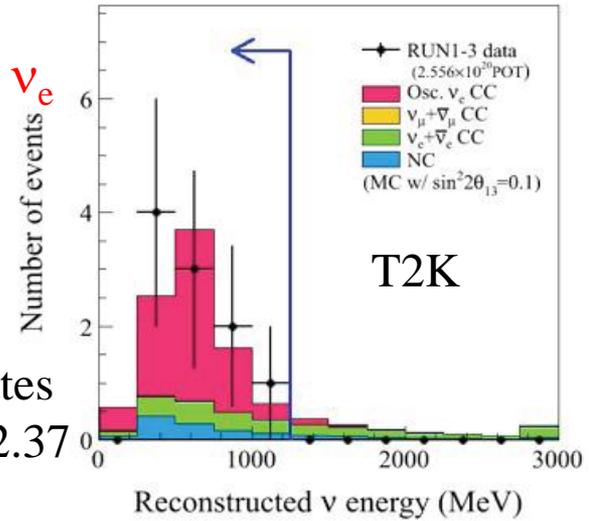
- 3 angles, 2 mass differences,
- 1 CP violation phase

The latest major breakthrough: θ_{13}

At accelerators from the ν_e appearance



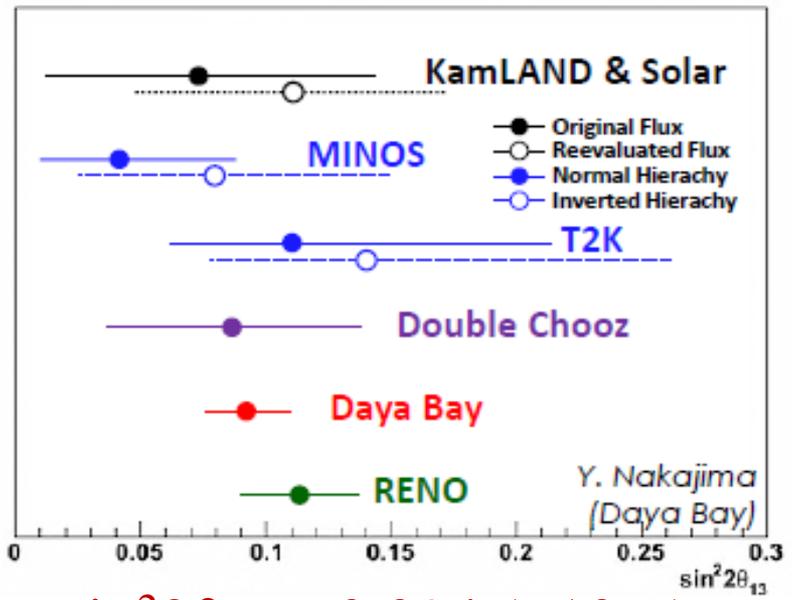
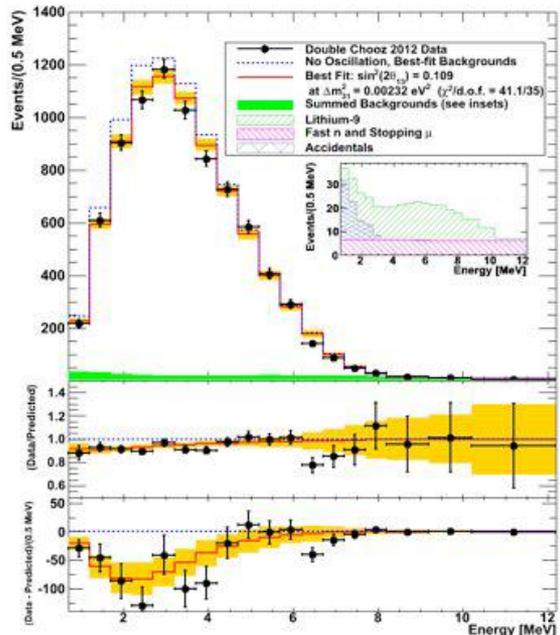
T2K : $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e$



At reactors from the survival rate of $\bar{\nu}_e$

3 experiments; $\nu_e \rightarrow \nu_e$

- Double Chooz (France)
- Daya Bay (China)
- Reno (Korea)



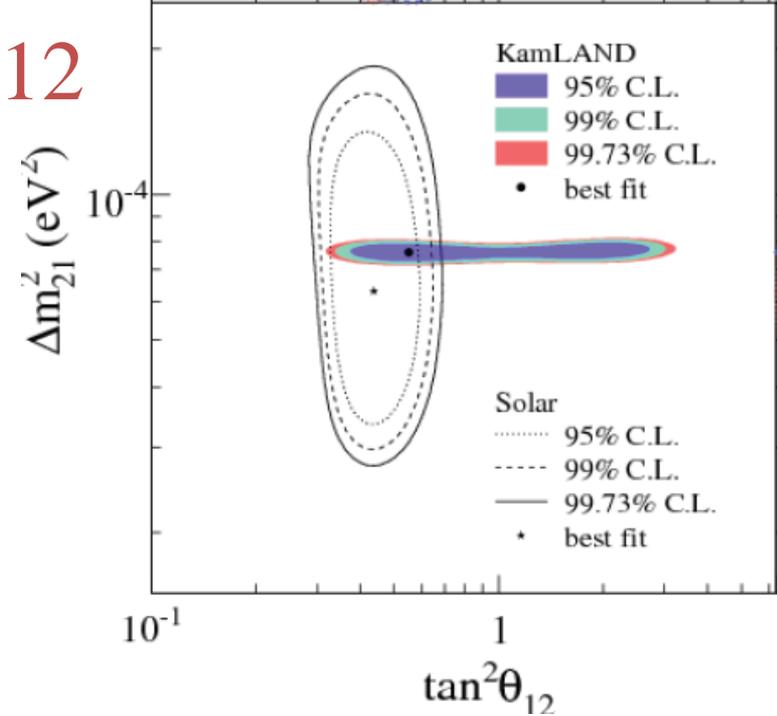
2012

$\sin^2 2\theta_{13} = 0.094 (\pm 10\%)$

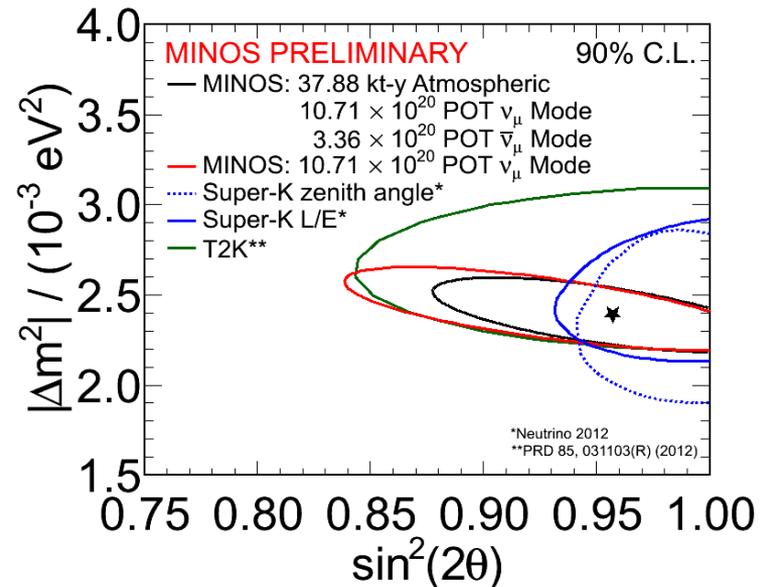
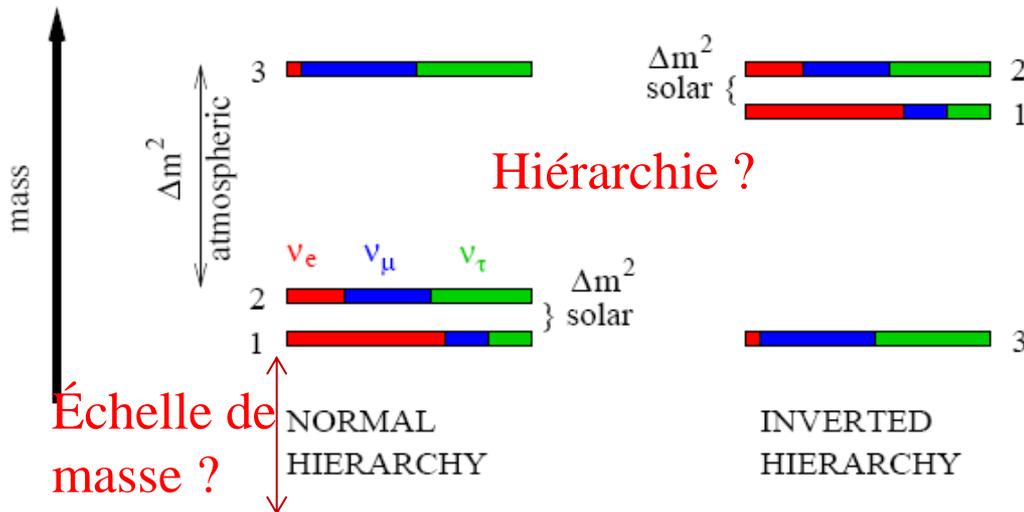
Large $\theta_{13} \Rightarrow$ important for mass hierarchy and to search for CP violation in leptonic sector

Etat des lieux des mélanges 2012

6 parameters		Precision 2σ	
Δm^2_{12}	$7.54 \cdot 10^{-5} \text{ eV}^2$	5%	
$ \Delta m^2_{23} $	$2.43 \cdot 10^{-3} \text{ eV}^2$	7%	Signe ?
$\sin^2 \theta_{12}$	0.307	11%	
$\sin^2 \theta_{23}$	0.386	12%	
$\sin^2 \theta_{13}$	0.024	21%	
δ	Valeur ?		



Ref: G.L. Fogli et al. arXiv:1205.5254v3



les neutrinos: encore de nombreuses questions fondamentales

- quelle est l'échelle de masse absolue?
 - fondamental pour cosmologie et le schéma d'unification des interactions
- la nature des neutrinos:
 - si Majorana => violation du nombre leptonique, conséquence théorique (leptogénèse, GUT)
- Existe-t-il plus de 3 neutrinos, quelle est l'origine de l'anomalie réacteur?



- **Violation de la symétrie CP dans le secteur des leptons?**
 - expériences faisceau long baseline car CP due à termes d'oscillation sous-dominant
- **Quelle est la hiérarchie de masse?**
 - essentiel pour la quête de la violation CP
 - Distinguée par effet de matière sur oscillations (long baseline, atmosphérique...)

Programme expérimental de longue haleine dans lequel le Labex peut être un acteur majeur

Enjeu mondial:

Hiérarchie de masse:

- atmosphérique (ex: pré-étude en cours Pingu, Orca...)
- Réacteurs (ex: DayaBay II, ou RENO-50 (20kton de LSc, 60 km))
- Faisceau Long BaseLine (> 1000 km)
 - Europe => LBNO avec Argon Liquide
 - US => LBNE avec Argon Liquide

Violation CP:

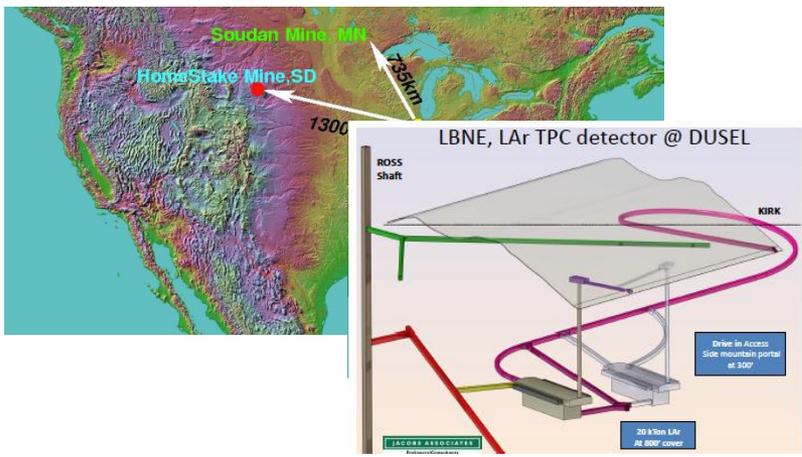
- Faisceau Long BaseLine (>100 km)
 - Europe => LBNO avec Argon Liquide / 2300 et 1300 km?
 - US => LBNE avec Argon Liquide / 1300 km
 - Japon => Cerenkov à eau / 295 km

A terme: probablement 1 seul projet de faisceau LBL dans le monde mais dispositif incontournable pour la violation CP

Future Long Baseline Projects in the World

US : LBNE

Liquid Argon TPC 25 kton
 at DUSEL (Homestake Mine) ~2400mwe
 Beam from Fermilab (0.7-2.5MW)
 baseline=1300 km $\langle E \rangle \sim 3$ GeV

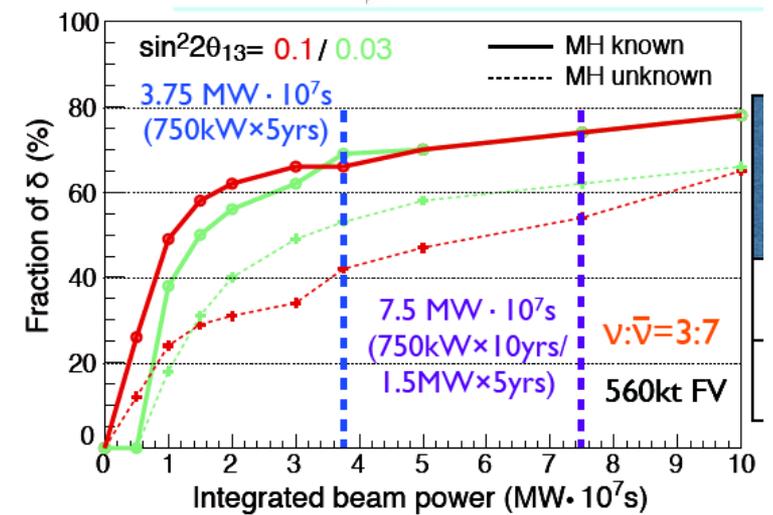
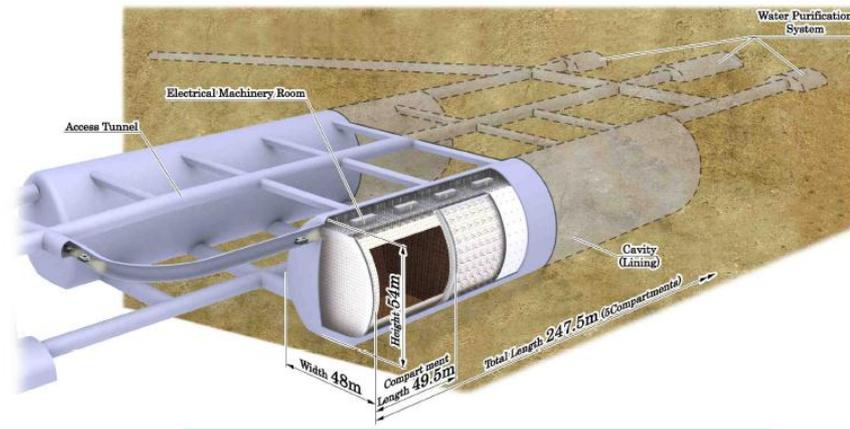


“downscoped” by DOE in 2012
 Under re evaluation

- First phase 2022 : 700 kW beam from FNAL to Homestake, 1300 km
- limited matter effects 10 kton LAr far detector on surface no near detector

Japan : Hyper-K

Water Cherenkov 560 kton
 near Kamioka, 1750 mwe
 Beam from JPARC (1.66MW)
 baseline=,295 km $\langle E \rangle \sim 0.8$ GeV



Etudes de projet futur faisceau en Europe (LAGUNA-LBNO)

