

RÉSUMÉ DU WORKSHOP GRANULAR

Nicolas Morange

April 22, 2022



R&D calo à liquide noble pour FCC

- Commencée vers 2016 pour FCC-hh
- Tournée vers FCC-ee depuis 2019
- CERN EP R&D, AIDAInnova (CERN, IJCLab, Prague), et quelques autres contributeurs sur des aspects de simulation/performance
- Différents aspects de R&D techniques ; intégration au software FCC ; études de performance

Workshop GranuLAr

- Première fois que l'ensemble de la communauté autour du projet était réunie ensemble
- Tour d'ensemble des avancées sur les différents aspects
- Retours d'expérience d'ATLAS de la part d'experts du calo
- Réflexion et discussion autour du projet à moyen terme
 - Évolution vers un Detector concept
 - Route vers un prototype à tester en faisceau



- 3 jours de réunion (4 demies-journées)
- Organisé à IJCLab: <https://indico.ijclab.in2p3.fr/event/7664/>
- Jusqu'à ~ 25 participants aux sessions
- Discussions animées sur tous les sujets
- Sessions:
 - Design général et aspects techniques / mécaniques
 - Options de design et performance
 - Électrodes de lecture
 - Électronique
 - Software et simulation

- Bruno Mansoulié: Design / construction / operation of the ATLAS LARG EM barrel
- Guillaume Unal: Simulation and digitization of the ATLAS calorimeter
- Marco Delmastro: Reconstruction & Calibration of the ATLAS LAr EM Calorimeters
- Very useful talks, full of acquired knowledge !
- Even people with 10 years of ATLAS experience (e.g me) learned a lot !

EM mechanics

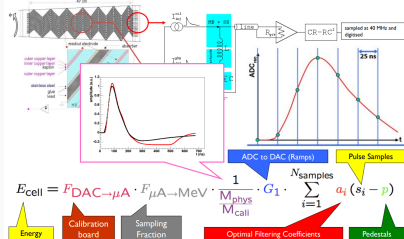
- Careful design: simple, simple fabrication processes, built-in accuracy
 - Of course careful with ΔT between ambient and LAr for all designs (SS: 3mm/m)
- Absorbers
 - Lead plates:
 - measurement during production at milling factory (home-made X-ray system)
 - measurement of all plates (ultra-sound)
 - pairing of plates to minimize constant term. Impact estimated real-time
 - Prepreg : careful QC at factory
 - Steel: careful selection of surface treatment
 - Bending machine: clever design for good accuracy (thanks JL Chevalley!)
 - QC: 3D measurement of all absorbers



Bruno Mansoulié, GravitAr wkp 6 Apr 2022

8

From digits to “raw” energy in a cell

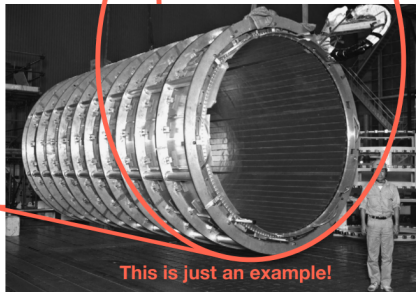


- Belles perspectives pour un solénoïde fin soit devant soit derrière un calo EM
- Mais il faut d'abord redémarrer la production d'éléments supra stabilisés par aluminium (nécessaire ne cas de quench)

Recipe for detector magnets

- ☐ Mechanical support
- ☐ Cryogenics
- ☐ Power and protection
- ☐ Liquid helium
- ☐ Aluminium stabilised conductor
- ☐ ...

Desired result

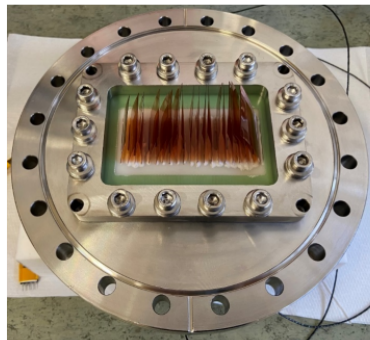
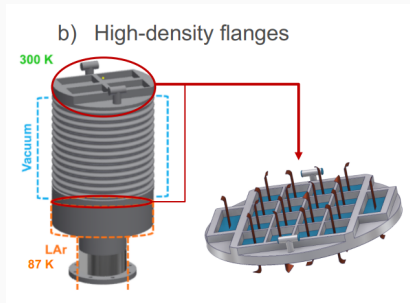


This is just an example!

