



DUNE: Deep Underground Neutrino Experiment

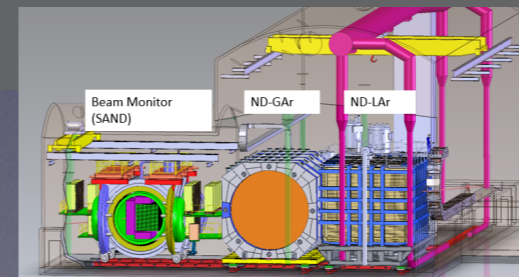
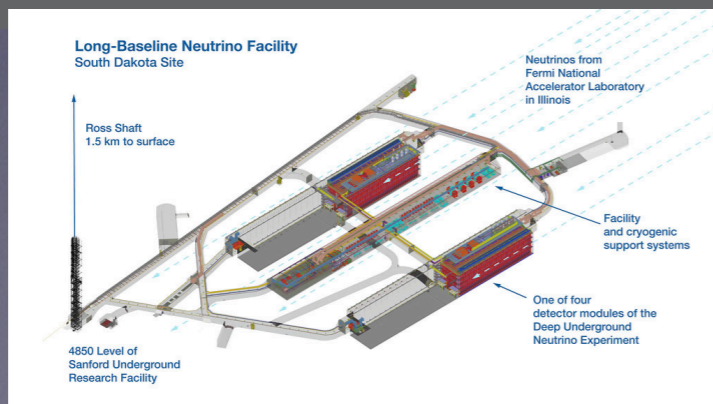
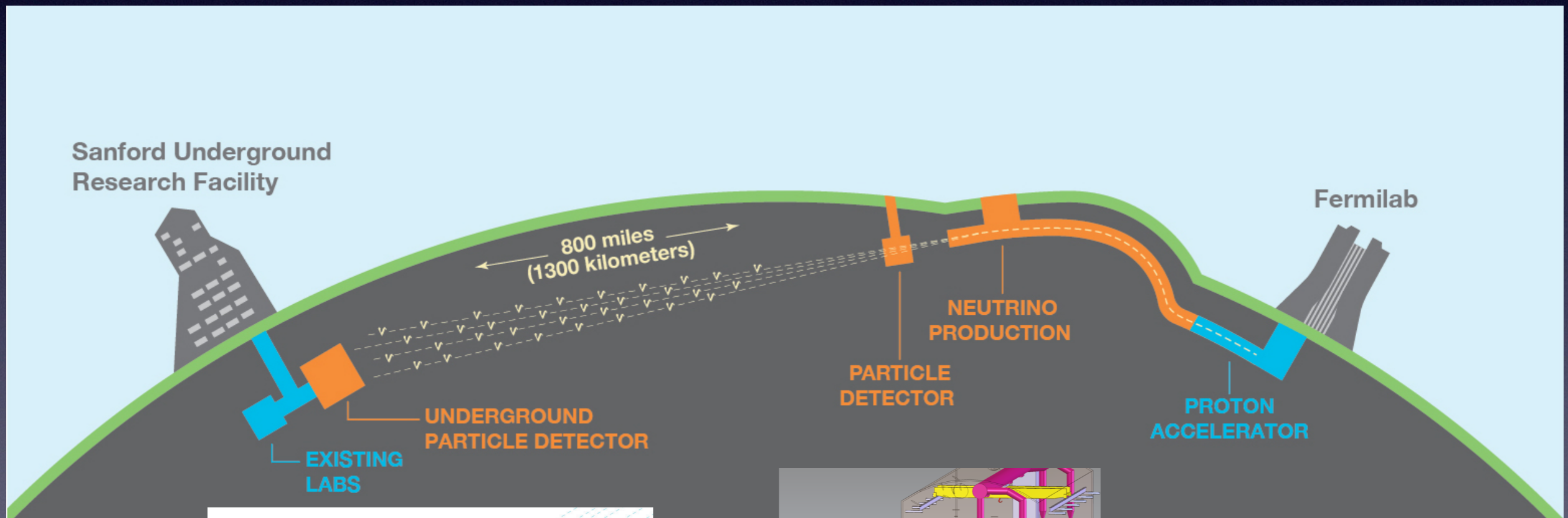
A.Meregaglia (LP2I Bordeaux - CNRS/IN2P3)

Conseil Scientifique du LP2I Bordeaux

15/02/2024

Introduction

- DUNE is a **long baseline neutrino oscillation experiment** with a baseline of 1300 km.
- The neutrino beam will be produced at **Fermilab** and detected in the **SURF** (Sanford Underground Research Laboratory) underground facility (1500 m overburden).
- The experiment consists of a 1.2 MW proton beam upgradable to 2.4 MW, a near detector complex (at about 570 m from the target), and a **40 kton far detector**. The far detector follows a staged approach of **four modules of 10 kton mass each**.



DUNE scientific goals

Neutrino
oscillations

CP violation in leptonic sector
Neutrino mass hierarchy
Precision measurements of oscillation mixing parameters

Proton decay

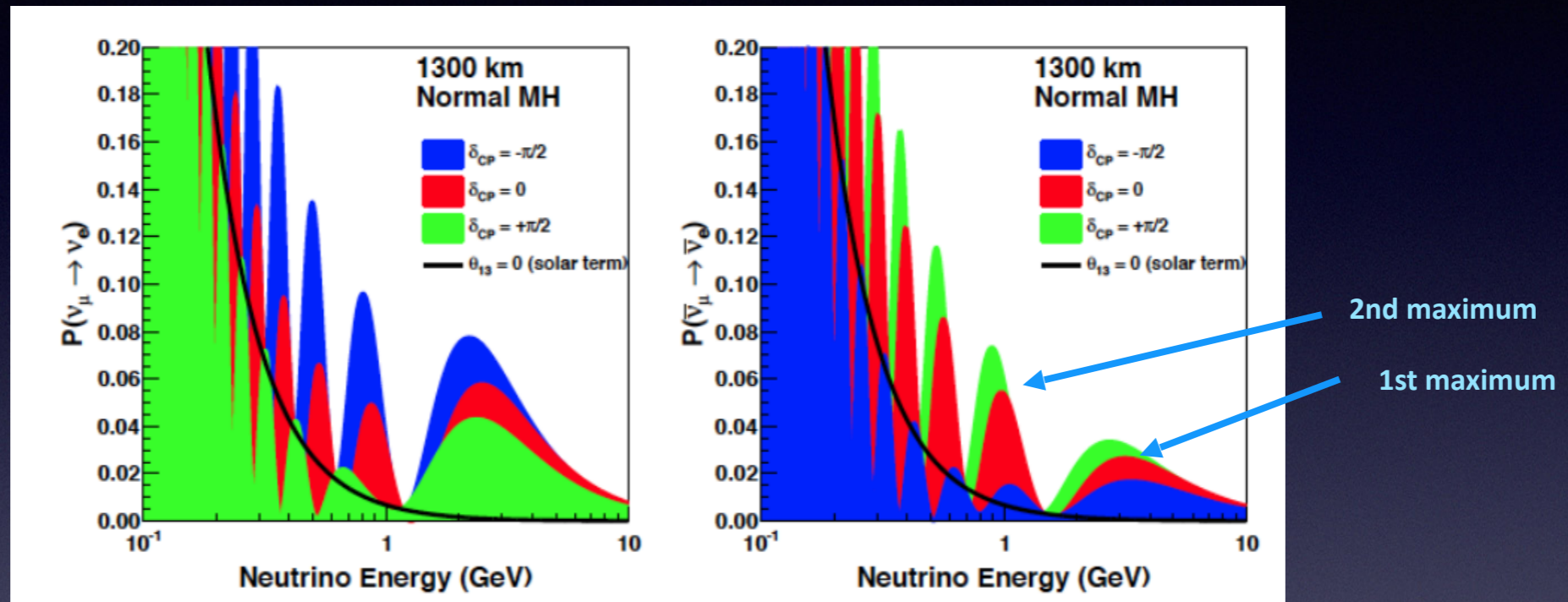
Predicted by BSM theories but not yet seen
Unique sensitivity to SUSY favoured mode ($p \rightarrow \bar{\nu} K^+$)

