

Mesure de luminosité à l'aide du système haute tension du calorimètre à argon liquide du détecteur ATLAS

Samir ARFAOUI

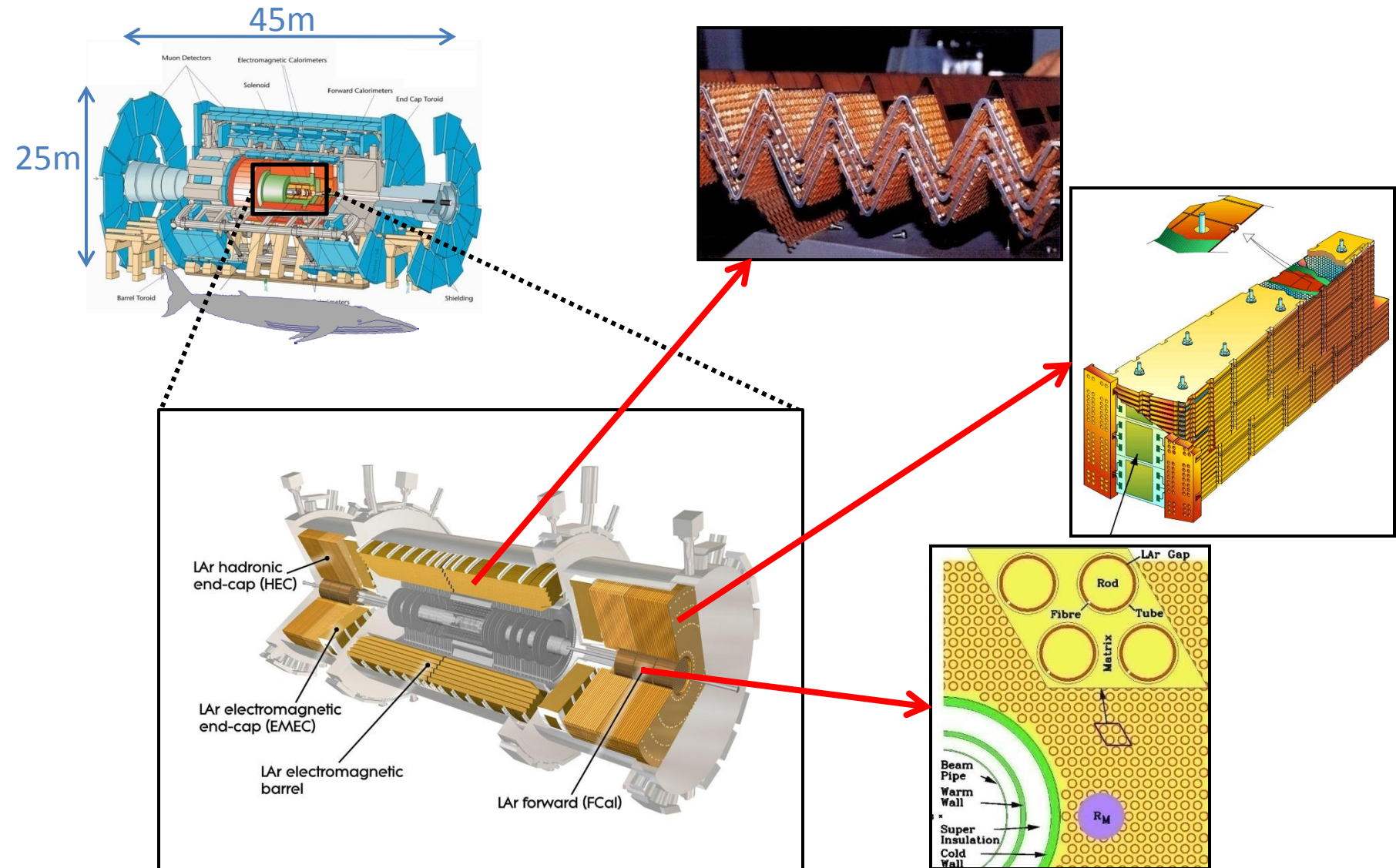
CERN / CPPM

Directeur de thèse : Emmanuel Monnier

Introduction

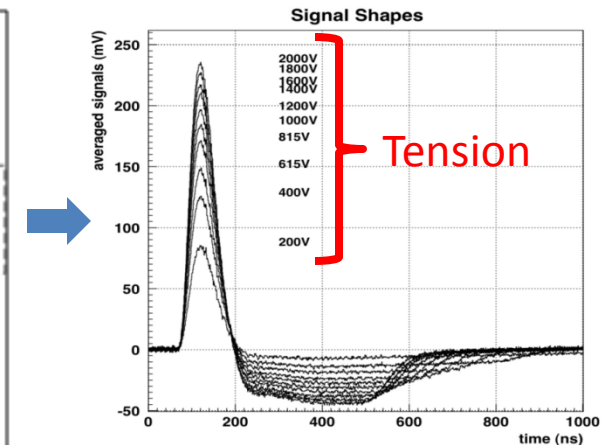
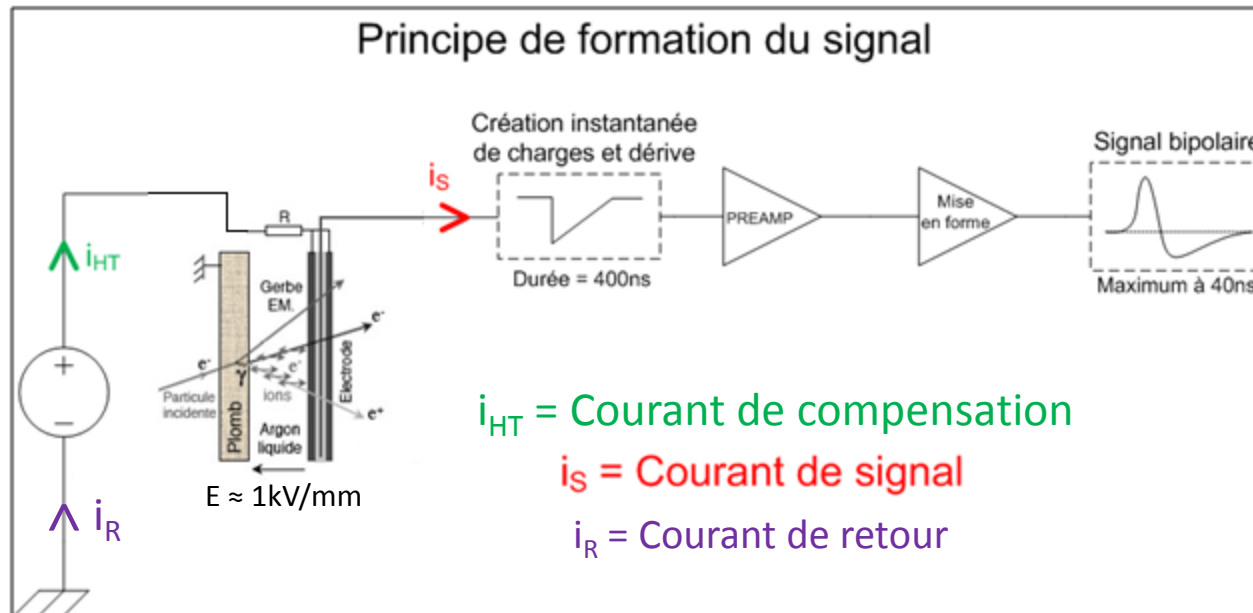
- Luminosité : capacité d'un collisionneur à produire des collisions
- $N_{\text{interactions}} = \text{luminosité} \cdot \text{section efficace} = L \cdot \sigma$
- $\Delta\sigma/\sigma \leftrightarrow \Delta L/L$
- Au LHC
 - Paramètres machine : $d_{x,y}$ du point d'interaction $\rightarrow L_{\text{absolue}}$
 - N_{el} (taux de collisions élastiques) + N_{inel} (taux de collisions inélastiques) et théorème optique $\rightarrow L_{\text{absolue}}$
 - Diffusion coulombienne à petit angle $\rightarrow L_{\text{absolue}}$: ALFA (Absolute Luminosity For ATLAS)
 - Flux de particules événements de biais minimum. Courant introduit par le système haute tension du calorimètre à argon liquide d'ATLAS $\rightarrow L_{\text{relative}}$: Objectif de mon travail.