[1] R. Ruber et al., "The ATLAS Central Solenoid", NIM in physics research A, 582 (2008) p. 53-74

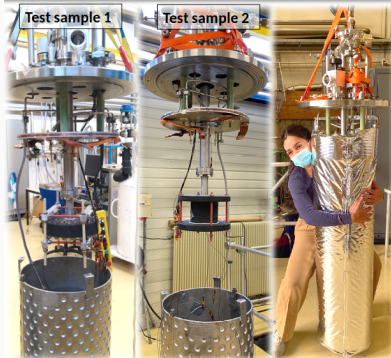
ATLAS Central Solenoid

- R&D pour faire passer ~ 10 fois plus de signaux que dans ATLAS
- Feedthroughs plus gros mais aussi plus dense
- Tests de designs sans connecteurs, avec câbles insérés dans des fenêtres et collés
- Fonctionne à chaud et à froid

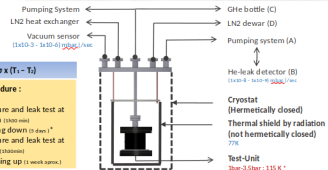
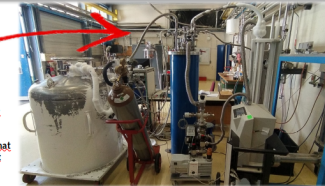


- Excellentes perspectives pour des cryostats "transparents"
- Sandwichs fibres de carbone / aluminium
- Travail de R&D sur les joints et sur les interfaces matériaux composites / métal (pour les feedthroughs)
- Perspectives de réalisation d'un démonstrateur de taille suffisante pour tenir un petit prototype de calo

Test performance (CERN Cryolab Collaboration)



Thanks a lot to :
 Martin Aleksa
 Johan Bremer
 Michel Chailfour
 Maria A. Barba
 Agostino Vacca
 Laetitia Dufay-Chanat
 Sébastien Prunet



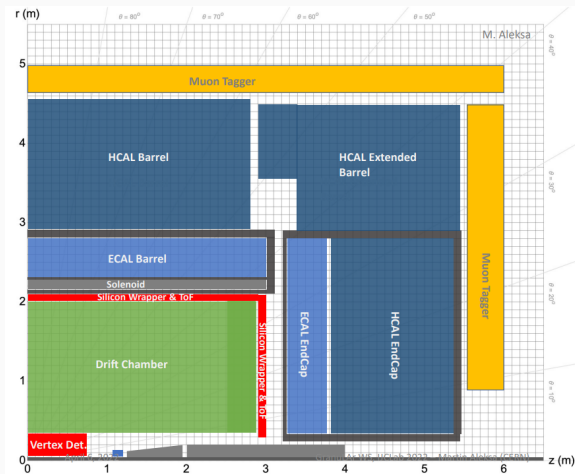
$$Q_{\text{rad}} = \epsilon \sigma \times (T_1 - T_2)$$

Test Procedure :

1. Pressure and leak test at Troom (1500 min)
2. Cooling down (3 days) *
3. Pressure and leak test at Tcryo (1500min)
4. Warming up (1 week approx.)

→ Experimental setup allowed us to check He leakage at 3.5 bar and ~110K (test setup limit)

- Longue discussion sur de possibles designs autour d'un calo à liquide noble
- Également présentation intéressante de Corrado Gargiulo sur ALICE ITS-3 et ce que ça peut impliquer pour un tracker FCCee

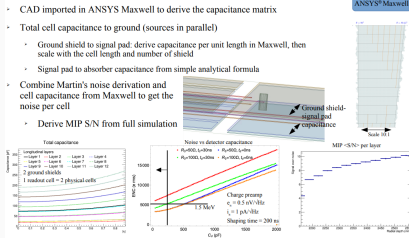


Detector Concept 2

- Vertex Detector:
 - MAPS or DMAPS possibly with timing layer (LGAD)
 - Possibly ALICE 3 like?
- Drift Chamber (± 2.5 m active?)
- Silicon Wrapper + ToF:
 - MAPS or DMAPS possibly with timing layer (LGAD)
- Solenoid B=2T, sharing cryostat with ECAL
- High Granularity ECAL:
 - Noble liquid + Pb or W
- High Granularity HCAL / Iron Yoke:
 - Barrel: Scintillator + Iron
 - SiPMs directly on Scintillator or
 - TileCal: WS fibres, SiPMs outside
 - EndCap: Noble liquid + Copper + iron for the yoke
- Muon Tagger:
 - Drift chambers, RPC, MicroMegas

15

- Progrès significatif sur cet item
- Mesures sur des structures de test pour vérifier les simulations (R. Chiche)
- Design de prototypes plus avancés
- Simulations de prototypes de taille réelle
- Discussions sur la manufacture de ces objets