Supernova
neutrinos

Neutrino burst from galactic core-collapse supernova
Unique sensitivity to supernova ν_e 's

DUNE oscillation strategy

- Measure neutrino spectra in a wide band beam exploiting the spectral information and 2nd oscillation maximum.
- Study $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ oscillations both with neutrinos and antineutrinos.



- ν_e appearance probability depends on θ_{13} , θ_{23} , δ_{CP} and matter effects. All four parameters can be measured in a single experiment.
- Wide band beam and long baselines break the degeneracy between δ_{CP} and matter effects.
- DUNE is a unique experiment allowing performing CP search, mass hierarchy, 3 neutrinos phenomenology with also τ appearance, within the same set-up and with high significance for discovery, also providing a complete neutrino interactions final state reconstruction information.

DUNE oscillation strategy

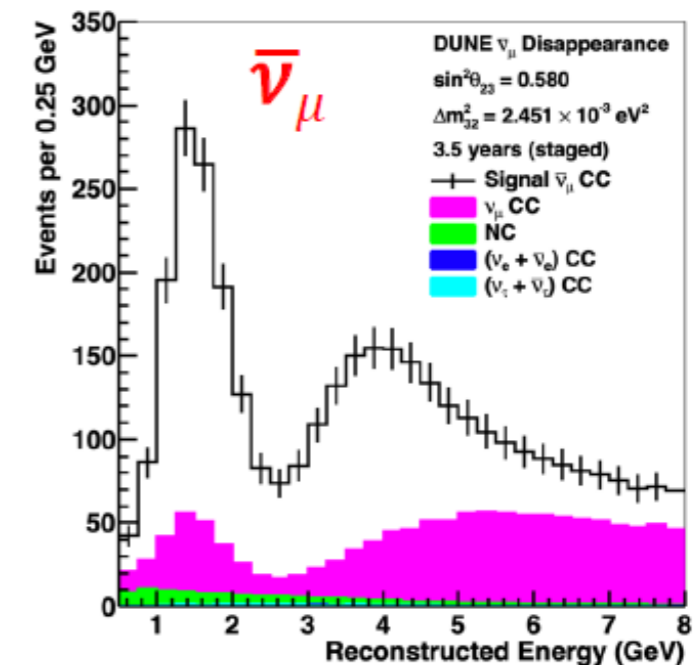
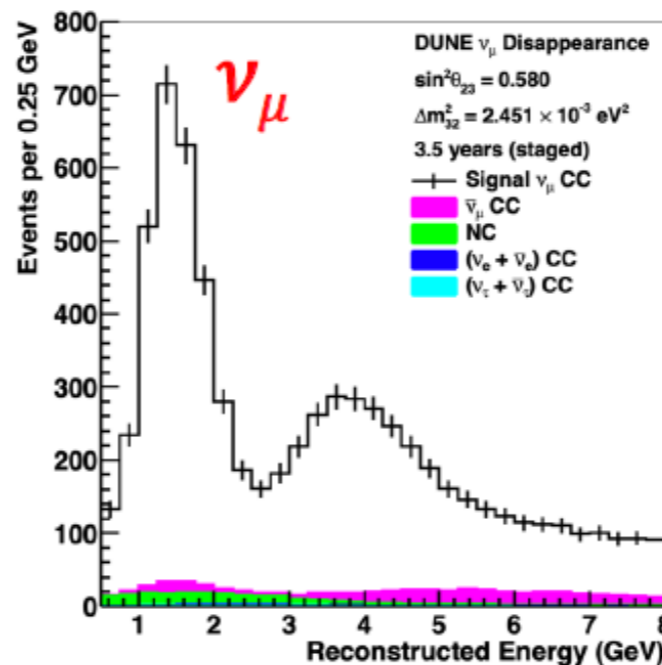
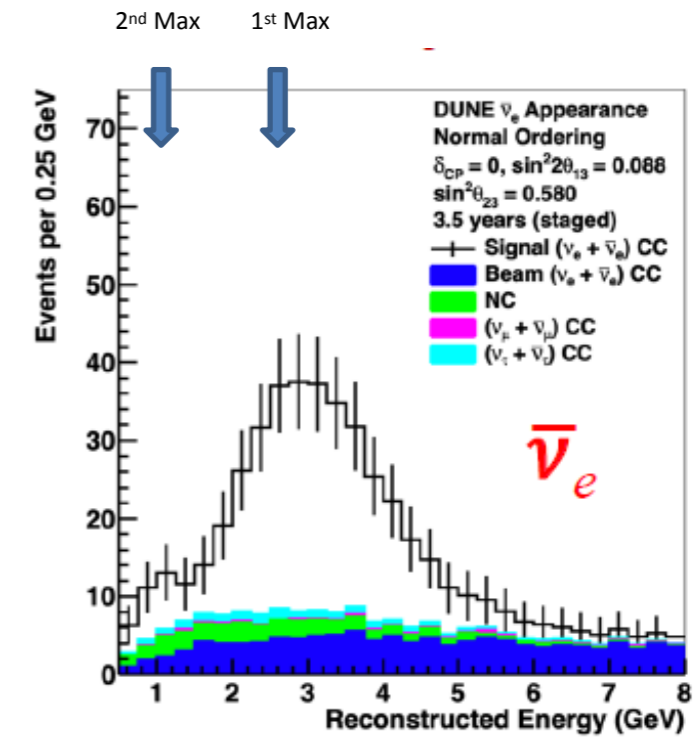
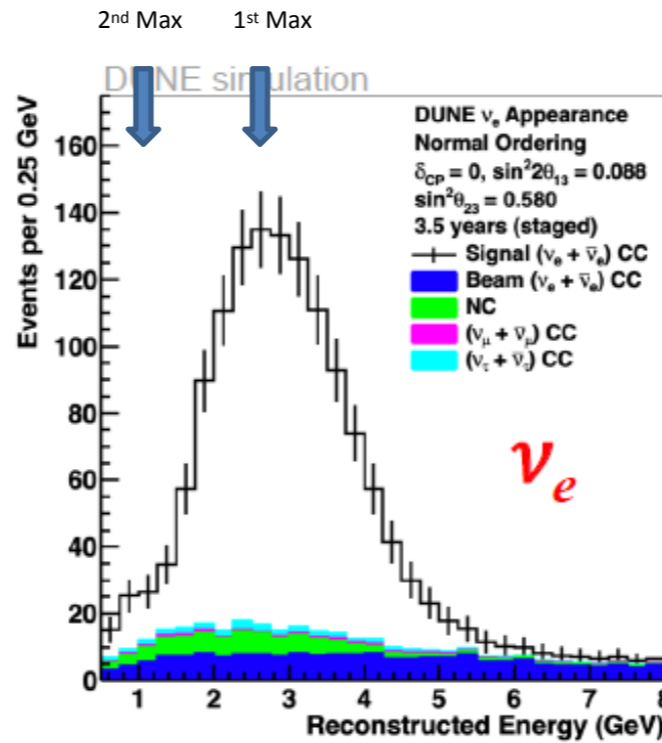
$\nu_e / \bar{\nu}_e$
appearance