Le calorimètre à argon liquide (1)



Le calorimètre à argon liquide (2)

- Mesure l'énergie déposée par les particules chargées
 - Gerbes électromagnétiques (Bremsstrahlung + création de paires)
 - Gerbes hadroniques (interactions nucléaires)
- Calorimètre à échantillonnage
 - Champ électrique -> collecte les électrons d'ionisation
 - Milieu passif (absorbeur) : Pb, Cu, W
 - Milieu actif : argon liquide



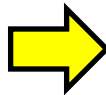
$$i_S \propto U^{0.38} \Rightarrow \frac{\Delta i_S}{i_S} = 0.38 \frac{\Delta U}{U}$$

Le système haute tension

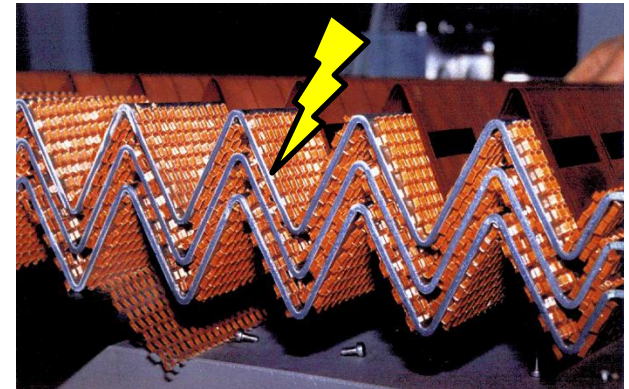
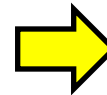
- $E \approx 1 \text{ kV/mm}$ par gap d'argon liquide
- Tension ajustable $< 3 \text{ kV}$ / canal
- Environnement logiciel de contrôle et de surveillance $\rightarrow I_{\text{HT}} + I_{\text{R}}$
- Caractéristiques:
 - ~ 4500 canaux HT $\leftrightarrow \sim 182000$ cellules du calorimètre
 - Modules $\leftrightarrow$ détecteur : câbles $\sim 110 \text{ m}$



Système haute tension



Traversée
chaud/froid



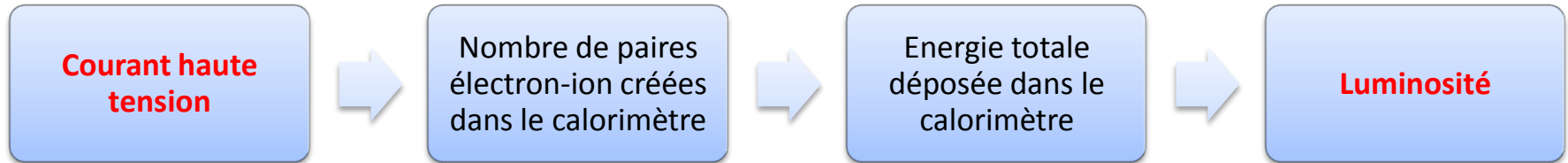
Électrodes dans le
cryostat

Température
ambiante



Cryostat à 88K
(Argon liquide)

Luminosité et système haute tension



$$i_{HT} = N_{paires} \cdot e = \left[(L \cdot \sigma \cdot E_{ebm}) \cdot f \cdot \frac{K}{W} \right] \cdot e$$

f: fraction d'échantillonnage du sous-détecteur

e: charge élémentaire

K: facteur de suppression d'un électron par rapport à un muon au minimum d'ionisation