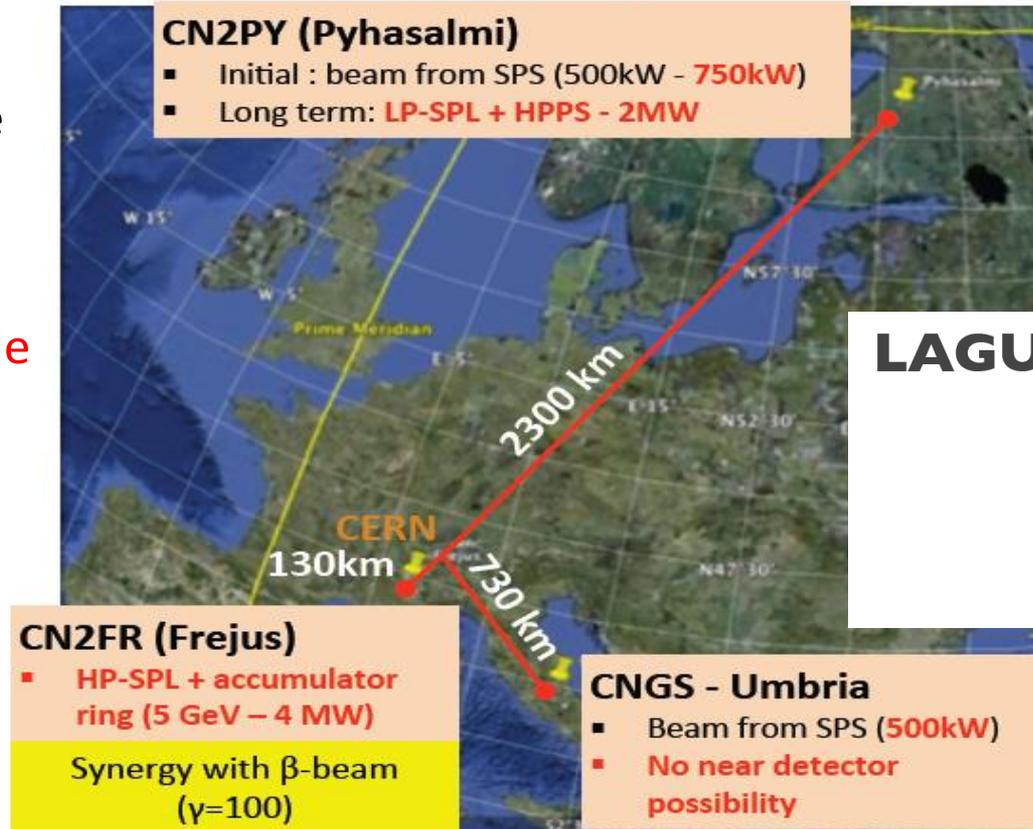


v-beams - LAGUNA-LBNO DS (2011-2014)

▶ Long-baseline options from CERN - Large underground detectors

Effort européen
(études similaires se font aux US et Japon)

Riche programme de physique



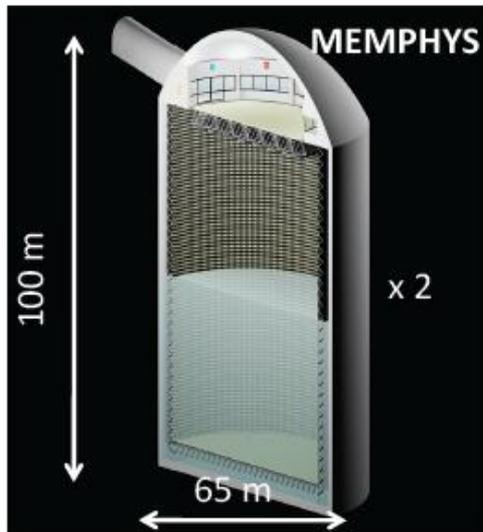
LAGUNA-LBNO Design Study

Large
Apparatus studying
Grand
Unification
Neutrino
Astrophysics

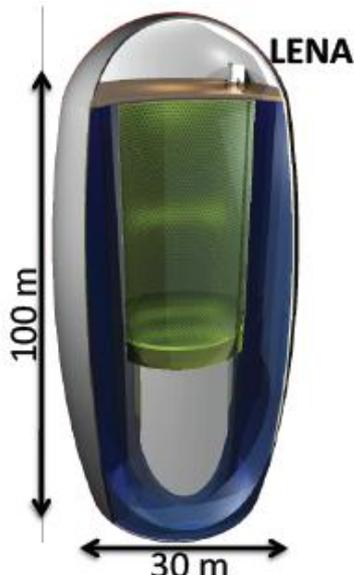
... and
Long
Baseline
Neutrino
Oscillations

Détecteurs souterrains de grand volume => Riche programme de physique

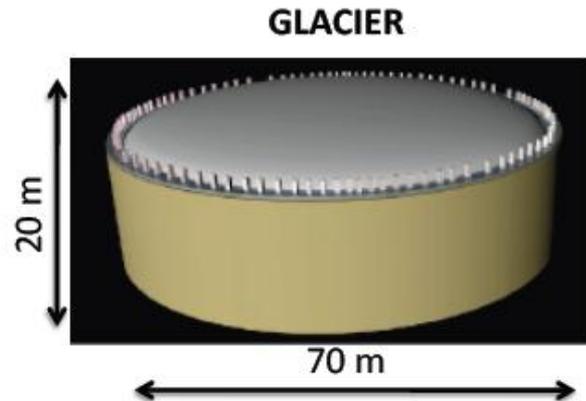
- Propriétés des ν (oscillation, violation CP leptonique: faisceaux, ν atm..)
- Etudes de phénomènes astrophysiques liés aux ν :
 - Effondrement gravitationnel d'étoiles (ν des Supernovae)
 - Formation des étoiles au début de l'univers (fond diffus de ν de SN)
 - Etude des processus de fusion avec ν solaires
- Test des modèles géophysiques de la terre (Geo - ν , U, Th - ν)
- Désintégration du proton



Water Čerenkov 2x 300kT

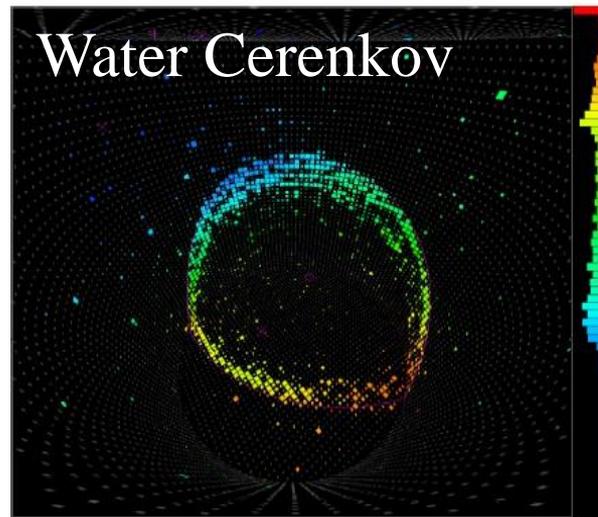


Liq. Scintillator → 50kT

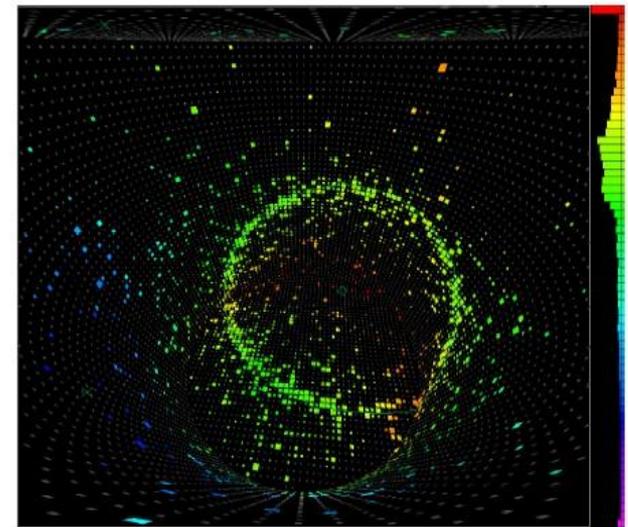


Liq. Argon → 100kT

Avec faisceau ν :
2 technologies de
détecteur:

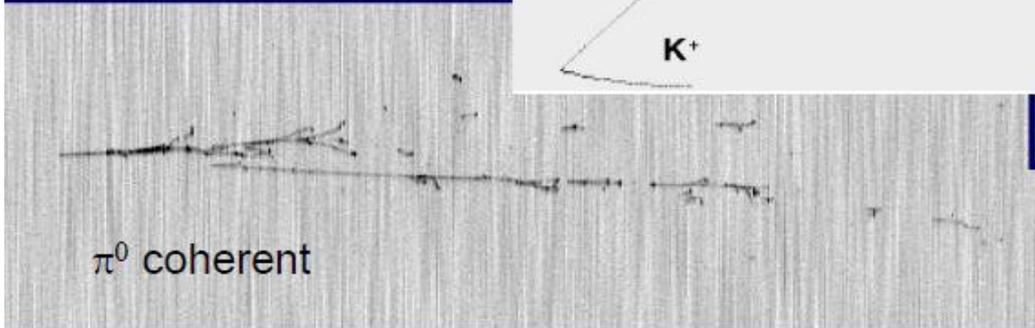
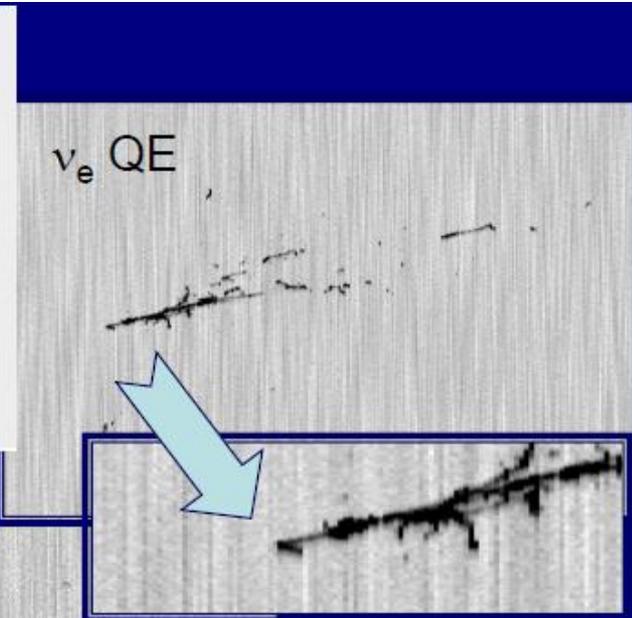
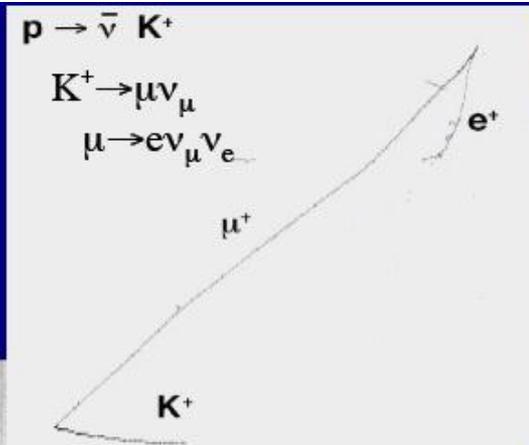


Muon atmosphérique (FC)



Électron atmosphérique

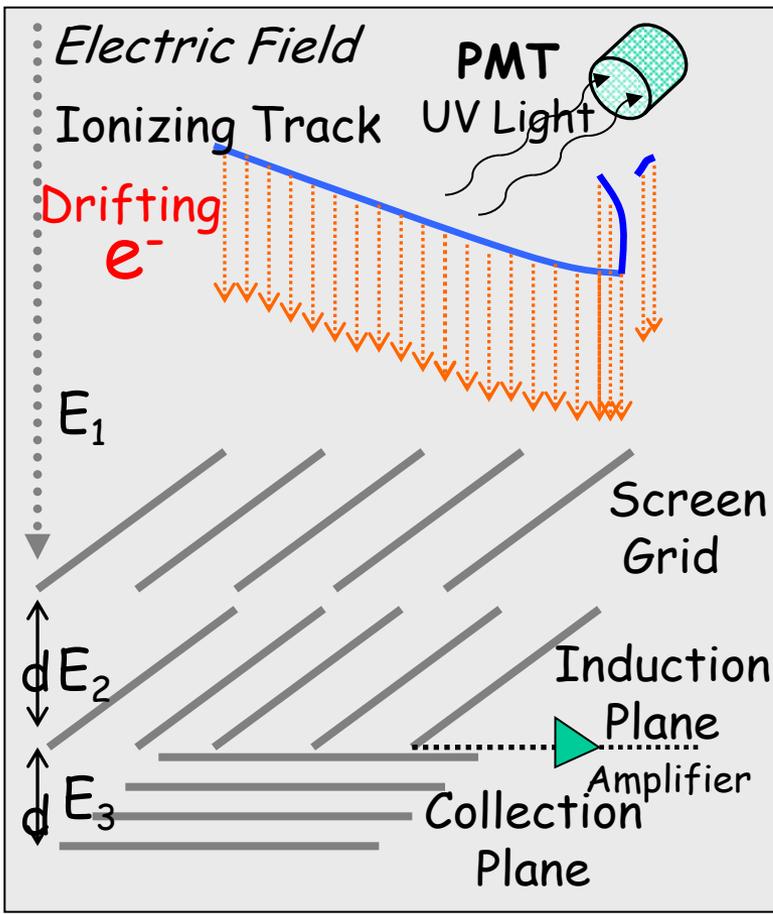
TPC Liquid
Argon
Homogeneous
massive target and
ionization detector



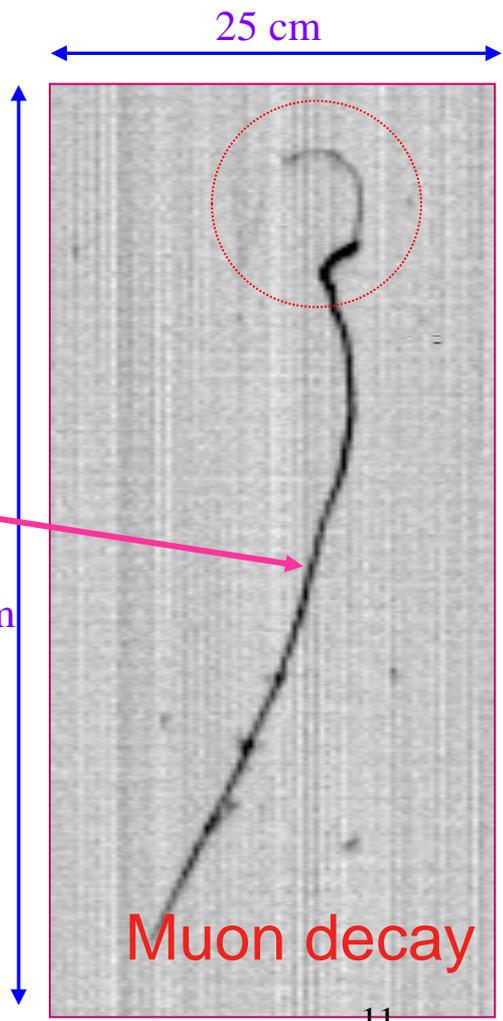
TPC Argon liquide

Principle: 3D imaging in a large volume Liquid Argon TPC

- very pure LAr (<0.1ppb) → electrons can drift over large distances (>1.5 m)
- UV scintillation light (5000 photons/mm @ 128 nm) for t_0
- Primary ionization in LAr: 1 m.i.p ~ 20000 e- on 3 mm
 - → 3D reconstruction with ~1 mm resolution



Energy deposition measured for each point (400 ns sampling)



ICARUS

T600 test

Projet européen de Long Baseline:

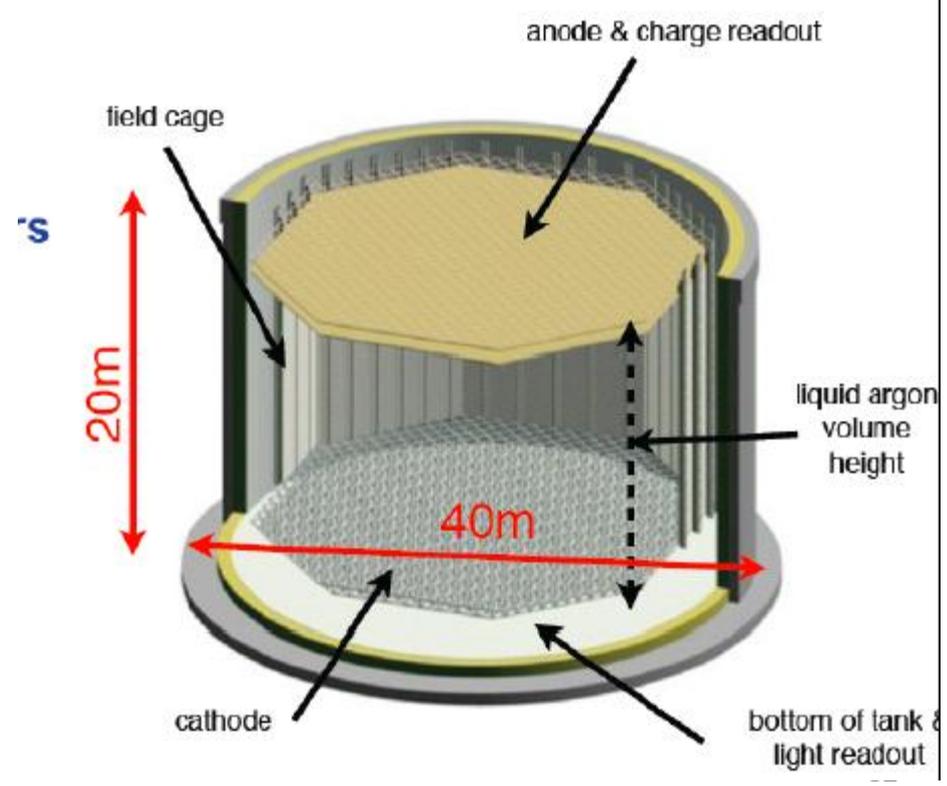
Après les études de LAGUNA et LAGUNA-LBNO