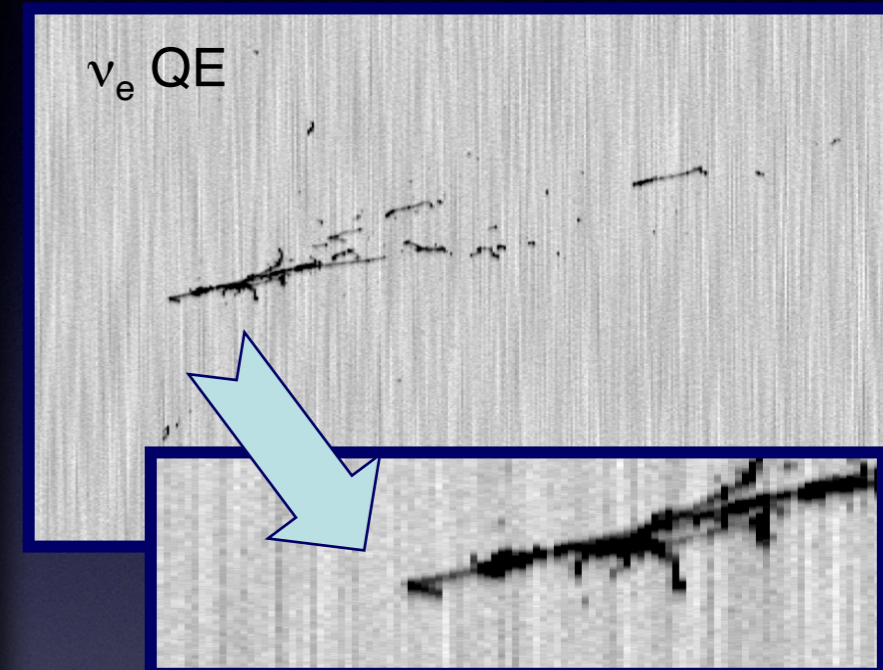
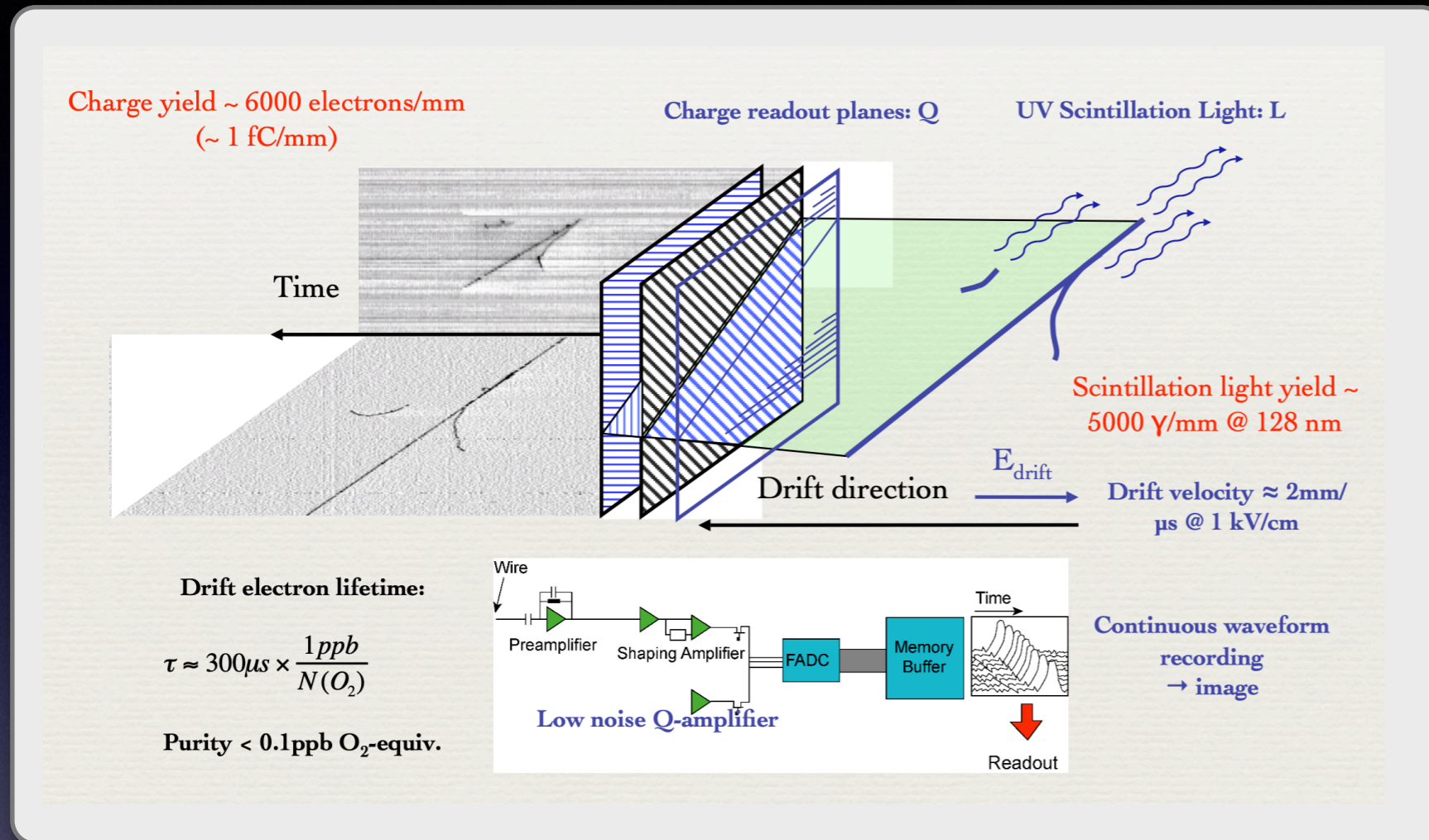
Fit 4 samples to
obtain oscillation
parameters