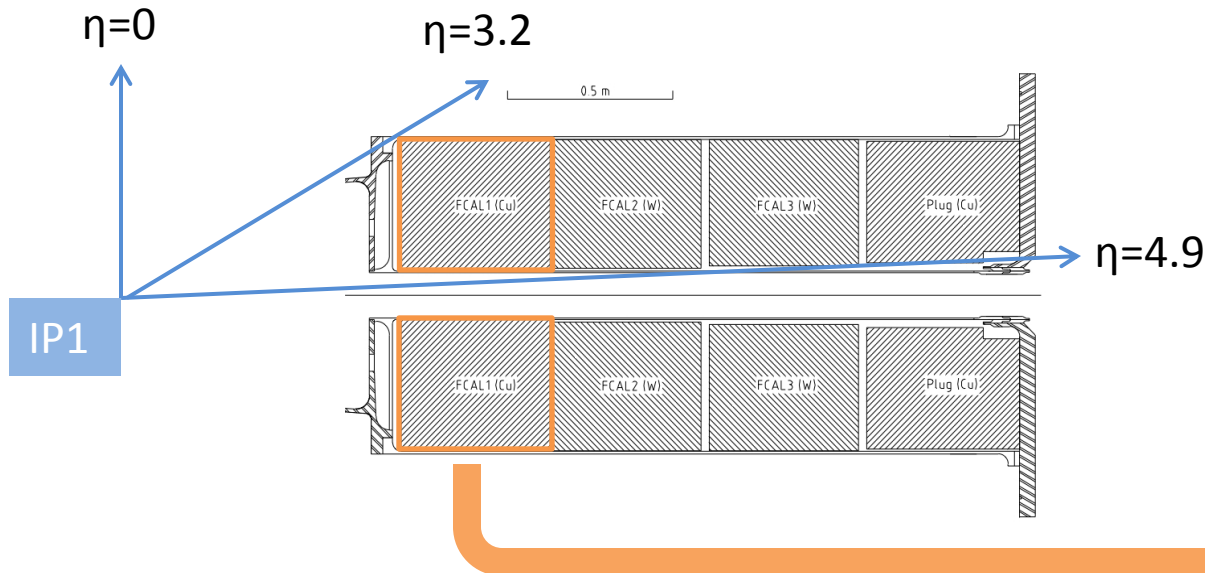
W: énergie de création d'une paire électron-ion dans l'Argon liquide

E_{ebm} : énergie déposée par un événement de biais minimum

Proposé par W. Bonivento : «*Online luminosity monitoring with liquid Argon calorimeters at ATLAS and D0*», ATL-LARG-2001-001

Événements de biais minimum

- Interactions « douces »
- $\sigma_{\text{TOT}} \approx 100\text{mb}$
- $\sim 10^{13}$ interactions/croisement @ LHC lumi. ($10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
- Particules filles : faibles p_T
 - Flux plus important à grand $\eta \Rightarrow$ Plus d'énergie déposée dans les calorimètres avants