CERN-Pyhäsalmi (2300 km)
GLACIER (20 kton) + MIND (35 ktons)



Pyhäsalmi

Puis approche séquentielle
20kton => 50 kton LAr



Layout of the LAGUNA-LBNO observatory at Pyhäsalmi (-1400m)

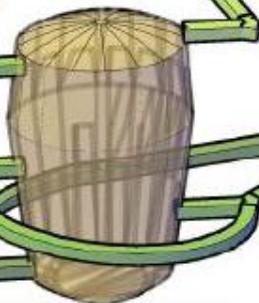
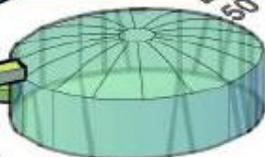
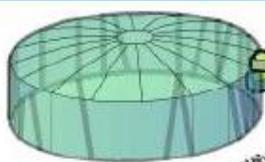
Total available space for up to
 2x50 kton LAr + 50 kton LSc
 879'000 m³ excavation
 Design to be finalised within
 LAGUNA-LBNO by ≈2014

A possible configuration

**20kton LAr+
35 kton MIND**

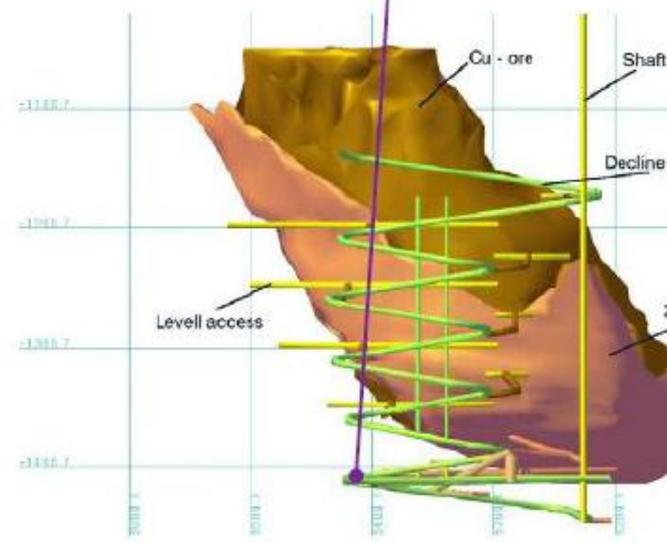
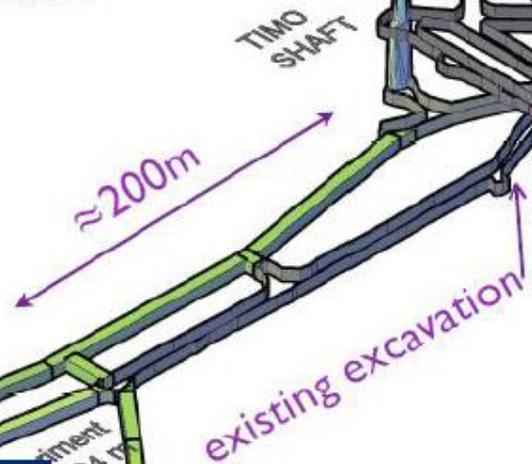
50kton LAr

50kton LSc



Installation facilities
Clean room etc.

LSc experiment
Depth -1500 m
50 kton

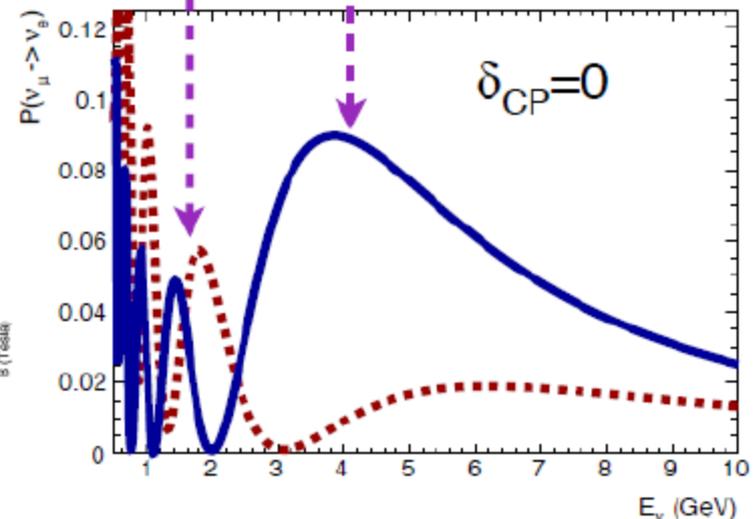
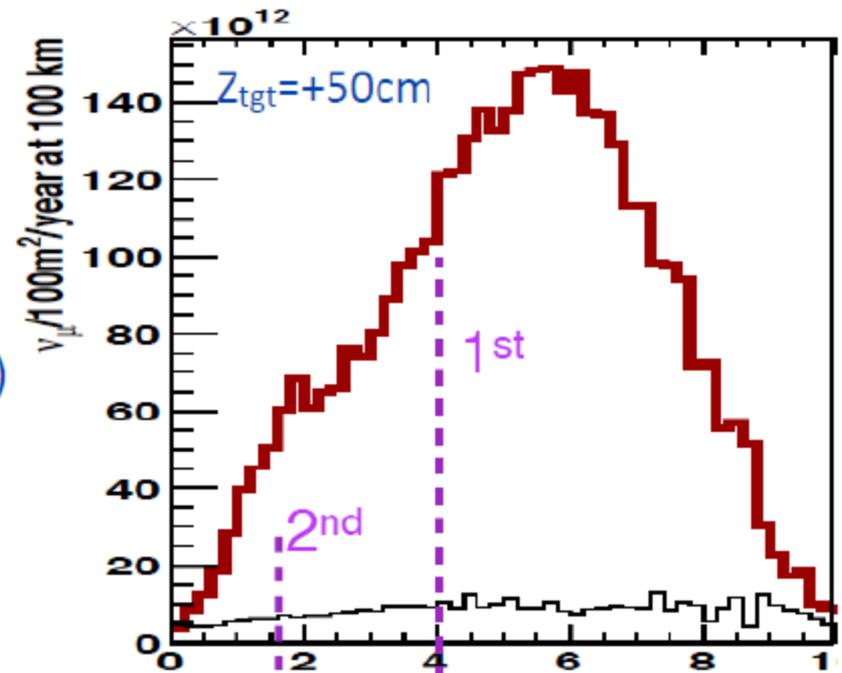
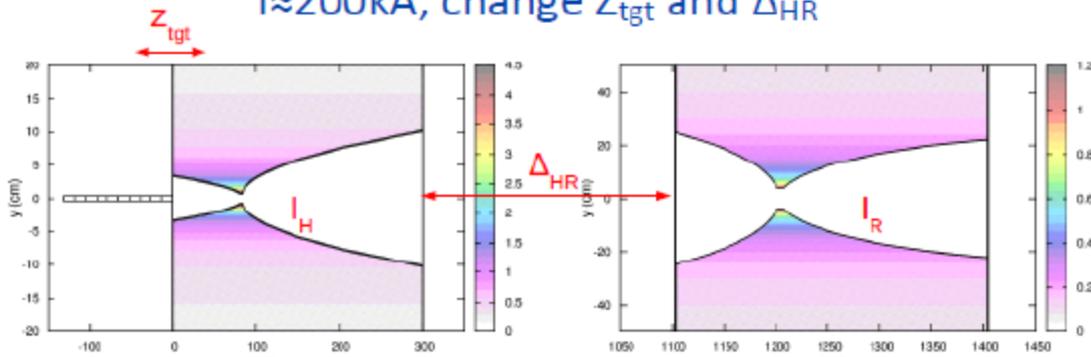


LBNO baseline beam optimisation

- Conventional beam, horn focused
- Medium energy to cover at $E_\nu \approx 4$ GeV (1st max) and $E_\nu \approx 1.5$ GeV (2nd max)
- Wide band covering 1st and 2nd maximum
- Small tail at high energy
- Positive and negative focus (ν and anti- ν modes)
- High beam power (initially 700 kW then 2MW)
- Angle 10deg dip angle (distance = 2300km)
- Muon monitors
- Magnetised near neutrino detector

Focusing optimisation (preliminary)

Graphite target ($r=4$ mm), Horn shapes fixed, ≈ 200 kA, change Z_{tgt} and Δ_{HR}

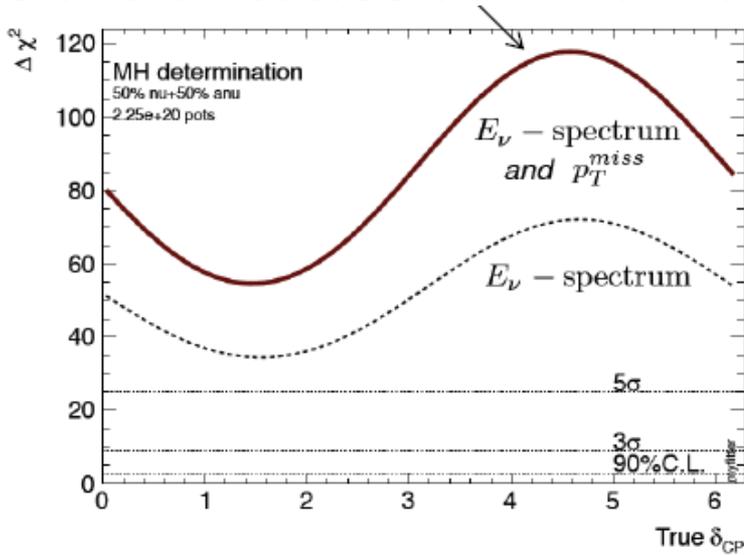


Performances:

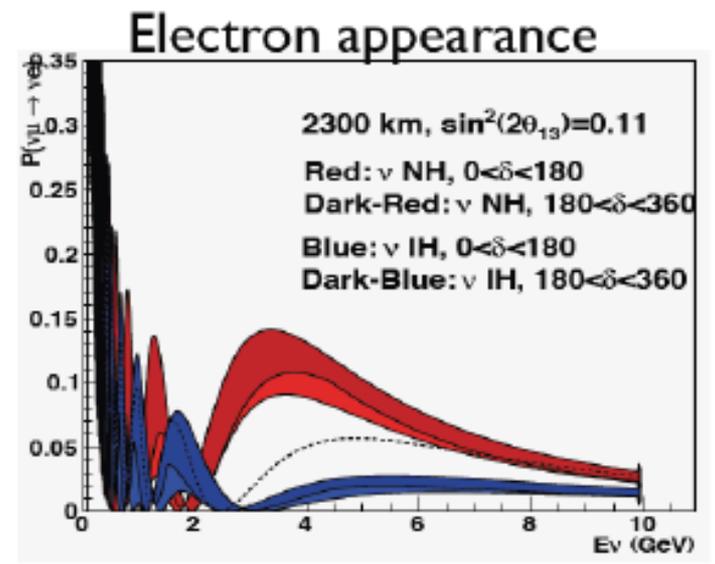
Hiérarchie de masse en 2 ans à plus de 5 sigmas

Début d'investigation de la violation CP
 => selon les résultats augmenter graduellement les masses de détecteur.

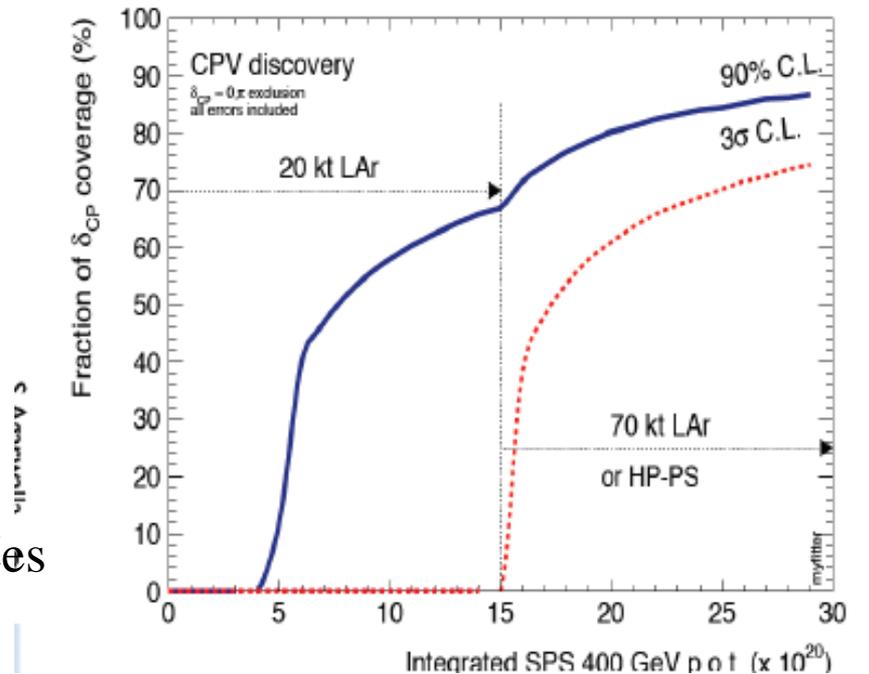
Démarrage en 2023:Après 2 ans
 50% neutrinos et 50% anti neutrinos



δ_{CP} : Première phase LBNO 20kton (5+5 années nu/nubar) 71 (44)% coverage at 90% (3σ)

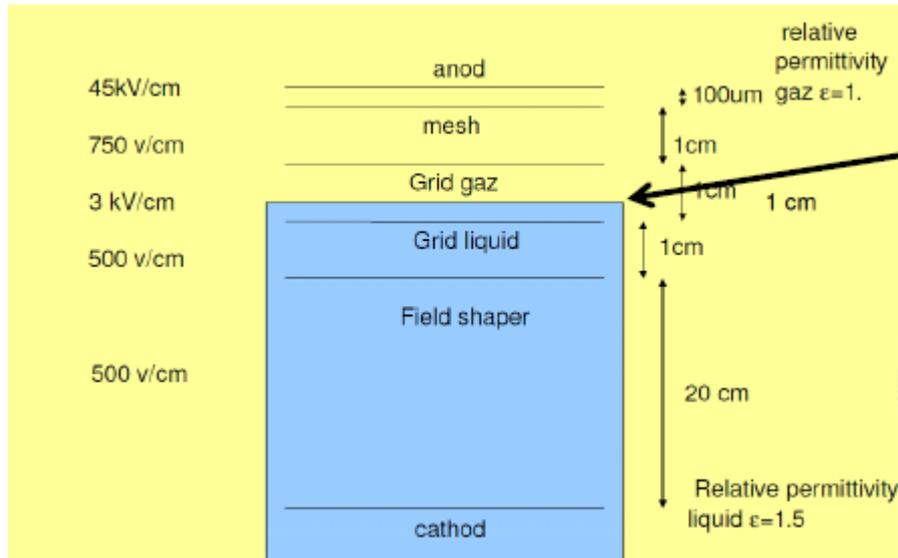


Incremental approach with conventional beams



Détecteur de très grande dimension:

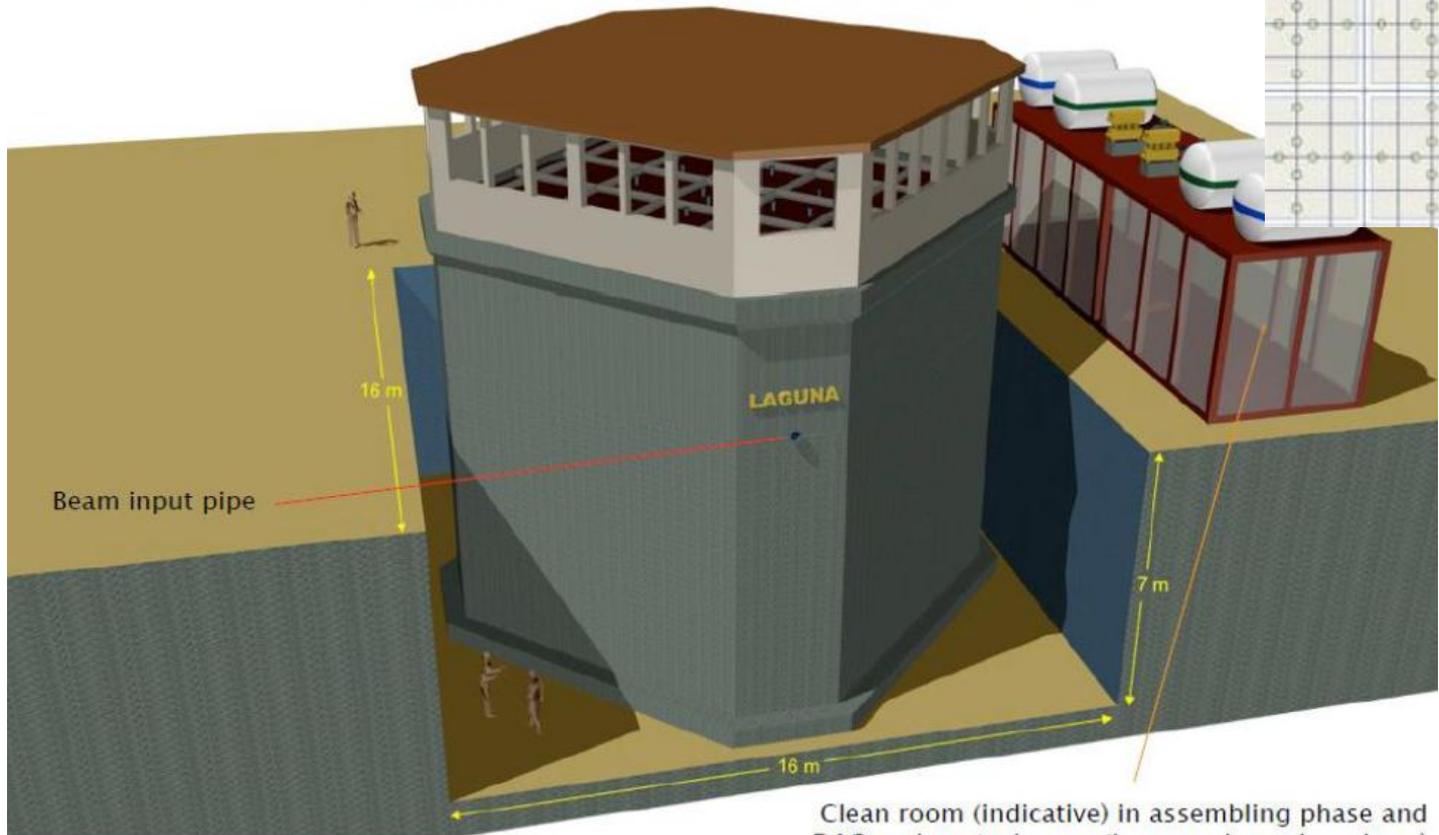
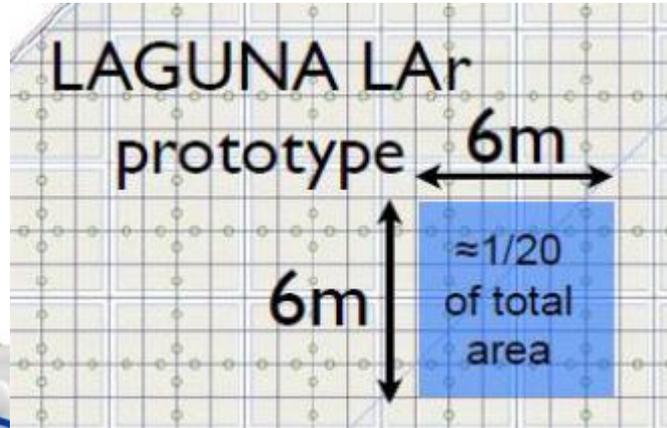
Principe: lecture double phase Argon (liquide et gaz) après une distance de dérive pouvant aller jusqu'à 20m



Points techniques à valider avec un prototype de grande échelle:

- Technique de construction des réservoirs LNG
- Système de purification
- Grande longueur de dérive des électrons
- Système de Haute tension des électrodes 300-600 KV
- Lecture à double-phase
- L'électronique de lecture
- Reconstruction des interactions dans la TPC

General overview



A installer dans la North Area au CERN

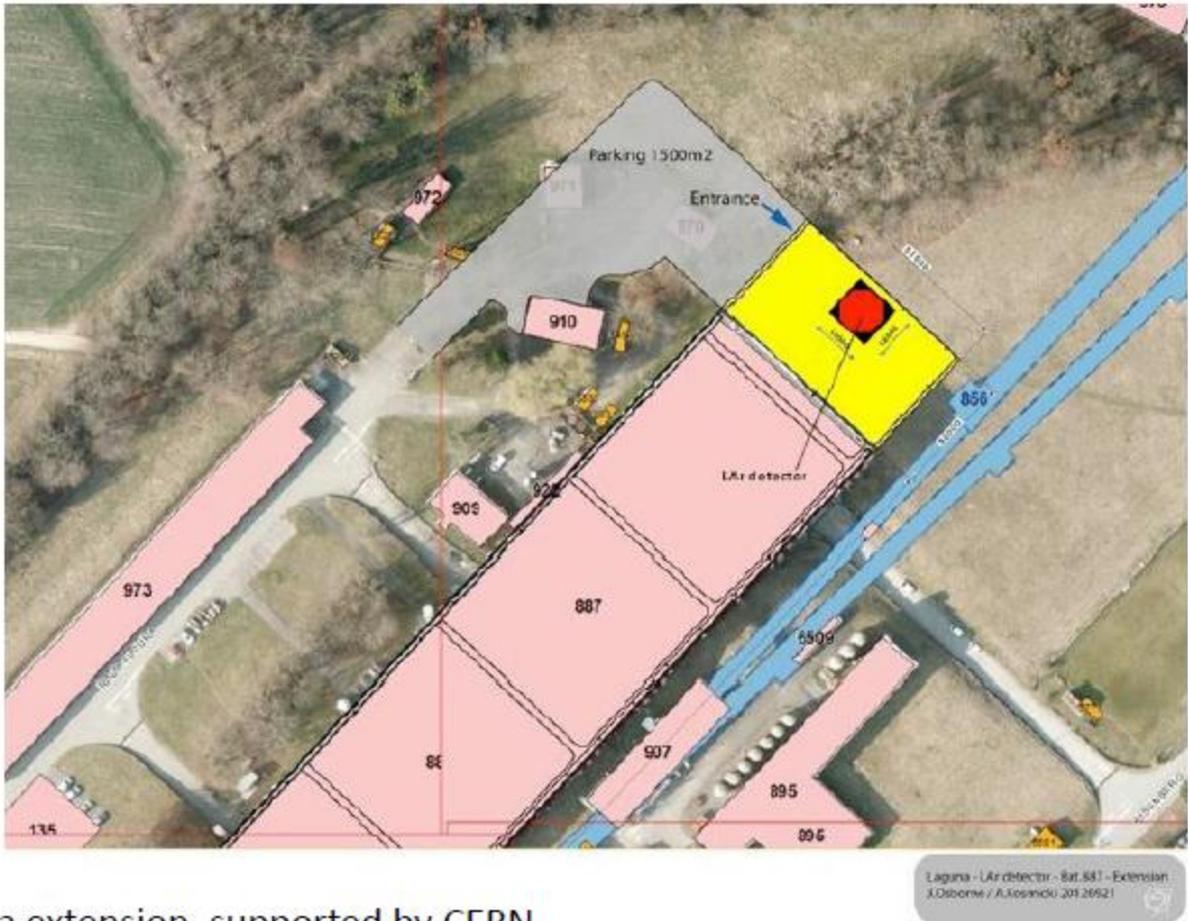
Sur faisceau de particules chargées

SPSC recommendation: "validate large scale"

Clean room (indicative) in assembling phase and DAQ and control room (in normal running phase). Eventually used as support for cryocoolers and cryogenic liquid storage vessels

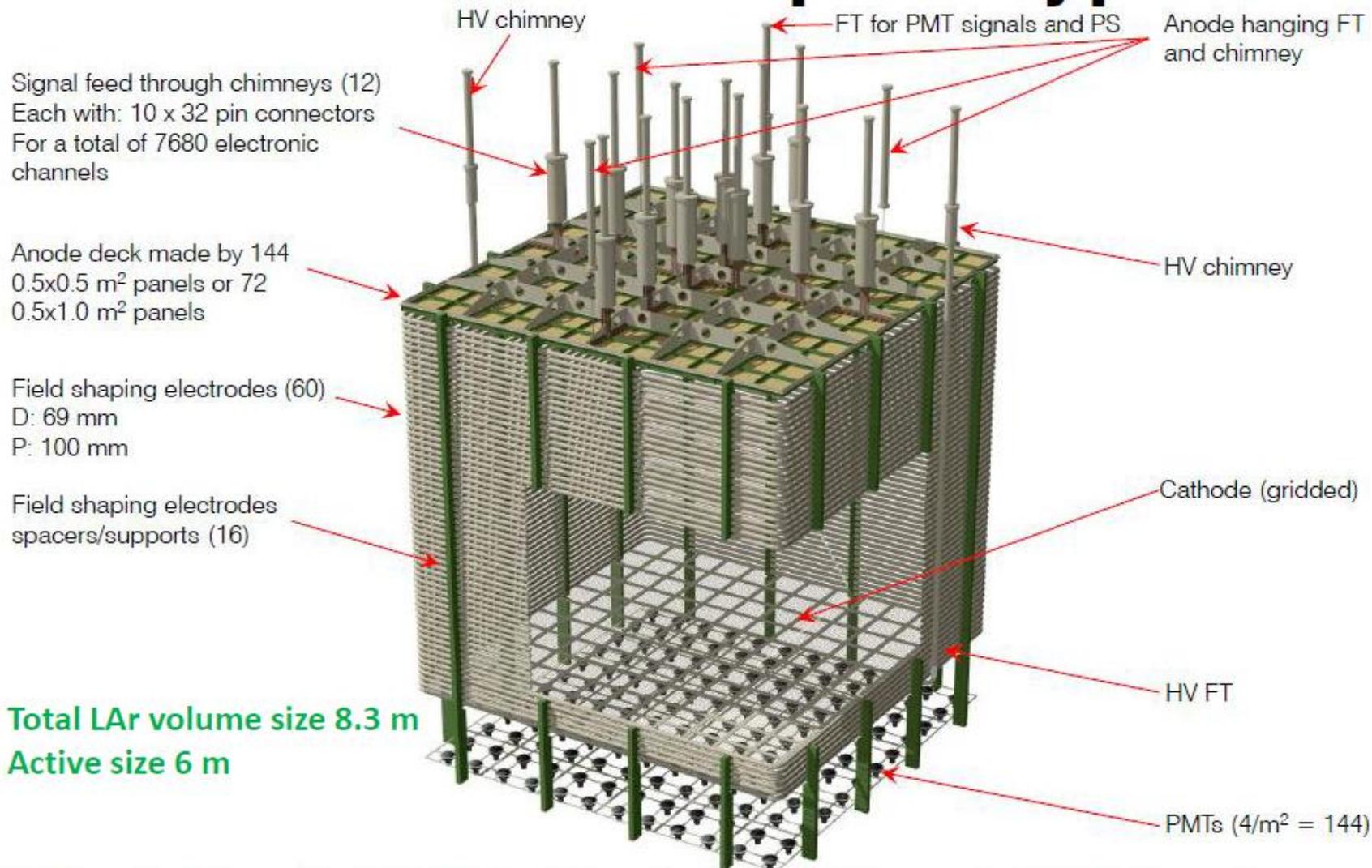
6x6x6m³ active volume LAr TPC detector with double phase + charge amplification + 2-D collection readout PCB anode. Exposure to charged hadrons beam (1-20 GeV/c)

Scenario of installation: EHN1 extension



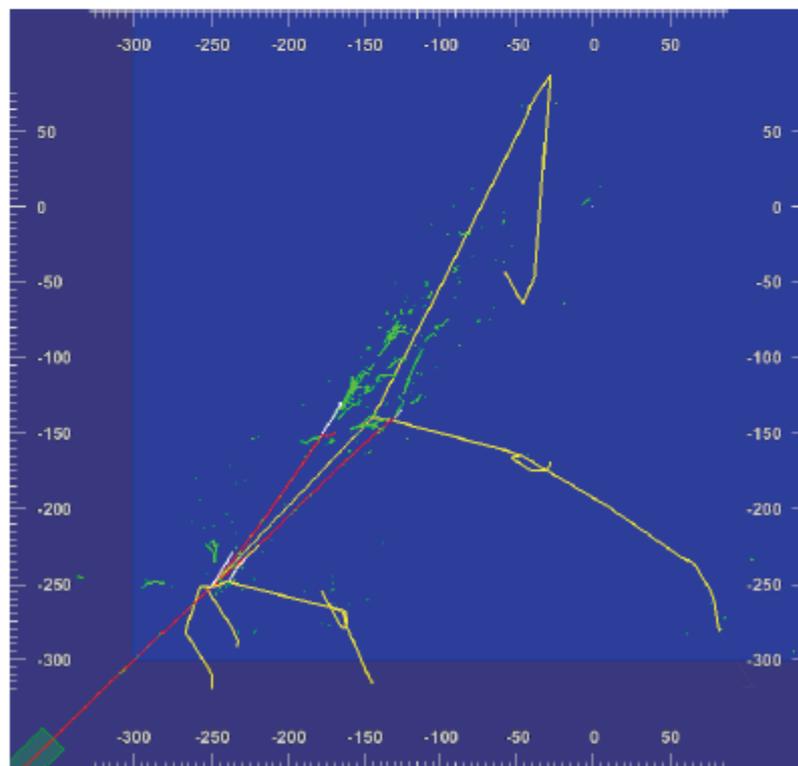
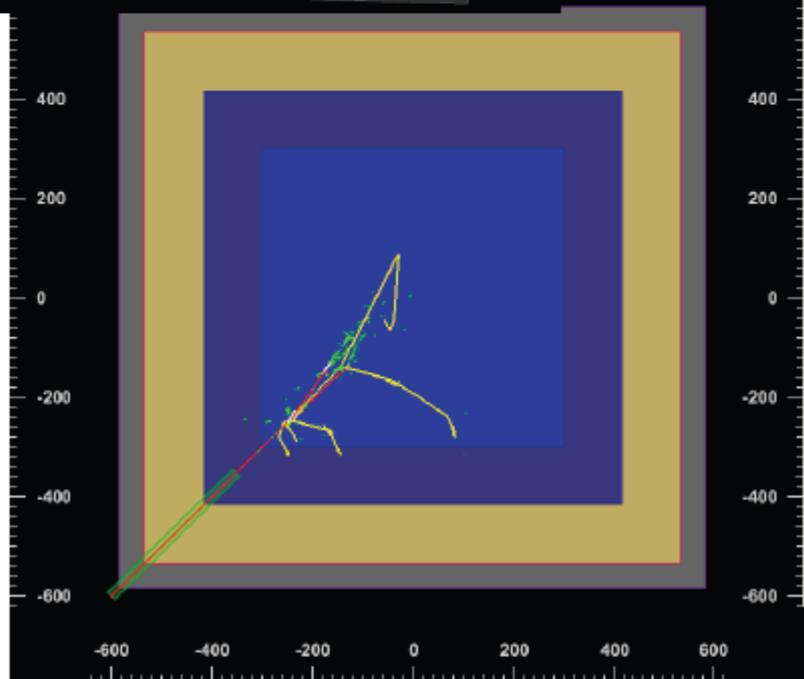
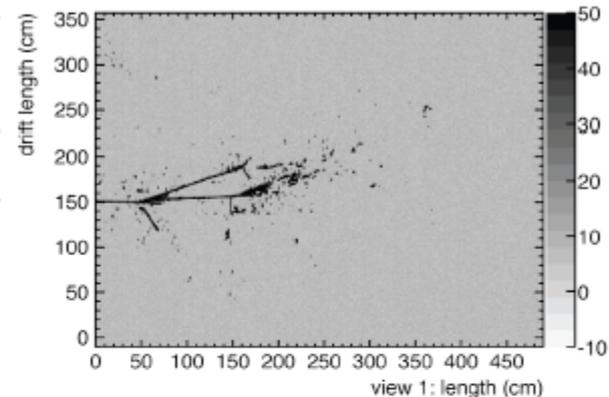
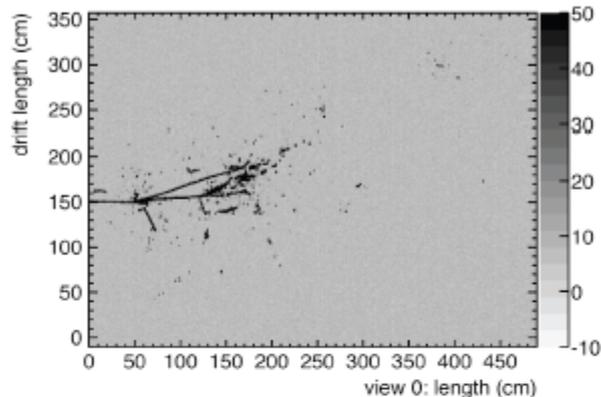
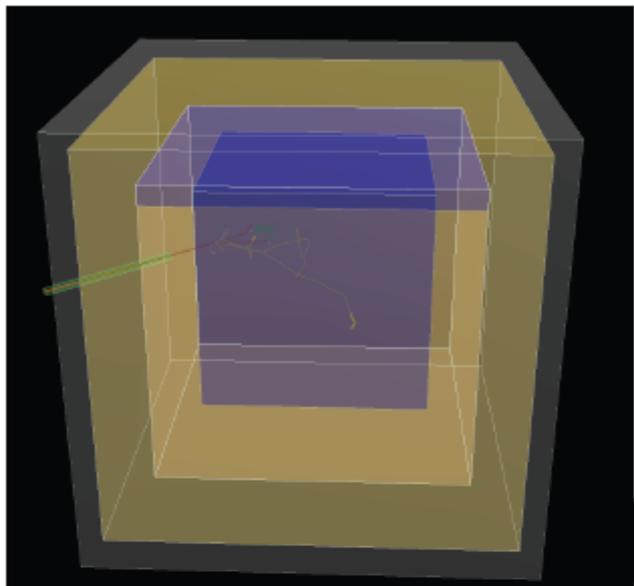
North area extension, supported by CERN,
Extension activities already started, completion middle 2014 ?