$\nu_\mu / \bar{\nu}_\mu$
disappearance



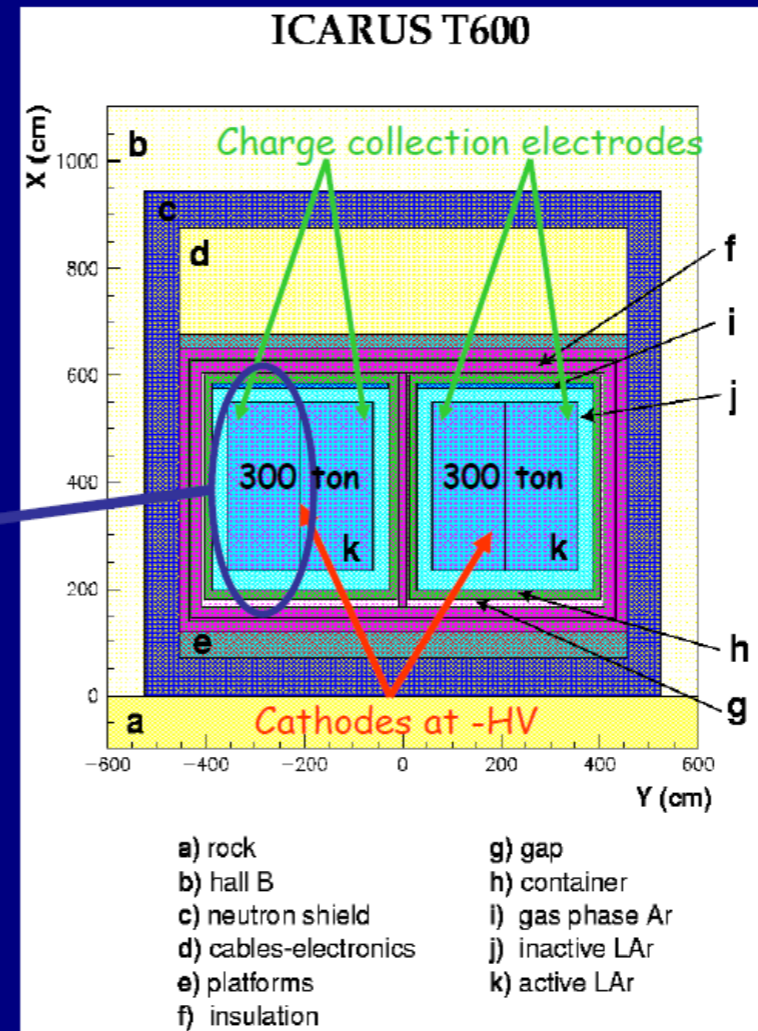
LAr TPC principle



- Proposed by C.Rubbia in 1977, it is a homogeneous massive target and ionization detector \rightarrow electronic bubble chamber.
- Ideal detector for neutrino oscillations, supernovae neutrinos and proton decay search:
 - Large mass, homogeneous detector, low thresholds, exclusive final states
 - Tracking + calorimetry (0.035 X_0 sampling with 5mm pitch)
 - Electron identification, π^0 rejection, particles identification with dE/dx

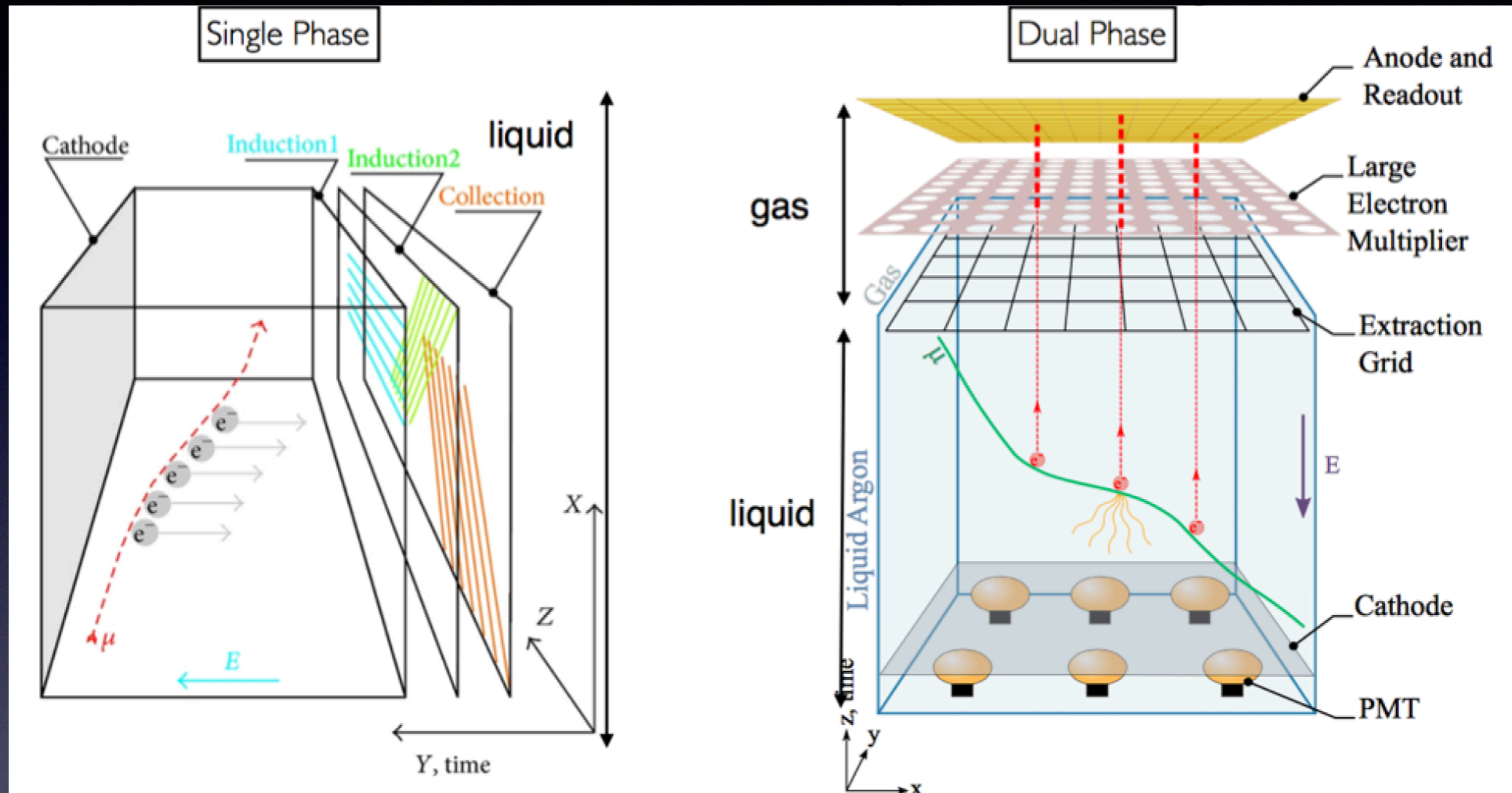
ICARUS

ICARUS T600 prototype (2001) exploited at LNGS and now at FNAL for the short-baseline program



- From the original paper on 1977 it took about 20 years to build a detector with 1.5m drift and a modularity of 300 ton per TPC.
- This concept with wire chambers is painful to scale at large dimensions $O(10 \text{ kton})$ as needed by DUNE.