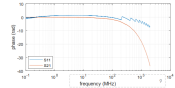
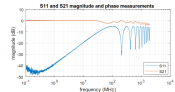


S parameters of a microstrip line board

S11 measurement of DUT + connectors:



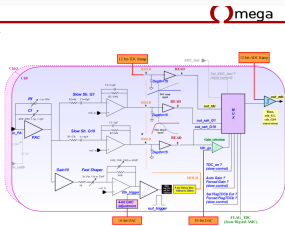
S21 measurement DUT + connectors:



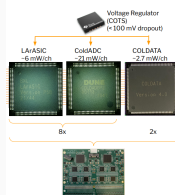
- Retours d'expérience par C. de la Taille (ASICs pour HGCal, CALICE) et Hucheng Chen (ASICs pour DUNE)
- Performances proches de ce dont on aurait besoin
- Chaîne électronique complète dans le froid (DUNE)
- Spécificité calo liquide noble pour FCC: travailler la basse consommation
- On pourrait sans doute utiliser ces chips (avec un peu d'adaptation) pour un premier proto de calo

SKIROC2 readout ASIC

- 64-channel Silicon Kaloimeter Integrated Read-Out Chip
- Autotrigger @ $\frac{1}{2}$ MIP ≈ 2 fC
- Charge measurement 15 bits in two gains
- 16-deep Analog memory
- Low power 25 μ W/ch with power pulsing
- Embedded readout (see SPIROC)
- SiGe 350 nm, produced in 2010



Cold Readout Chain for ProtoDUNE-II and DUNE FD



- **P5B LArASIC**
 - 16 channels, programmable
 - SE or SEDC buffer
 - Enhanced ESD protection
- **P2 ColdADC**
 - 16 channels, programmable
 - 12-bit ADC at 2 MS/s sampling rate
 - Two 15-stage pipelined ADCs
- **P4 COLDATA**
 - Control 4 ColdADCs and 4 LArASICs
 - Receive and format data from 4 ColdADCs
 - Drive data via 2 links to a WIB at 1.25 Gb/s
- **Full cold readout chain with P5B LArASIC, P2 ColdADC and P4 COLDATA will be used to instrument the ProtoDUNE-II LArTPC**

- Simulations de bruit dans les cellules du calo
- A la fois en électronique chaude et froide
- Bruit très faible en électronique froide
- Sans doute ok en électronique chaude

Simulations summary

$$C_{\text{cable}} = \frac{\tau_{\text{delay}}}{Z_c}$$

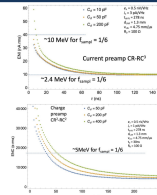
Warm electronics
L = 5 m
 $C_{\text{cable}} = 500 \text{ pF} / 1 \text{ nF}$

Cold electronics
L = 10 cm
 $C_{\text{cable}} = 10 \text{ pF} / 20 \text{ pF}$

ENC (keV)	Peaking time = 50 ns	Peaking time = 1 μ s	
Cd = 100 pF - 50/25 Ω	1400 / 2500	814 / 1500	Max capa for 1 electrode
Cd = 200 pF - 50/25 Ω	1600 / 2800	940 / 1600	
Cd = 400 pF - 50/25 Ω	2100 / 3200	1200 / 1900	
Cd = 800 pF - 50/25 Ω	2900 / 4100	1700 / 2400	For 2 electrodes
Cd = 100 pF - 50/25 Ω	140 / 150	120 / 125	Max capa for 1 electrode
Cd = 200 pF - 50/25 Ω	250 / 260	210 / 220	
Cd = 400 pF - 50/25 Ω	470 / 470	380 / 410	
Cd = 800 pF - 50/25 Ω	910 / 910	750 / 750	For 4 electrodes