LAGUNA LAr prototype



7680 readout channels, ICARUS T600 for a similar fiducial mass had 27000 channels

5 GeV π^+ simulation in 6x6x6m³



Prototype LAr pour Long Baseline:

Calendrier (basé sur une activité CERN en 2013 pour le hall EHN1)

- mi 2014: fin de la préparation de l'extension du Hall EHN1 au CERN
 - mi 2014- mi 2015: construction du réservoir
 - mi 2015- 2016: instrumentation interne et installation
 - 2016-2017: prise de données sur faisceau de particules chargées
-
- Projet de prototype soutenu de manière importante par le CERN, le SPSC et European Strategy Group.
 - Présenté au CS de l'IN2P3 le 27/06/2013 pour demande de financement projet sur 4 ans.

Long Baseline au LAPP

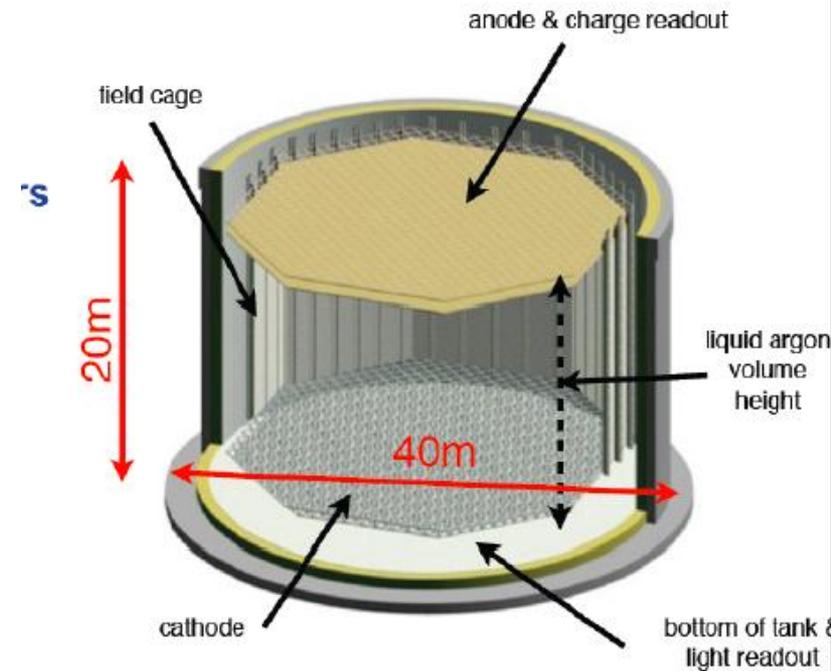
Chercheurs

D. Duchesneau, H. Pessard

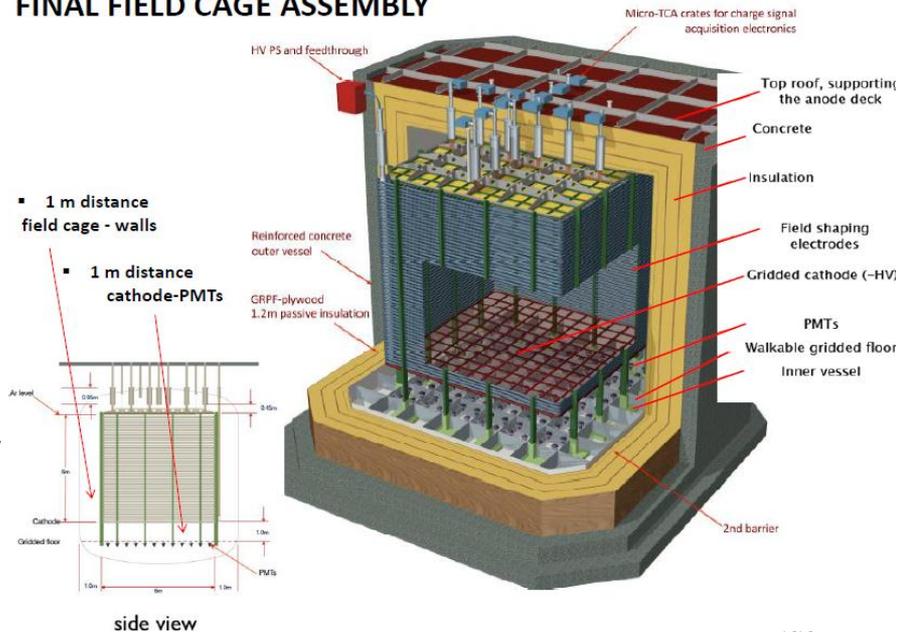
Activités envisagées et en discussion:

Participation à la réalisation du prototype de détecteur TPC Argon Liquide (6x6x6 m³) au CERN avec APC, IPNL, LPNHE et Irfu (voir CS IN2P3 27/06/13):

- Lecture des signaux des photomultiplicateurs: Adapter PMm2 au proto avec environnement cryogénique
- Automatisation: Système de positionnement du plan d'anode au dessus de la surface du liquide
- Mécanique de la Field Cage (électrodes) / du plan d'anodes



FINAL FIELD CAGE ASSEMBLY



Rôle du post-doc pour le projet Long Base Line dans ENIGMASS

- Le candidat aura un **rôle principal** dans la mise en place de l'activité Long Base Line au sein du Labex.
- **Forte implication** dans le développement de l'activité de détecteur TPC LAr au LAPP. Mais aussi dans tous les aspects importants du projet avec l'avantage d'être localisé à Annecy, à proximité du CERN.
- La première année sera dédiée aux études de conception et les tests en laboratoire.
- La seconde et troisième année seront ciblées pour la fabrication, l'installation sur site du détecteurs et la préparation des logiciels d'analyse.

Minimum requirements are: PhD degrees in Particle physics, experience in techniques for particle detectors, Monte-Carlo simulations and data analysis. Previous post doctoral experience in neutrino physics is a benefit.

Impact escompté du postdoc et lien avec les objectifs scientifiques du LABEx):

- Développer la ligne de recherche pour les projets de physique des neutrinos du LABEX ayant pour objectif la détermination de la hiérarchie de masse et la quête de la violation CP dans le secteur leptonique

Aspects collaboratifs entre équipes du LABEx

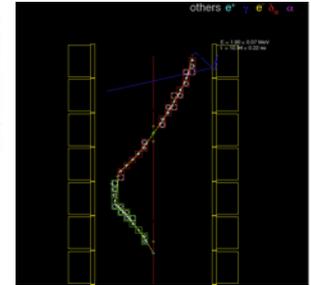
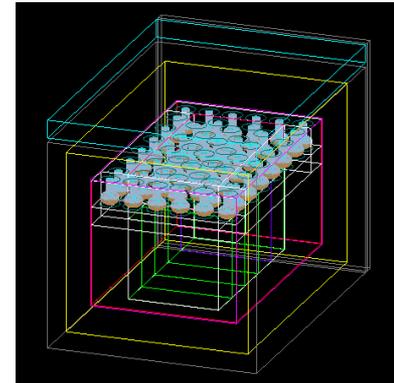
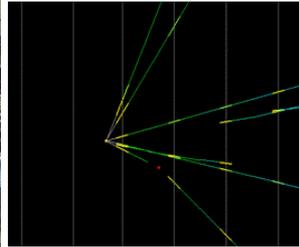
- Le projet de détecteur de grande masse en souterrain offre **un panorama de physique très étendu** : la physique des oscillations neutrino sur faisceau mais aussi l'astroparticule, l'étude des neutrinos solaires, des neutrinos atmosphériques et les neutrinos issus d'explosion de supernovae. Ces détecteurs offriront aussi une fenêtre unique sur la recherche de la désintégration du proton, fortement lié à l'évolution de l'Univers et aux modèles de grande unification.
- Dans ce cadre, nombre de sujets concernent les recherches à la fois expérimentales au LSM et théoriques au LapTh et au LPSC.

Des collaborations sont envisageables sur un plus long terme

La physique des ν dans le Labex



- actuel: oscillation
- Court et moyen termes: sterile et désintégration double beta
- Long terme: Hiérarchie de Masse et violation CP



- programme en cohérence avec la stratégie nationale et internationale et touchant les questions fondamentales du moment avec retour de physique sur le moyen terme
- Le projet de faisceau Long base Line est l'avenir à long terme du domaine. Un engagement progressif passant par une participation au R&D détecteur proposé est une étape essentielle pour mettre à profit les expertises des labos, se positionner et acquérir des expertises nouvelles.

The End

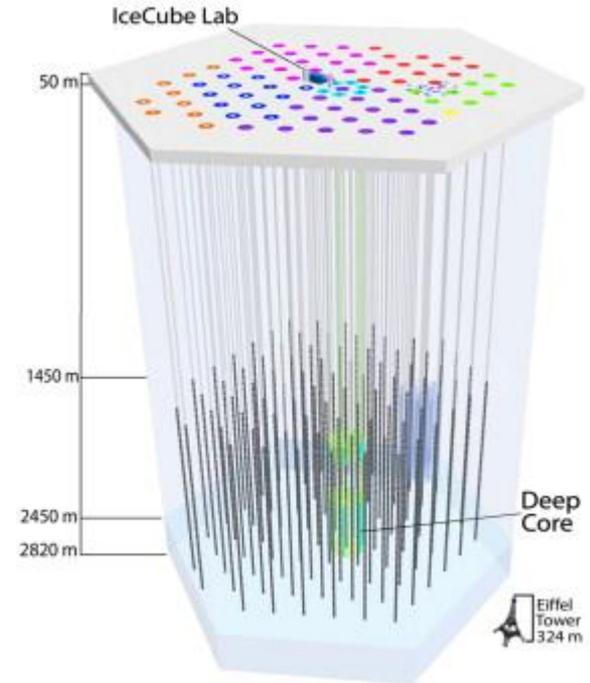
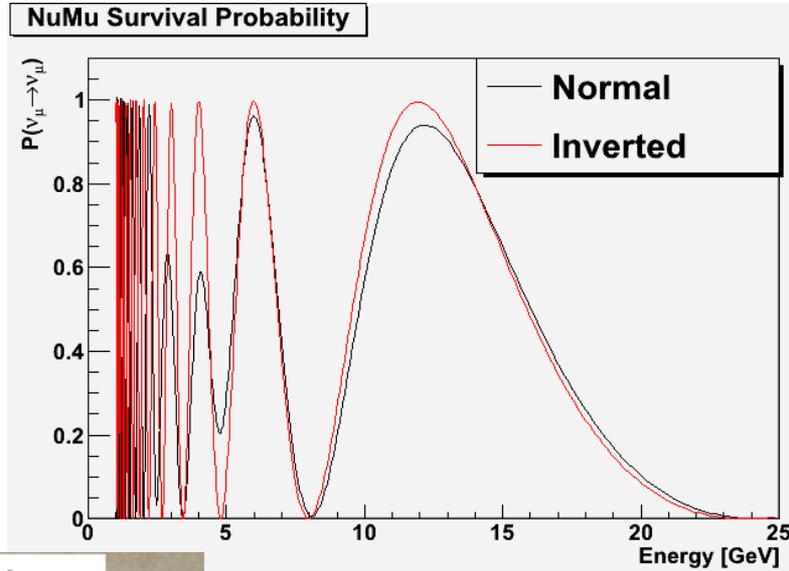
Mass hierarchy:

Other investigation techniques:

Atmospheric neutrinos: looking at the effect of matter effect in the ν_μ rate

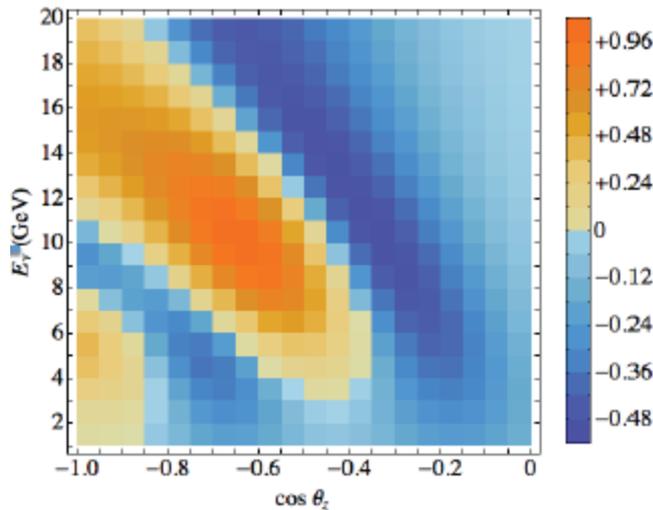
<10% effect

PINGU



$\sigma_E = 2 \text{ GeV}, \sigma_\theta = 11.25^\circ$

$(N_\mu^{\text{IH}} - N_\mu^{\text{NH}})/(N_\mu^{\text{NH}})^{1/2}$ [PINGU 1 yr] Smear



Also

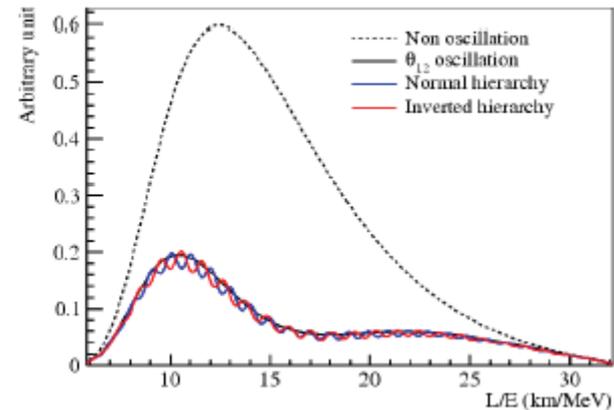
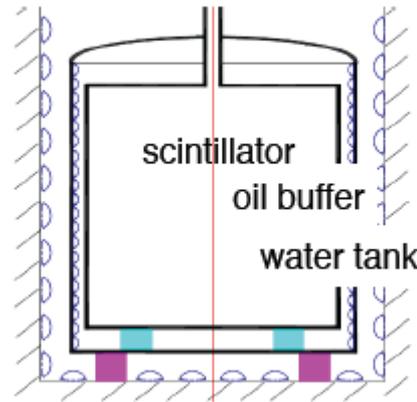
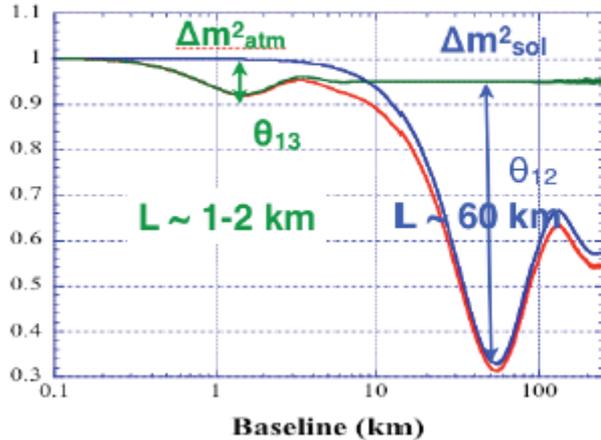
INO: 50 kton iron-RPC calorimeter