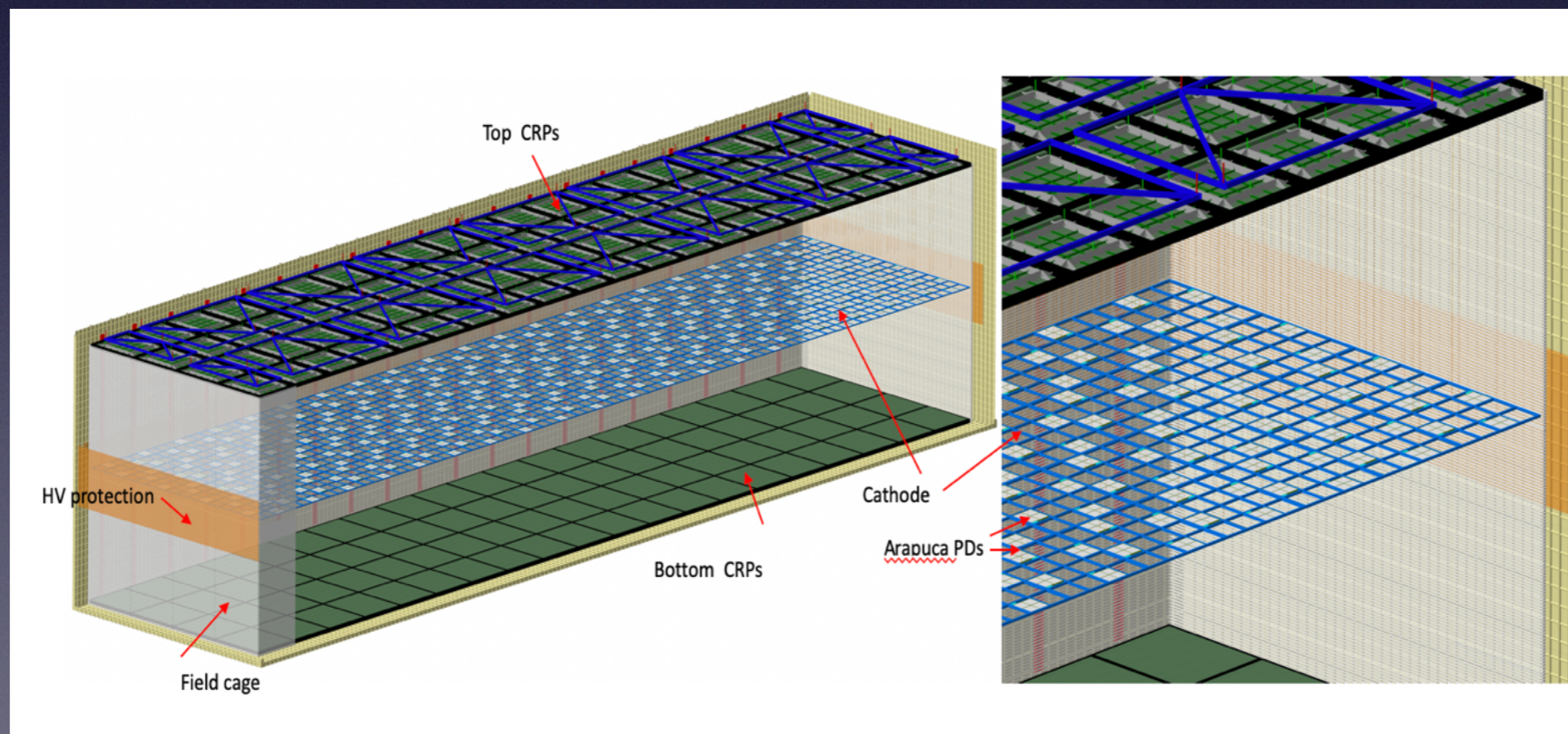
Single phase / dual-phase



- The dual-phase, investigated since 2006 and finally tested at NP02 at CERN in 2020 was the baseline for the second far detector module.
- The main advantages with respect single phase wire chamber (module 1 option) are:
 - **Gain in the gas phase.**
 - **Simplified dual-phase detector design** with vertical geometry, cheaper production and installation costs, simpler and faster installation.
 - **Full accessibility to electronics** and possibility of replacing also cryogenic front-end (FE) electronics during detector operation.

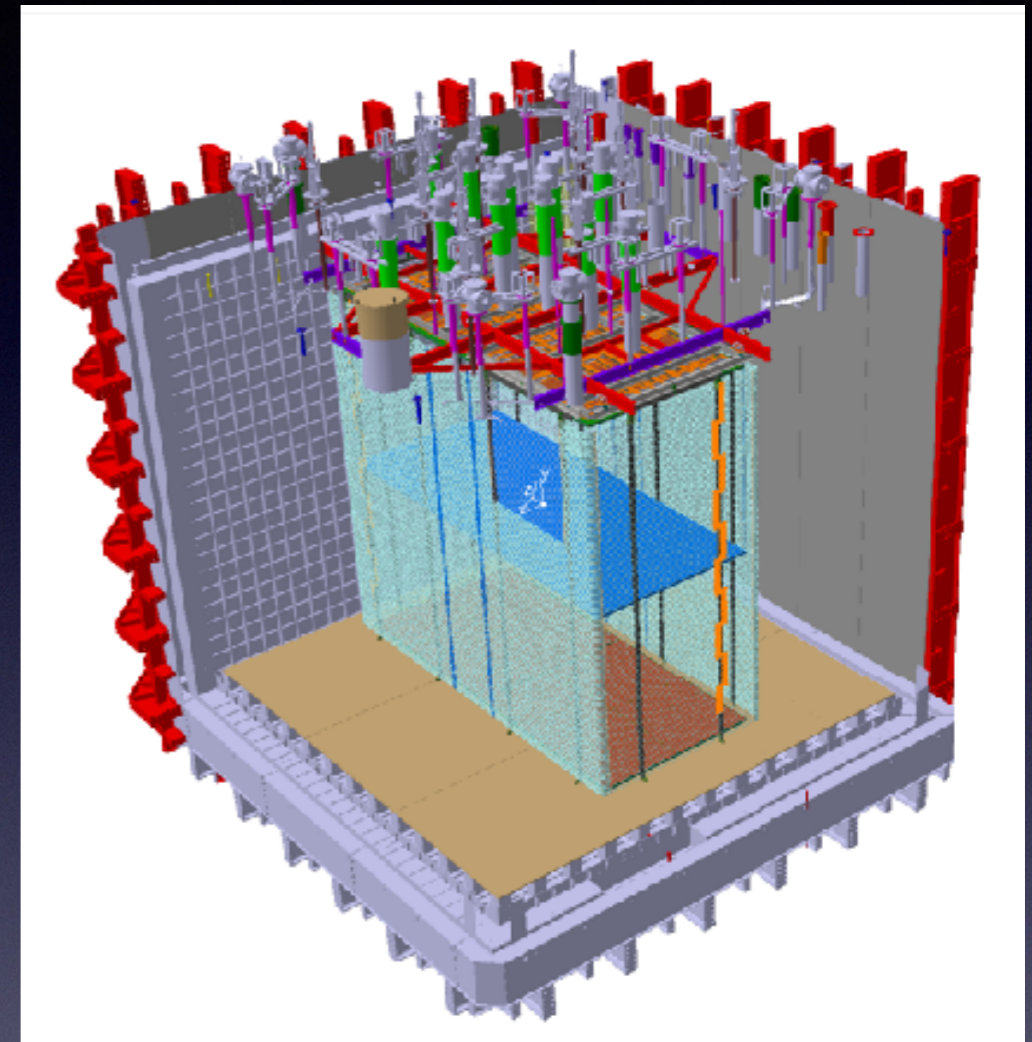
Vertical drift

- Despite the successful proof of principle of the dual phase, operation was more complicated than expected: in particular CRP stability and bubbling of Ar at the LAr surface resulted in sparks affecting the detector operation stability.
- **A vertical drift single phase solution was chosen** conserving the advantage of FE accessibility.
- The gain of about 6 was also recovered modifying the readout strip pitch and not splitting the charge between two collection views.