Optimizing the Noise Level

- Assume transmission line of 5 m ($t_d = 30 \text{ ns}$)
- $R_0 = 100 \Omega$ is supposed to be the highest possible impedance for the coax cables leading the signal out (e.g. Axon)
 - difficult to obtain for transmission line inside the PCB
- **Current preamp (CR-RC²)**, see plot:
 - $e_n = 0.5 \text{ nV/VHz}$ and $i_n = 3 \text{ pA/VHz}$
 - Achieving **2.4 MeV noise** for $\tau > 80 \text{ ns}$ and $R_0 = 100 \Omega$
 - Achieving **3.0 MeV noise** for $\tau > 100 \text{ ns}$ and $R_0 = 50 \Omega$
- **Charge preamp (CR²-RC²)** generally show lower parallel noise i_n :
 - e.g. $e_n = 0.5 \text{ nV/VHz}$ and $i_n = 1 \text{ pA/VHz}$
 - Achieving **1.3 MeV noise** for $\tau = 200 \text{ ns}$, $C_d = 100 \text{ pF}$ and $R_0 = 100 \Omega$
 - Achieving **1.4 MeV noise** for $\tau = 200 \text{ ns}$, $C_d = 200 \text{ pF}$ and $R_0 = 100 \Omega$
 - Achieving **1.8 MeV noise** for $\tau = 200 \text{ ns}$, $C_d = 100 \text{ pF}$ and $R_0 = 50 \Omega$
 - Achieving **1.9 MeV noise** for $\tau = 100 \text{ ns}$, $C_d = 100 \text{ pF}$ and $R_0 = 100 \Omega$
- **Only small dependence on C_d**

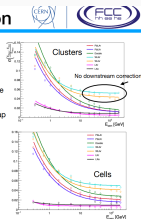


- Tour d'horizon des benchmarks de physique connus
- Premières études sur résolution en fonction du choix d'absorbeur et liquide actif
- Premières études sur la reconstruction des π^0 en fonction de la granularité et du choix des matériaux

Energy resolution

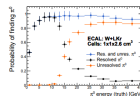
- For the clustering a sliding window algorithm is used
- Homogeneous setups show great results
- Corrected clusters show promising improvement over uncorrected cells
- W absorbers performs worst compared to Pb, which is expected from the low sampling fraction
- Double physical refers to the Pb + LAr setup with double absorber and gap size. This however shows clear degradation in the energy resolution

Clusters			Cells				
	A/E	B/sqrt(E)	C		A/E	B/sqrt(E)	C
Pb + LAr	0	0.079	0.011	Pb + LAr	0	0.077	0.021
Pb + LKr	0	0.071	0.011	Pb + LKr	0	0.070	0.050
Double	0	0.099	0.015	Double	0	0.098	0.027
W + LKr	0	0.075	0.052	W + LKr	0	0.083	0.050
W + LAr	0	0.086	0.041	W + LAr	0	0.085	0.041
LKr	0	0.019	0.005	LKr	0.004	0	0.008
LXe	0	0.016	0.008	LXe	0	0.007	0.010

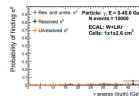


Example: LKr design

Signal:



Background:



ECAL

Efficiency

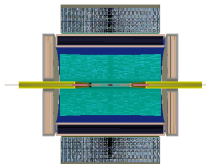
	Signal	Background
Initial LAr ECAL	89.23%	5.62%
Revised LAr ECAL	91.09%	2.48%
LKr ECAL	91.17%	1.09%

- ⇒ Reducing cell size in LAr enhances spatial resolution and improves π^0 reconstruction
- ⇒ The LKr design seems well-suited for suppressing fake π^0 's

- Status des éléments en place et des briques manquantes
- Premier design d'endcap dans la simulation
- Perspectives pour intégration de Pandora pour du PFlow
 - Nécessaire pour des études de perf avancées

Endcaps: EMEC

- EMEC
 - Cryostat of 5 cm in front and inner radius, 10 cm in back and outer radius
 - Total thickness: 45 cm
 - Number of Pb disks: 67
 - Passive Pb: 1.5 mm
 - Active LAr: 2 x 2 mm
 - Readout: 1.2 mm
- First two layers in z (presampler): |readout|LAr|
- Inverse sampling fraction of 4.27



The Plan for Running Pandora

k4MarlinWrapper ↔ DDMarlinPandora ↔ Pandora

- Considered to be **quickest** way to have Pandora running
- **Disadvantage:** two datamodel conversions
- Over time, development of the native Key4hep wrapper
- **First step:** Get just Pandora clustering algorithm run

```
from Configurables import MarlinProcessorWrapper

pandora = MarlinProcessorWrapper('DDMarlinPandora')
pandora.OutputLevel = INFO
pandora.ProcessorType = 'DDPandoraPF4hepProcessor'
pandora.Parameters = {
    'Verbosity': ['DEBUG'],
    'PandoraSettingsIniFile': ['/some/path'],
    'CreateDag': ['False'],
    'HcalCollectionNames': ['HcalBarrelCells']
}
ApplicationMgr().TopAlg += (pandora)
```

- Workshop très productif !
- Montre que beaucoup a déjà été accompli en R&D et simulation
- Les étapes suivantes sont maintenant clairement définies
- Difficulté: manpower et argent limités