HyperK in Japan

Mass hierarchy:

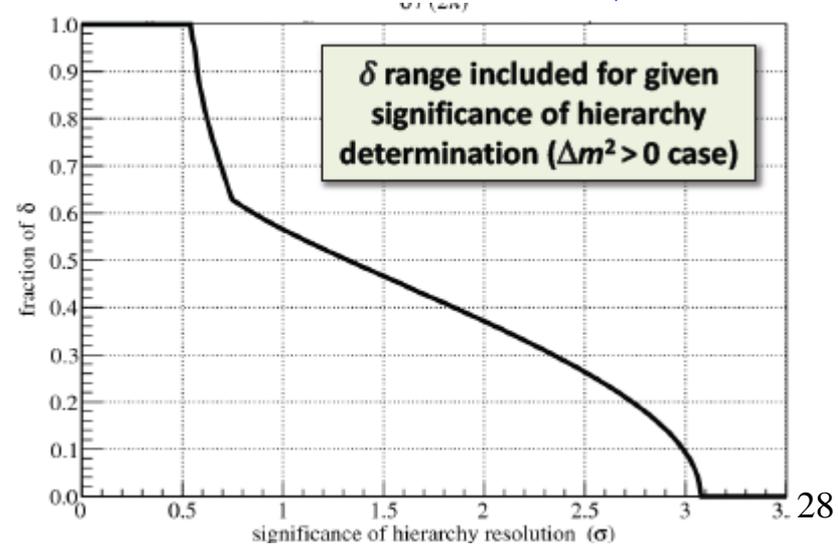
Long Baseline reactor with large detector

Daya Bay II

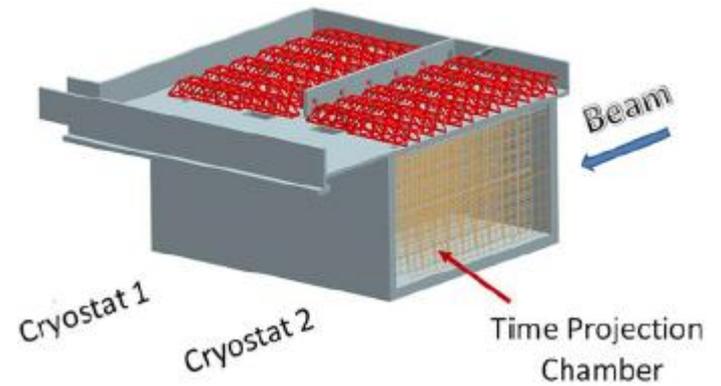
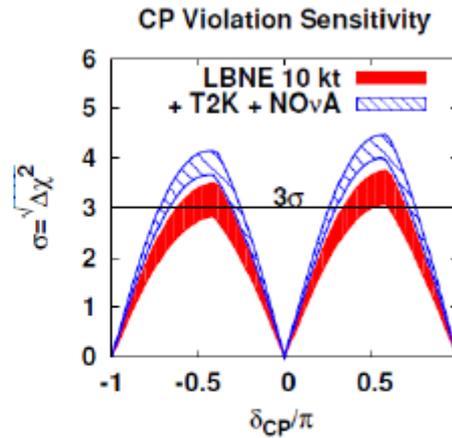
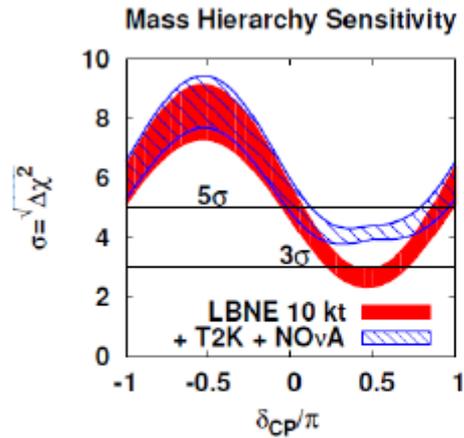


- 20-50 kton LS detector
- 2-3 % energy resolution
- Rich physics possibilities
 - ⇒ Mass hierarchy
 - ⇒ Precision measurement of 4 mixing parameters
 - ⇒ Supernovae neutrino
 - ⇒ Geoneutrino
 - ⇒ Sterile neutrino
 - ⇒ Atmospheric neutrinos
 - ⇒ Exotic searches

Accelerator: Nova, T2K



LBNE in US:



Can resolve MH with $\geq 5/4\sigma$ for 50%/all δ_{CP} combined

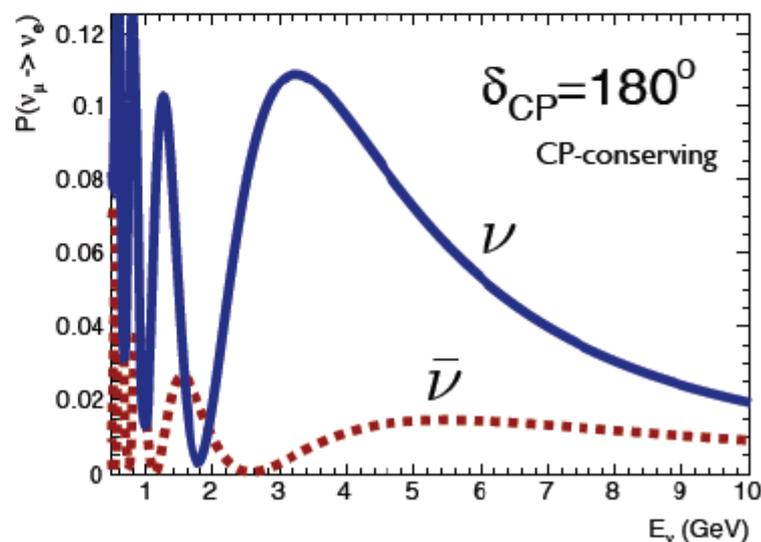
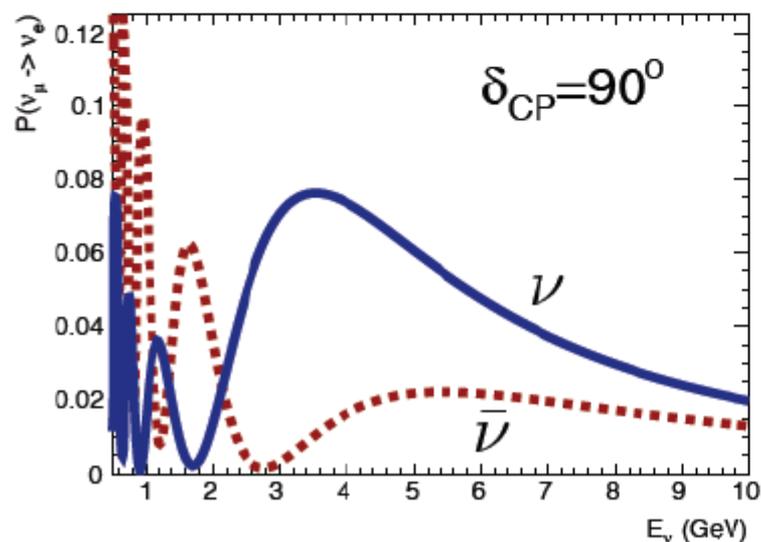
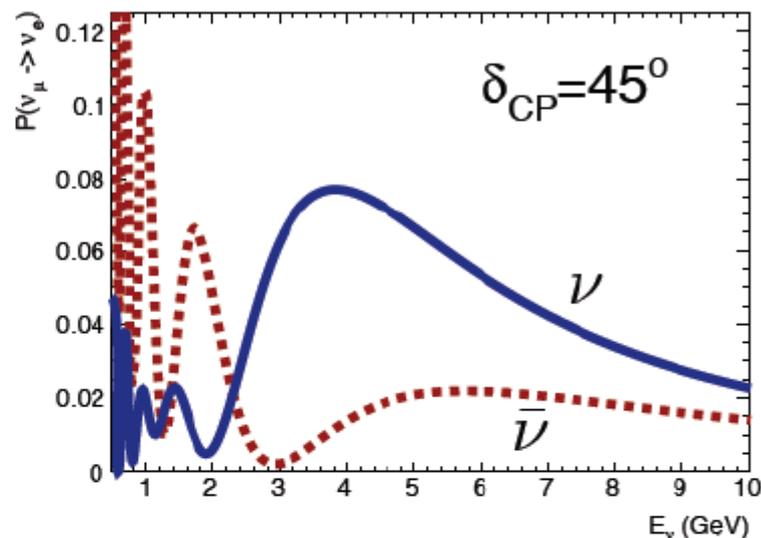
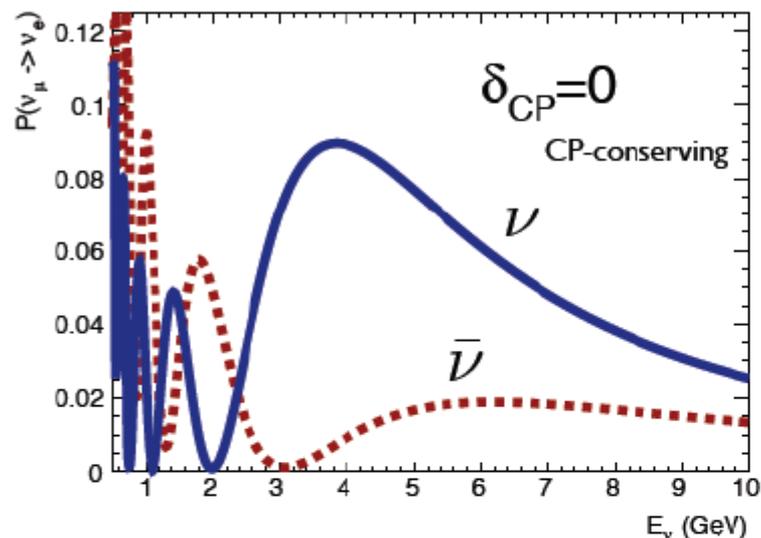
Can resolve CPV with $\geq 3\sigma$ for 45% δ_{CP} combined

CERN-Pyhäsalmi: spectral information $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$

★ Normal mass hierarchy

L=2300 km

$$\sin^2(2\theta_{13}) = 0.09$$



Staged search for CP violation

First phase:

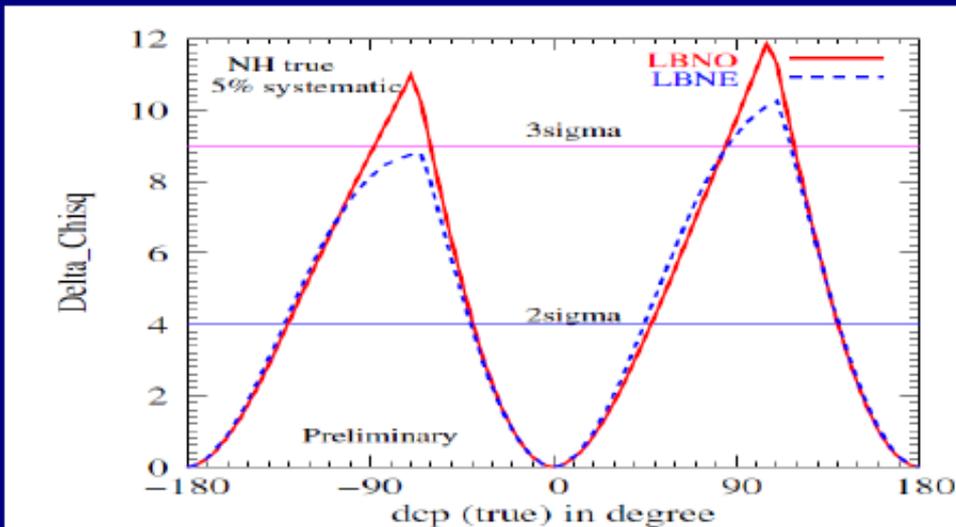
LBNO 20kton

e.g. (5+5 years nu/nubar)

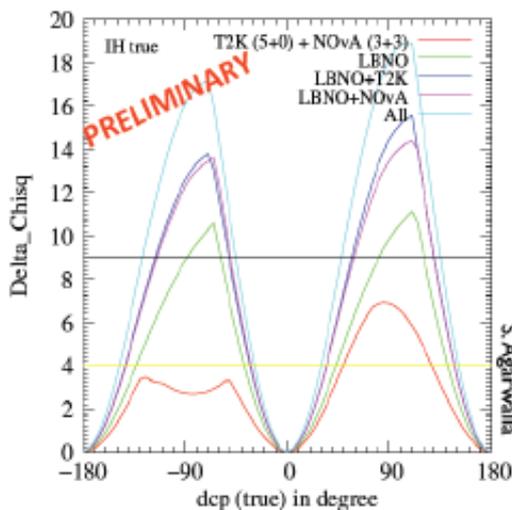
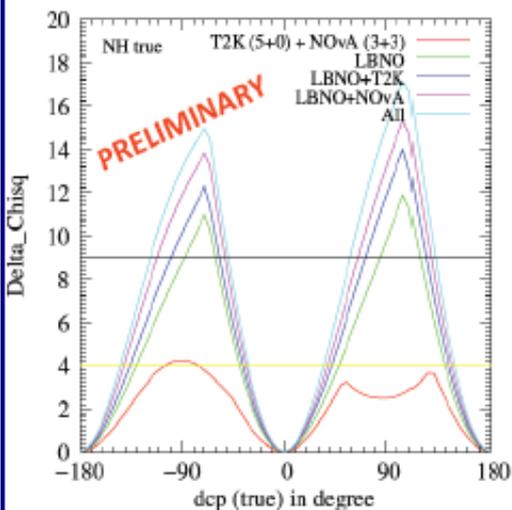
71% (20%) coverage at 90% (3σ)

Second phase:

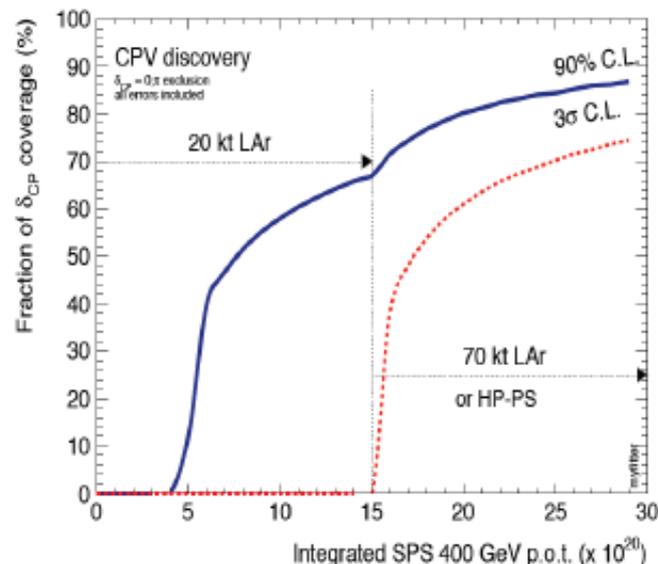
LBNO 70 kton, 2MW HP-PS



Sensitivity combining T2K(295km), NOvA(810km) and LBNO(2300km)



Incremental approach with conventional beam



The power of combining several different baselines L:

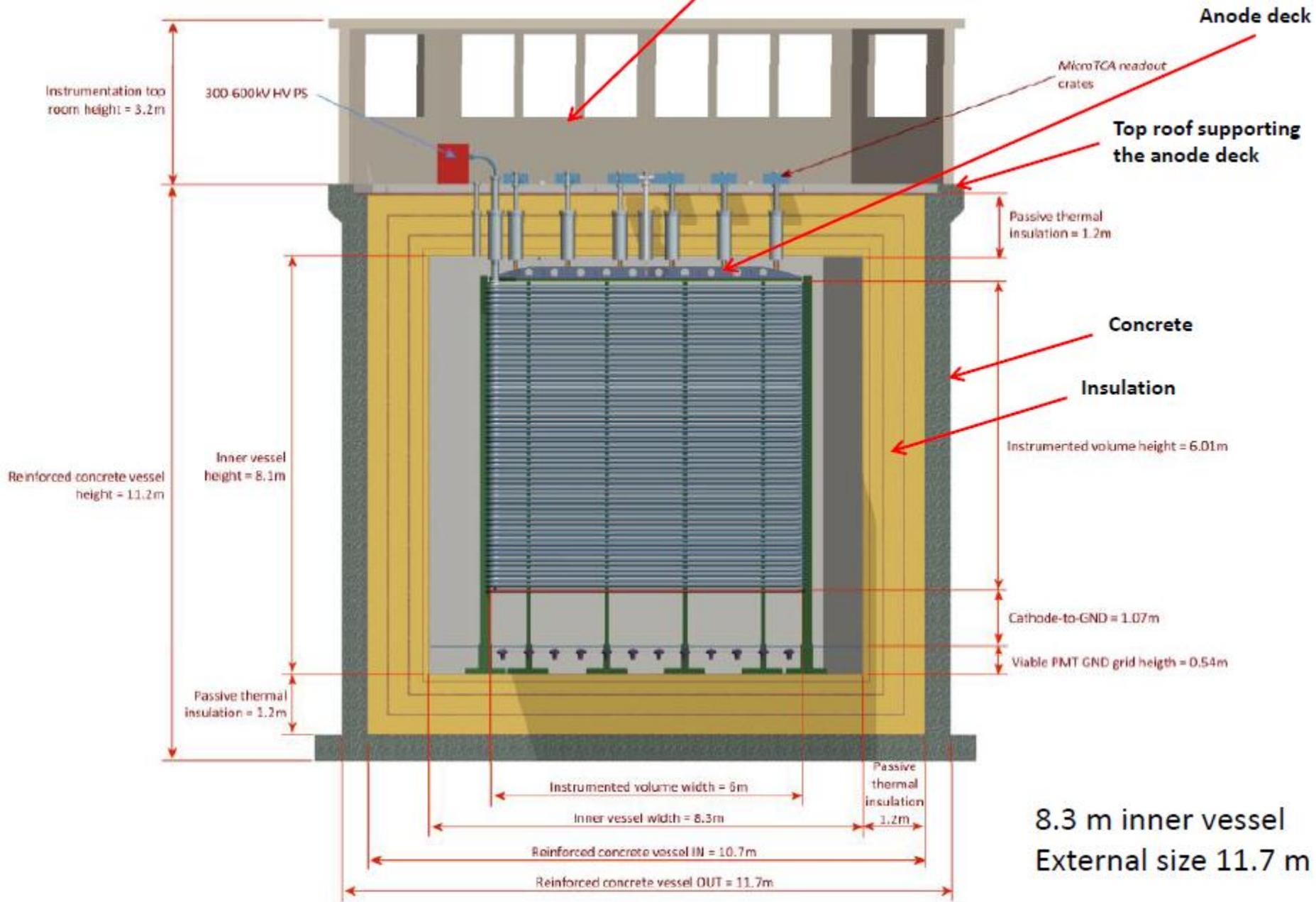
LBNO 20kton(5+5) + T2K(5+0) + NOvA(3+3) : 40-45% CPV at $>3\sigma$ C.L.

Overview of parameters

Liquid argon density at 1.2 bar	[T/m ³]		1.38346
Liquid argon volume height	[m]		7.6
Active liquid argon height	[m]		5.992
Pressure on the bottom due to LAr	[T/m ²]		1.05 (≡ 0.1 MPa ≡ 1.031 bar)
Inner vessel size (W x L x H)	[m x m x m]		8.288 x 8.288 x 8.108
Inner vessel base surface	[m ²]		67.6
Total liquid argon volume	[m ³]		509.6
Total liquid argon mass	[T]		705.0
Active LAr area (percentage)	[m ²]		36 (53.3%)
Active (instrumented) mass	[T]		298.2
Charge readout square panels (0.5m×0.5m)			144
Number of signal feedthroughs (640 channels/FT)			12
Number of readout channels			7680
Number of PMT (area for 1 PMT)			144 (0.5m×0.5m)

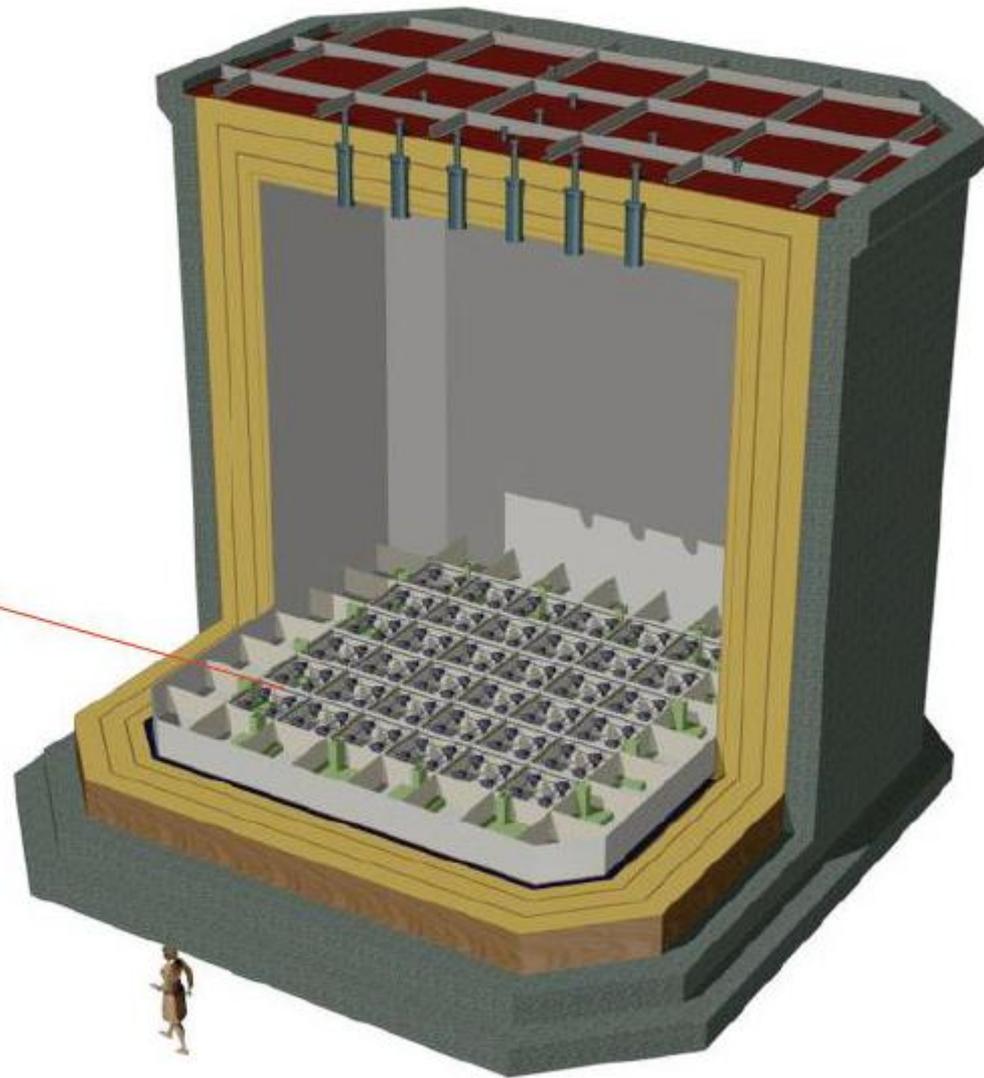
Vertical cross-section

Penthouse for electric, electronic, cryogenic instrumentation



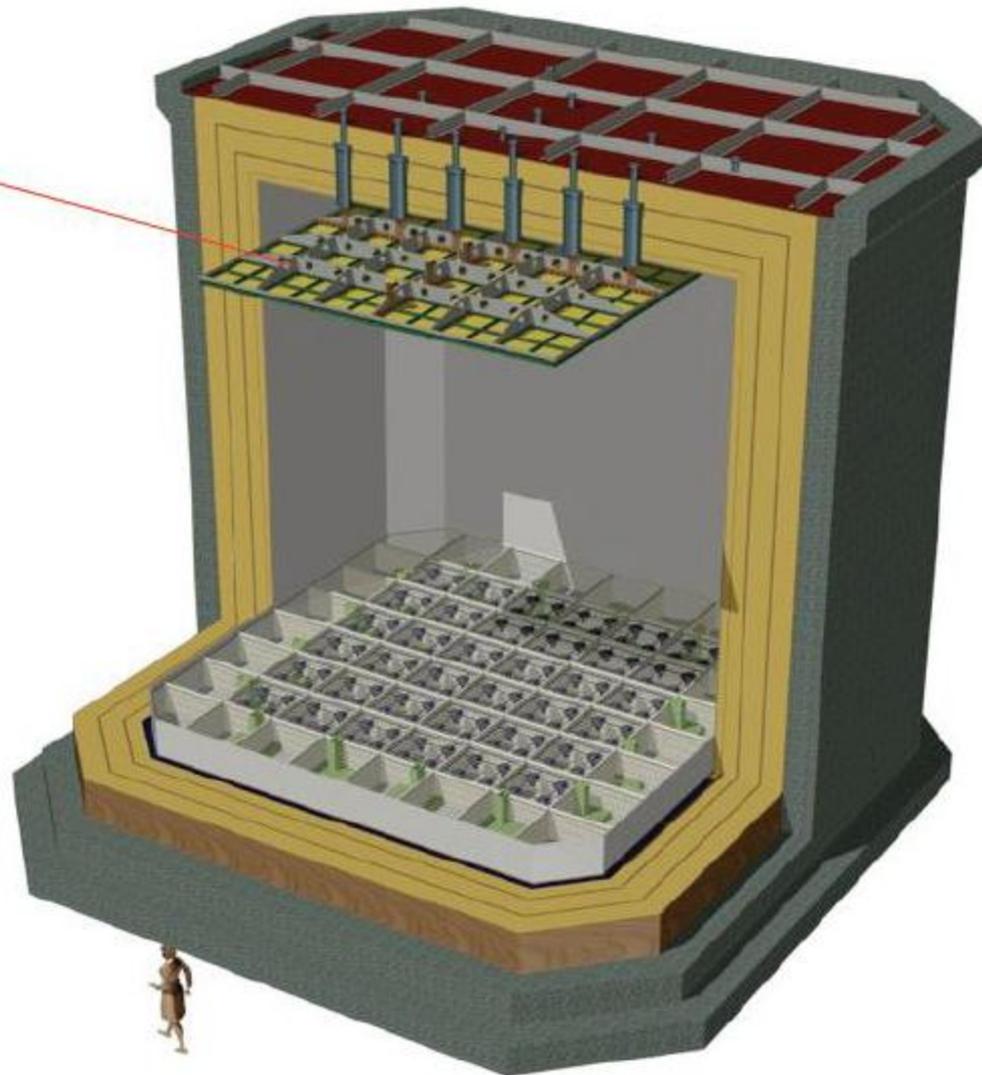
8.3 m inner vessel
External size 11.7 m

PMT array



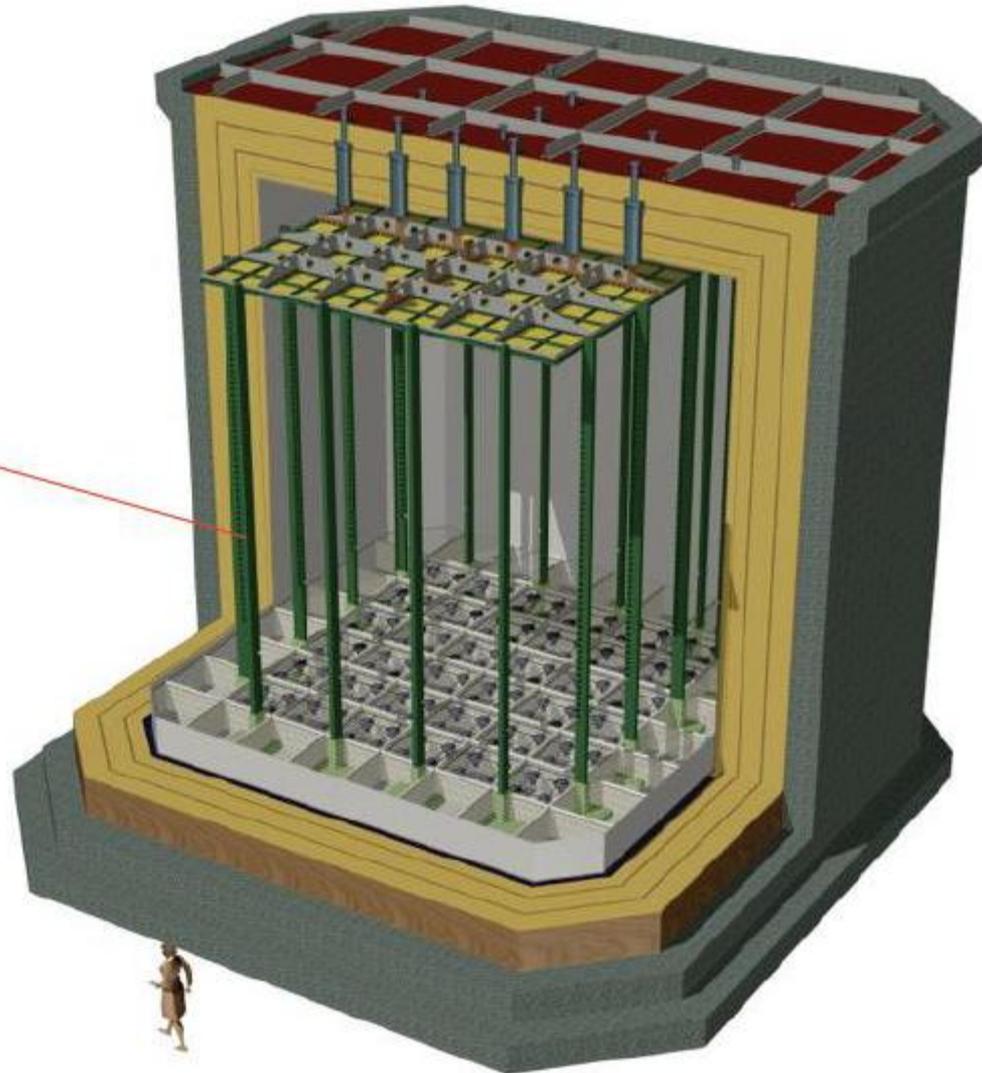
Readout anode deck

Top anode deck,
including charge
extraction grid, LEM,
2D charge readout
panels

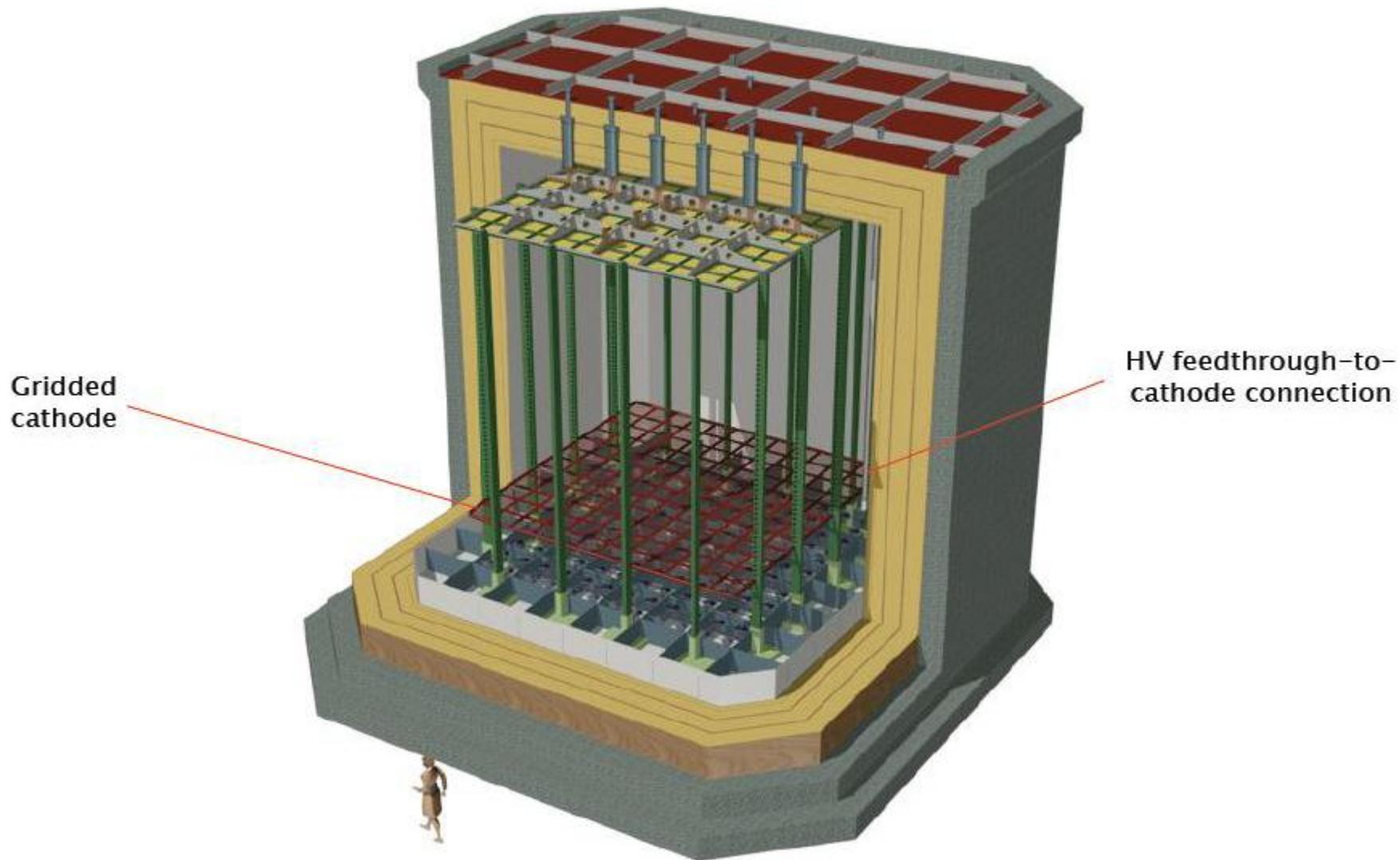


Field cage assembly (I)