Module-0

- The vertical drift design has been completely validated at CERN in the cold-box tests 2021-2022 and for what concerns the HV in a second operation run of NP02 in 2022.
- NP02 has been successfully exploited in 2023 as integration exercise of the vertical-drift components.
- It is foreseen to operate NP02 vertical drift module-0 since the summer 2024 with cosmics and then beam in 2025 (opportunity for students and young members)
- The far detector installation is foreseen in 2027.



LP2IB contributions

- The LP2IB plans to contribute on 3 different aspects: the front end electronics of the vertical drift, the french management of the project and the physics simulation and analysis

Electronics

Work in cooperation with IP2I Lyon for the test and production of front end electronics

Management

National technical coordination assured by LP2IB (C.Cerna)

Physics

Start working on the neutrino energy reconstruction with IP2I and APC

Coordination of the Long BaseLine (LBL) french working group

Top drift electronics

- The electronic for the top part of the vertical drift detector is under the responsibility of IN2P3.

The top-drift CRPs electronics is based on **two main elements** with **64 ch modularity**:

- **The analog cryogenic FE cards** accessible in the chimneys → **3840 units**
- **The AMC digitization cards** in the uTCA crates → **3840 units**

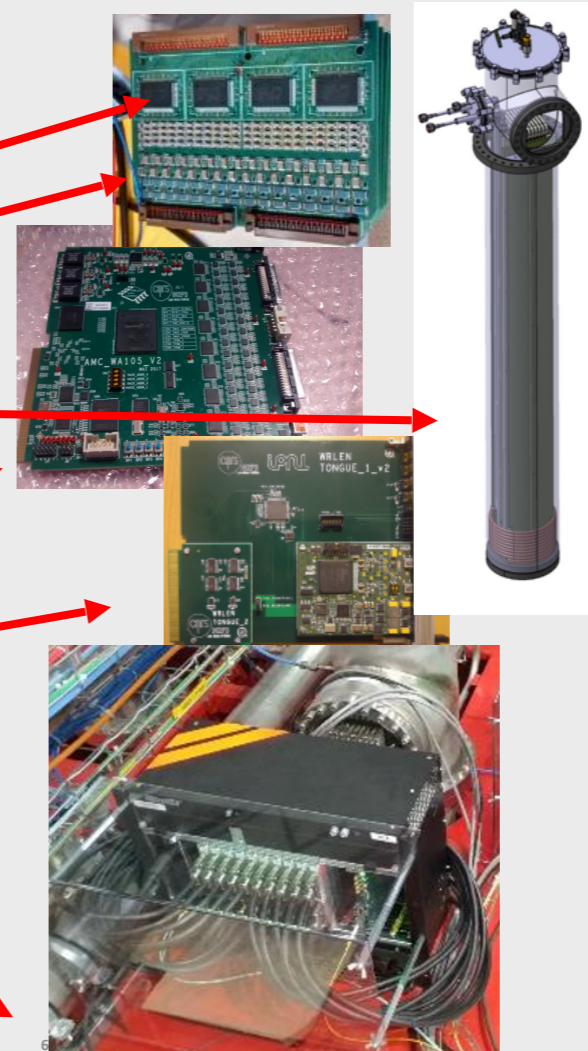
Total number of charge readout channels: **246k**

Analog:

- Cryogenic ASICs (16 ch): **15360**
- Cryogenic FEB cards (64 ch): **3840**
- 24/48 Cards Chimneys: **105**

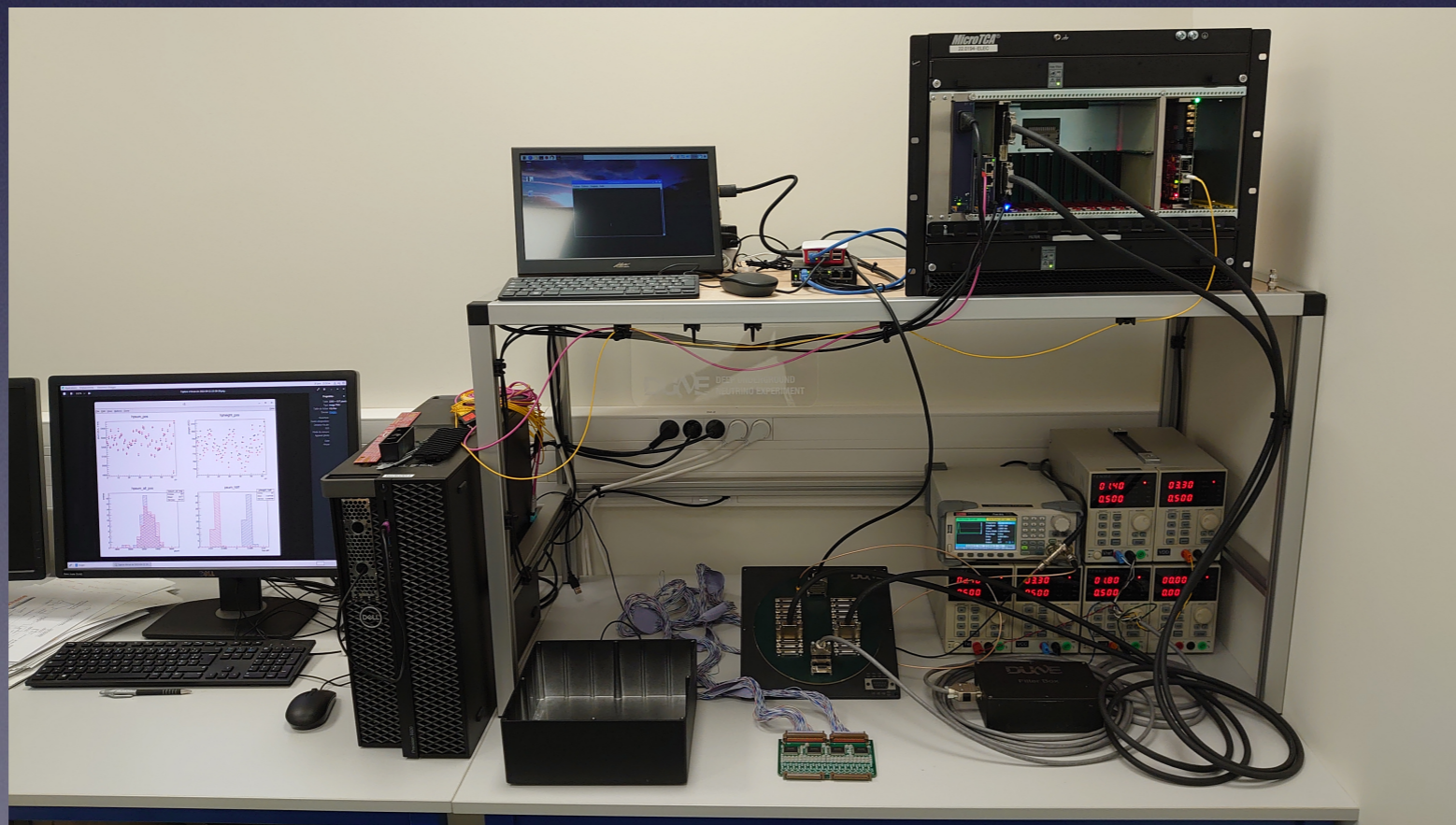
Digital:

- AMC cards (64 ch): **3840**
- uTCA White Rabbit MCH: **320**
- uTCA crates (including MCH,PU,FU): **320**
- 40 Gbe optical links to backend: **320**



Electronics at LP2IB

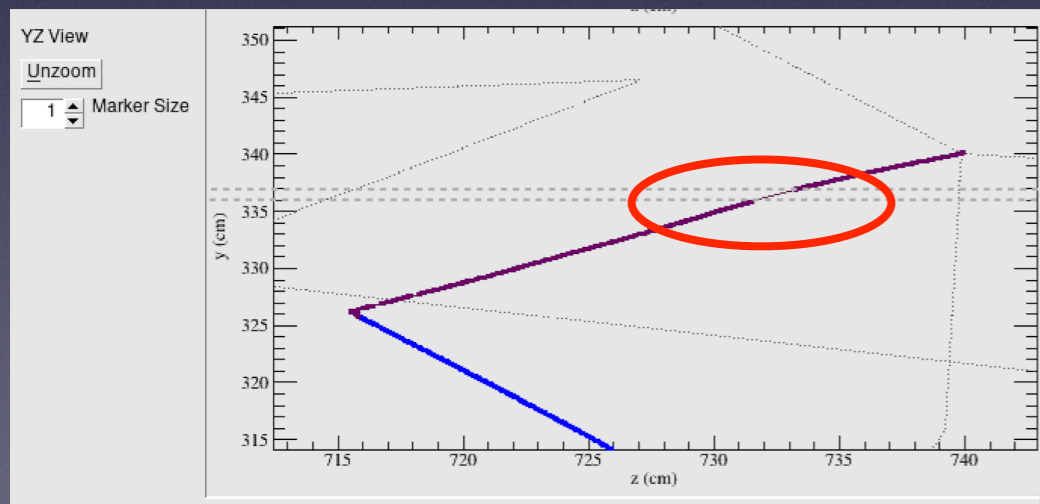
- Since 2021 the LP2IB electronics service worked with IP2I to prepare the production and testing phase of the electronic cards.
- Under the coordination of P.Hellmuth, a copy of the test bench of IP2I was reproduced at LP2IB and it is fully operational since December 2022.
- Tests will be equally shared between LP2IB and IP2I.
- Each lab is however in charge of specific items, and they should prepare the tenders and the procurement of the different components. LP2IB is in charge of the FE and of the time stamp card.
- The first batch of cards to be tested will arrive by the end of 2024. The test and production phase will last about two years and the delivery on site for the detector assembly is expected in 2027.



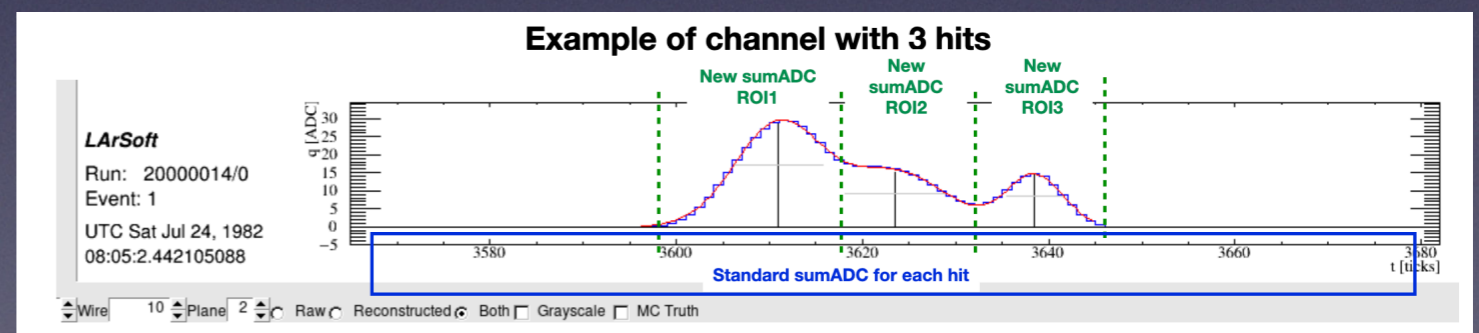
Physics at LP2IB

- In 2023 the LP2IB joined officially the DUNE collaboration.
- The first year was a transition to get used to the DUNE software framework.
- We are increasing now our FTP and we started working on neutrino energy reconstruction.
- LP2IB is in charge of the “long baseline” working group (A.Meregaglia) and a work on the neutrino energy reconstruction is ongoing in strong collaboration between LP2IB, APC and IP2I.

Study of the impact of CRP gaps on the energy reconstruction



Study of the hit charge reconstruction in the VD detector



Management at LP2IB

- In 2022 C.Cerna was appointed national technical coordinator.
- To make sure that the project stays on track he rely on the help of L.Serani, who is in charge of project control at LP2IB and has a FTP of 0.5 on the project.

Funding and manpower

- The DUNE funding comes from two different sources: the FEI IN2P3 support for physics activities, as any other master project, and the IR* construction funding coming directly from the ministry.
- IR* accounts for more than 20 millions euro (2021-2027) and has been funding the vertical drift module prototyping and construction, including the production of the FE and the white rabbit cards.
- From IN2P3 the LP2IB received the necessary money to participate to the different national and international meetings. For 2024 the received budget is 15 keuro.

Name	Role	Task	FTP 2023	FTP 2024	FTP 2025
A. Meregaglia	DR	Local responsible French LBL WG coordination Simulation/Analysis	0.15	0.3	0.5
C. Cerna	IR	National technical coordinator	0.5	0.8	0.8
C. Jollet	MdC	Simulation/Analysis	0.1	0.2	0.4
Total			0.75	1.30	1.70
P. Hellmuth	IR	Local technical coordinator Electronics test and production	0.3	0.5	0.5
R. Bouet	IE	Electronics test and production	0.2	0.5	0.5
L. Serani	IR	projet control	-	0.5	0.5
Total			0.5	1.5	1.5

36 months CDD foreseen by the end of 2024 for QC electronics

RH support asked to LP2I

- The group will need reinforcements to be able to gain and maintain a good visibility in such a large collaboration and we would like to have a CR recruitment devoted to DUNE.
- The FTP of present physicist is bound to increase in time but other ongoing activities are still demanding at the moment (JUNO will start data taking in 2024).
- Moreover the help of PhD students would be important to keep the group dynamic and attractive.

Conclusions

- DUNE project has a well established roadmap worldwide and at the IN2P3 level.
- The participation of LP2IB will give an additional hand to the project making sure that all the deliverables will meet the timescale.
- Our integration in the collaboration is a slow process but we are now starting to produce the first analysis results and we will soon play a central role in the electronics production.
- The electronic production is well covered in terms of FTP considering the 36 months CDD foreseen by the end of 2024. Extra help on the physics side will be beneficial to allow the group to stand out in a very large collaboration. This could come from the help of a CR and PhD/PostDocs.

QUESTIONS

Questions Corinne (1)

- Q: L'intérêt scientifique du projet ne fait aucun doute, on peut donc encourager la participation du groupe Neutrinos.
Le démarrage est lointain (2030), mais l'investissement doit être immédiat.
On note d'ailleurs la montée en puissance des FTP sur les 3 activités pour 2024.
Triplement de 0,5 à 1,5 FTP pour l'électronique, doublement de 0,25 à 0,5 FTP pour les activités scientifiques, et la contribution de Cédric pour la coordination passe de 0,5 à 0,8 FTP.
- Peut-être plus par rapport au service électronique : est-ce que ça bloque les ressources pour d'autres projets existants et/ou à venir. Le projet R2D2 utilisait aussi les ressources en électronique, et même si ce ne sont pas les mêmes personnes, est-ce que ça enlève des ressources à ce projet par exemple ? Le CDD de 36 mois pour les tests de l'électronique est-il affecté au service électronique, au groupe, seulement pour DUNE parce que payé par l'IR* ?
- A: Les personnes du service électronique sont à mi-temps sur R2D2 aussi. Les deux projets peuvent continuer en parallèle (suite de R2D2 moins claire que celle de DUNE). Quant à d'autres projets futurs évidemment la participation dans DUNE peut réduire la disponibilité des FTP disponibles.
- Le CDD de 36 mois est seulement pour DUNE, affecté au service électronique avec une tâche précise liée aux tests des cartes électroniques.

Questions Corinne (2)

- Q: En ce qui concerne Anselmo, Cécile et Cédric, ils sont aussi impliqués dans JUNO, avec des responsabilités importantes pour Cécile dans l'AFG Simulation : l'augmentation des FTP dans DUNE diminue-t-elle la contribution à JUNO (ou à R2D2 pour Anselmo, avec cette responsabilité de groupe de travail « Long baseline » en plus – c'est national ? international ?) ?
- A: La participation sur DUNE aura forcément un impact sur JUNO mais cela a été pris en compte et mitigé depuis le début:
 - Cédric a mené à terme son rôle de coordinateur technique des small PMT et on est maintenant en phase d'installation, il a donc rempli son contrat.
 - Cécile a un rôle important dans JUNO avec la responsabilité de l'AFG. C'est pour cela que elle monte ses FTP très doucement et on a négocié avec l'IN2P3 une aide de transition: une thèse a démarré en septembre 2023 et un PostDoc JUNO demarrera en septembre 2024. Avec cette aide supplémentaire Cécile pourra continuer à coordonner l'analyse de JUNO au LP2IB en dégagant du temps pour être de plus en plus présente sur DUNE.

Questions Corinne (3)

- Anselmo a toujours eu une participation marginale sur JUNO mais il est fortement engagé sur R2D2. R2D2 vient de soumettre une publication avec la résolution en énergie en xenon jusqu'à 6 bar et argon jusqu'à 10 bar. Cette phase de R&D est pratiquement terminée et Anselmo peut libérer du temps pour DUNE. R2D2 pourra à nouveau reprendre de la place mais la stratégie est une montée en puissance avec une collaboration bien établie et financée, chose pas faite aujourd'hui. Si on y arrive Anselmo partagera son temps sur ces deux expériences.

Questions Corinne (4)

- Q: Le CS les voit presque individuellement, mais le groupe Neutrinos est sur les projets DUNE, JUNO, LiquidO, R2D2 et SuperNEMO (dans l'ordre alphabétique et de ce qu'on en a vu ou prévu de voir). Un recrutement CR est demandé pour la suite. Sur DUNE ? Sur plusieurs projets du groupe ? J'aimerais l'avis d'Anselmo, responsable du groupe Neutrinos, sur la manière dont ça pourrait s'articuler si tous les projets continuent.
- A: On est beaucoup sur plusieurs projets effectivement mais notre overlap est de moins en moins fort et les intérêts personnels sont assez bien séparés. Ceci dit le CR demandé est pour renforcer DUNE au plus vite et donc 100% sur cette activité.

Questions Jean-Pierre (1)

- Q: il est fait mention d'un WG « long-baseline » dont Bordeaux a la charge : est-ce au niveau national, ou de DUNE ? Quelles sont ses attributions ?
- A: Au niveau National on cherche à organiser l'analyse de façon coordonnée. La coordination est assurée par A.Tonazzo (APC) et il y a 6 working groups dont un lié à l'analyse sur les neutrinos des faisceaux que A.Meregaglia coordonne et dans lequel on travaille sur la reconstruction de l'énergie du neutrino. Actuellement on est 4-5 à travailler sur cela et on rapporte nos avancés aux meetings de DUNE France (tous les 2-3 semaines).
- Q: il est fait mention de 15 keuros de budget 2024 : ce sont uniquement les missions je suppose ? L'argent IR sera payé directement aux fournisseurs par le CNRS (ou le ministère?). Le CDD sera basé à Bordeaux ou Lyon ? Il y a d'autres CDDs sur les 20 millions ?
- A: Les 15keuro couvrent seulement les missions. (7keuro additionnels sont donnés à C.Cerna pour les missions liées au project management). Le CDD sera basé à Bordeaux et il y aura aussi un CDD basé à Lyon toujours payé sur le budget IR*. Sur le même budget il y aura 2 AI sur 2 ans au LPSC et 2 AI sur 2 ans à l'IJCLAB.

Questions Jean-Pierre (2)

- Q: Comment les FTP s'articulent avec JUNO et SuperNEMO ?
- A: Il n'y a pas d'overlap avec SuperNEMO. Avec JUNO la transition est plus compliquée en particulier pour Cécile comme discuté dans la question de Corinne.
- Q: les technologies des deux autres modules (phase II) sont-elles figées ou encore susceptible d'évoluer ? Bordeaux envisage-t-il une contribution ?
- A: Les technologies ne sont pas figées même si la probabilité d'un troisième module vertical drift est discutée. Il faudra figer cela au plus tard en 2027. L'IN2P3 n'envisage pas une participation financière pour la construction du troisième et/ou quatrième module mais on pourra aider avec notre know-how si la technologie choisie est la même que celle utilisée pour le module 2.