R4 insulating supports for field cage electrodes



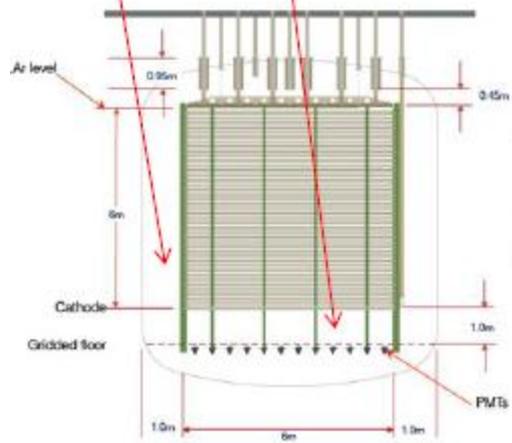
Field cage assembly (II)



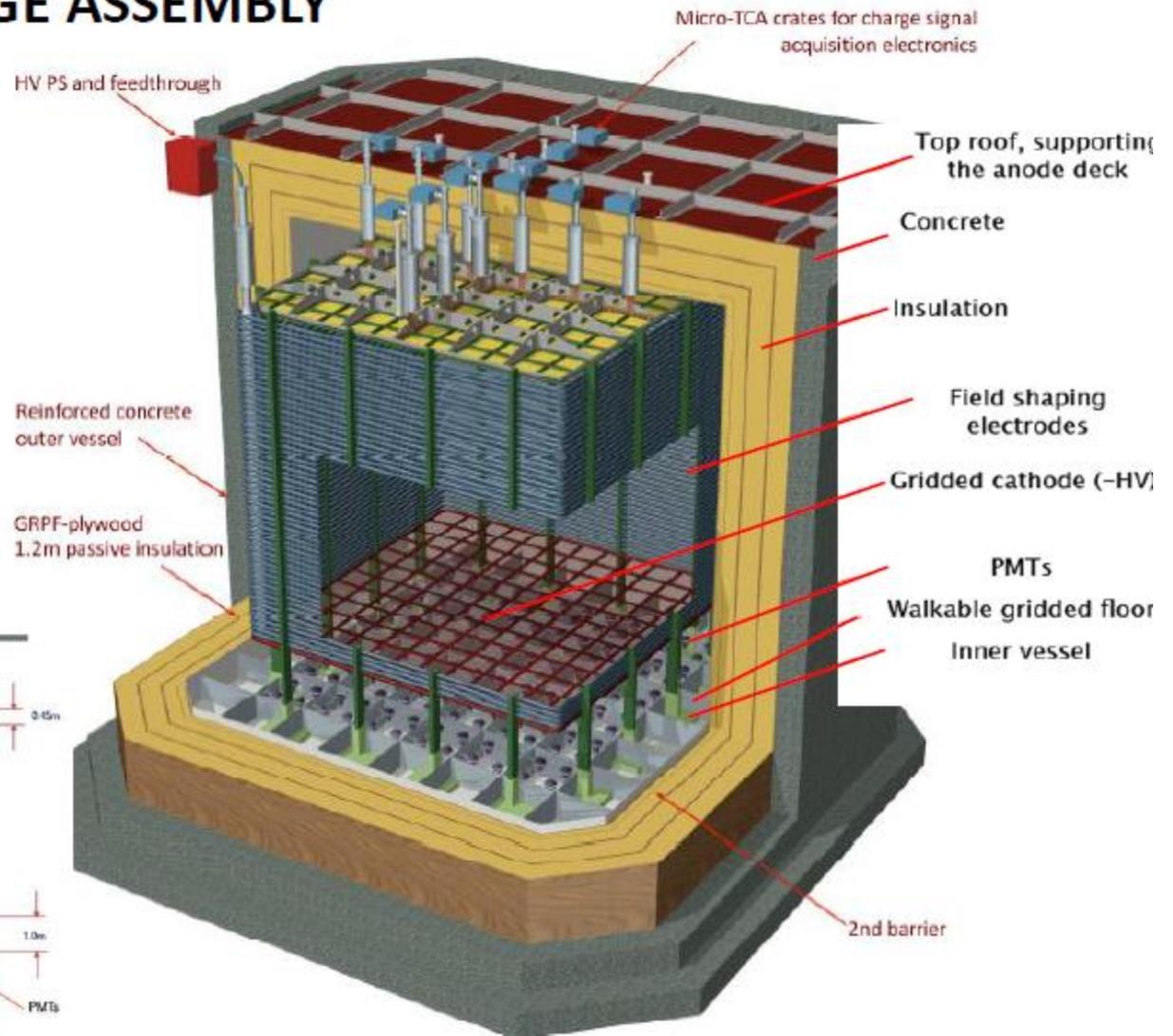
FINAL FIELD CAGE ASSEMBLY

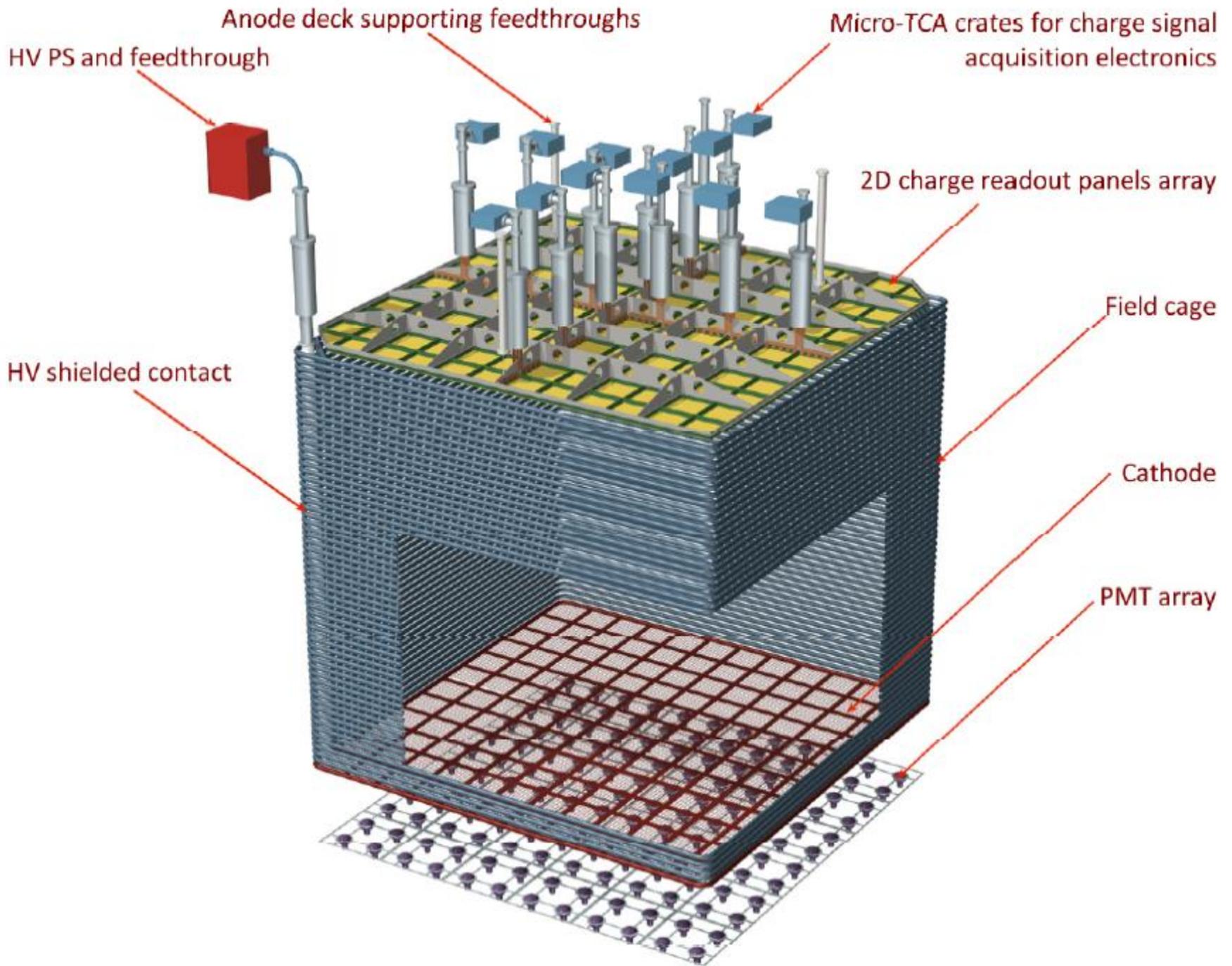
- 1 m distance field cage - walls

- 1 m distance cathode-PMTs



side view

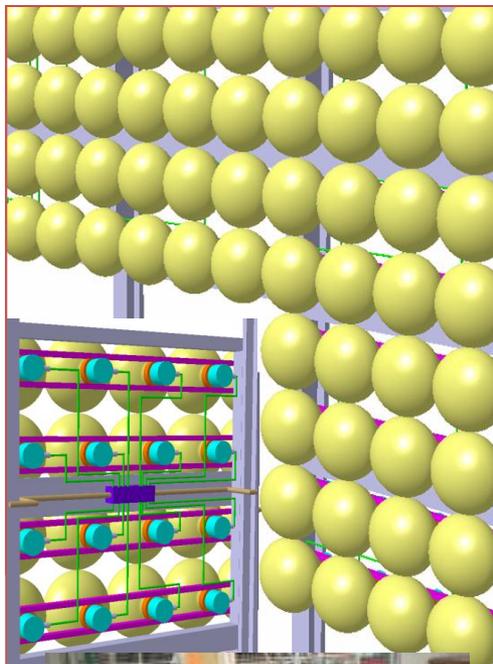




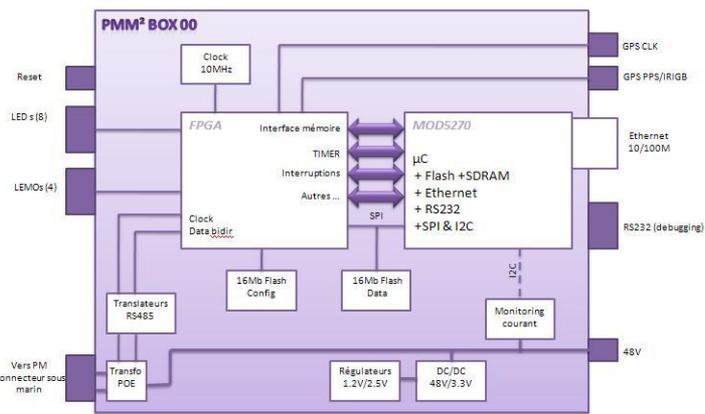
Activités proposées LBL:

Adapter PMm2 au proto avec environnement LAr

- Electronique innovante pour photo-détecteurs distribués en physique des particules et astroparticule
 - Mise en réseau des photo-détecteurs
 - 1 seul câble par groupe de PMTs (16 pour le démonstrateur)
- Engagements techniques du LAPP
 - Conception et réalisation de l'électronique d'acquisition
 - Choix et qualification électrique d'un câble sous marin de 100m



PMM² box : acquisition en surface

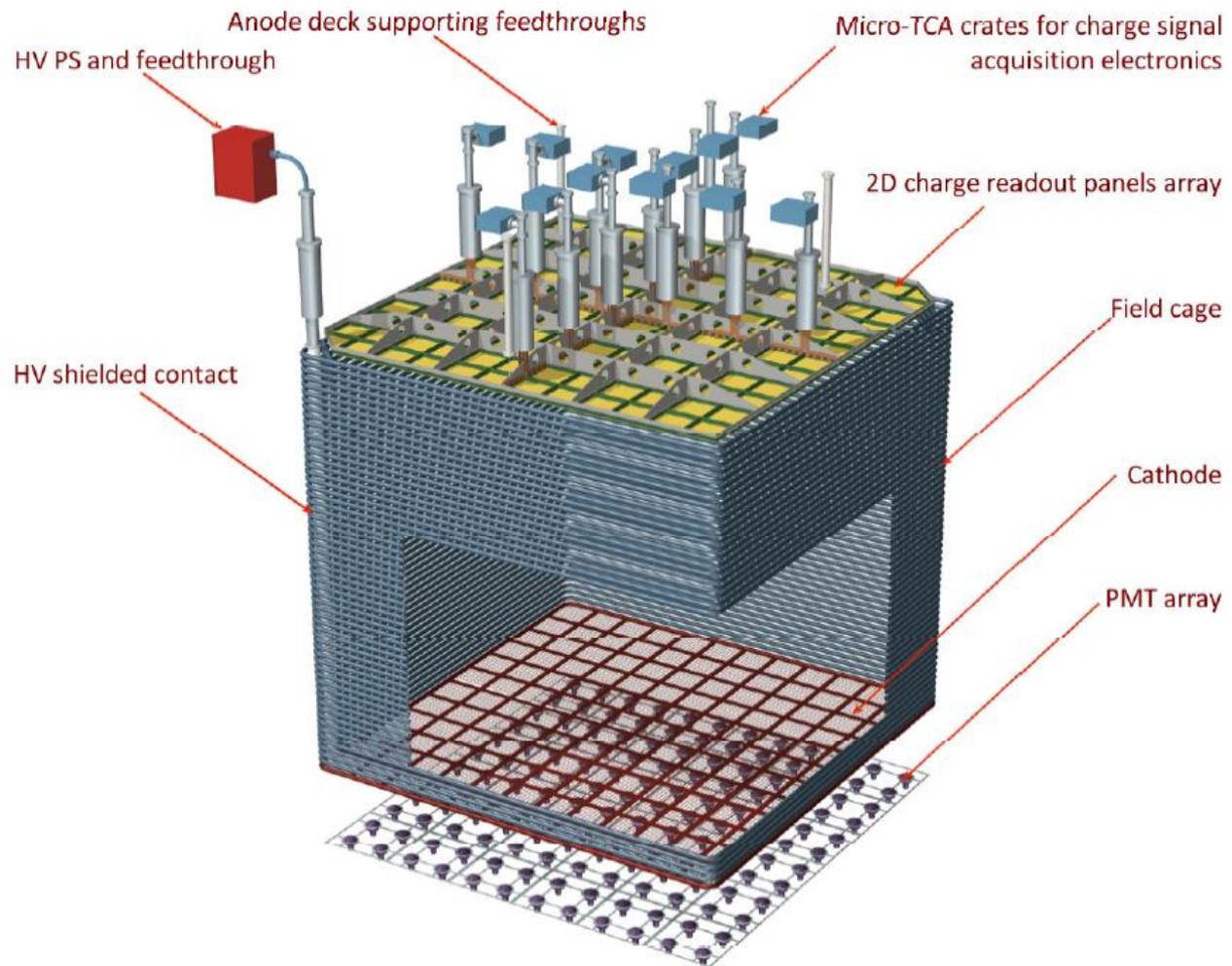


PMM² box : acquisition en surface



Activités envisagées LBL:

Automatisme; Système de control de positionnement du plan d'anode au dessus de la surface du liquide



Mécanique de la Field Cage électrodes / plan anode