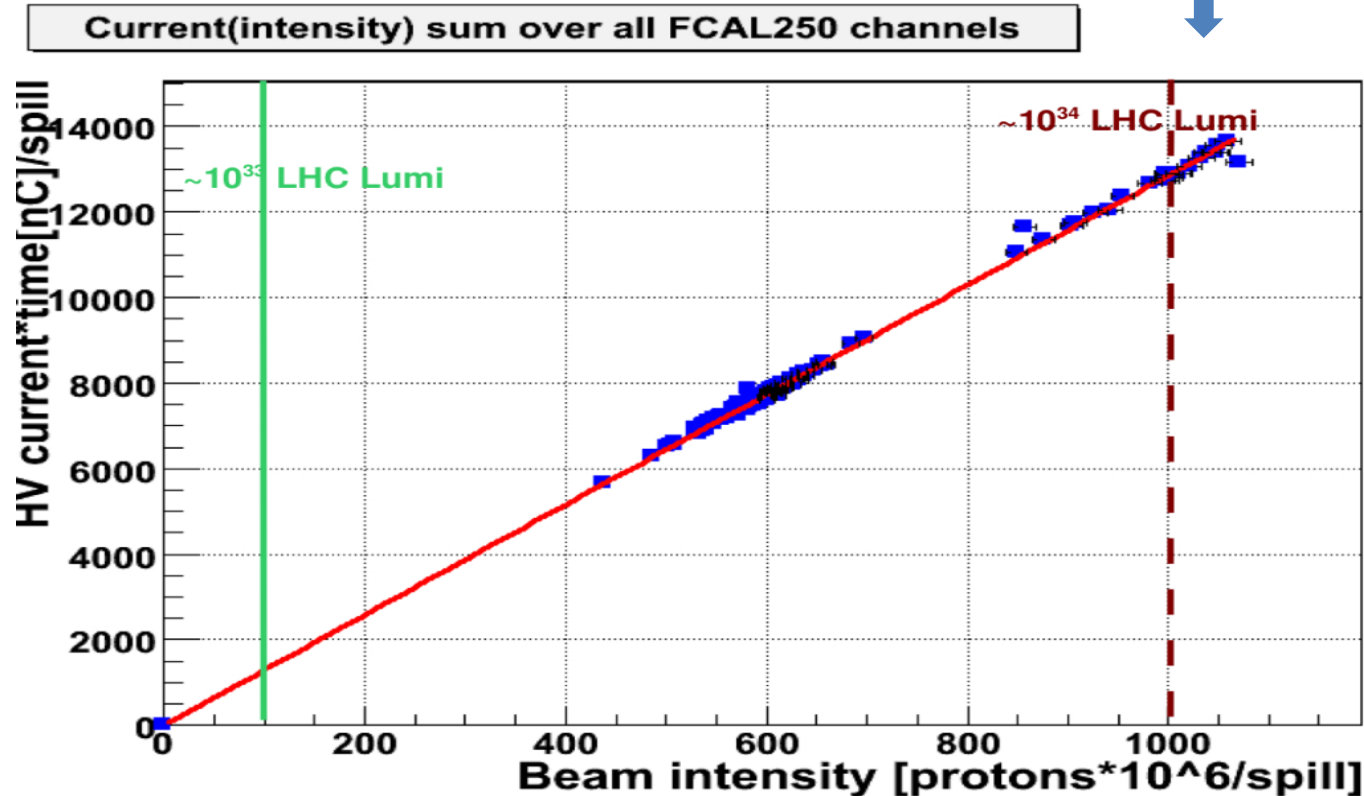


FCAL 1, partie EM du FCAL : les particules de faible p_T y déposent la plus grosse partie de leur énergie

Validation de la mesure

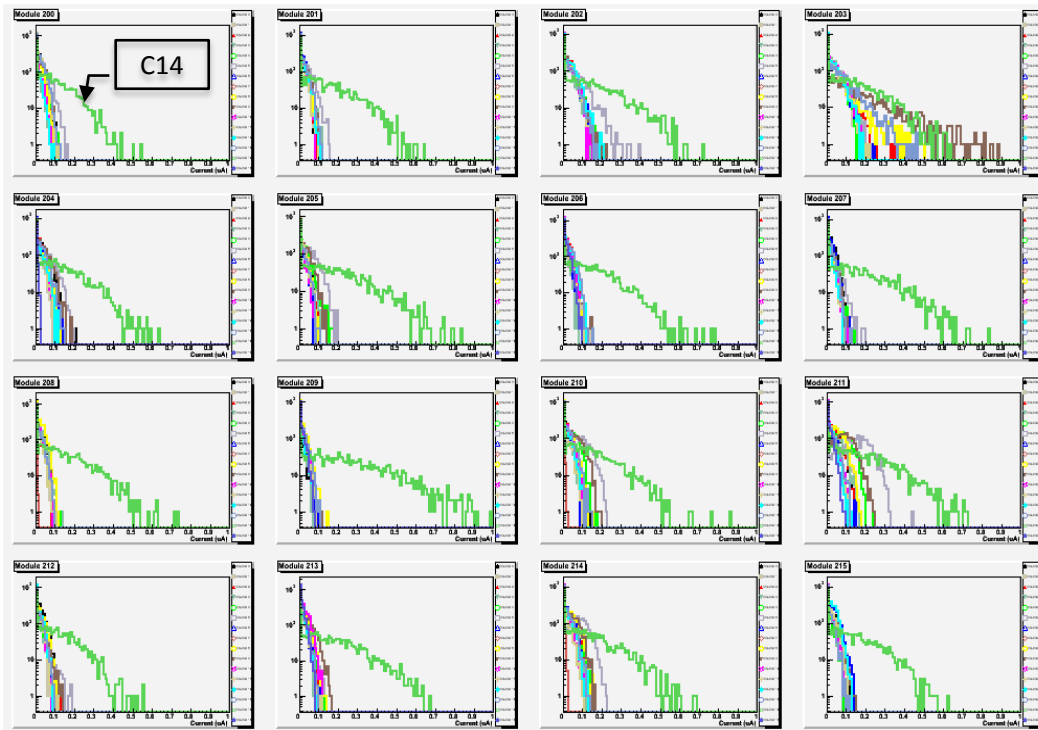
- Tests faisceau @ IHEP Protvino
- Protons, 50 GeV
- Prototype FCAL
- $I_{\text{faisceau}} \leftrightarrow L_{\text{LHC}} (10^{32} \text{ à } 10^{34} \text{ cm}^2\text{s}^{-1})$
- $I_{\text{HT}} \propto I_{\text{faisceau}} ?$

$I_{\text{HT}} = f(I_{\text{faisceau}})$
Extrapolation FCAL d'ATLAS
→ 100mA @ LHC lumi.



Comprendre les courants mesurés (1)

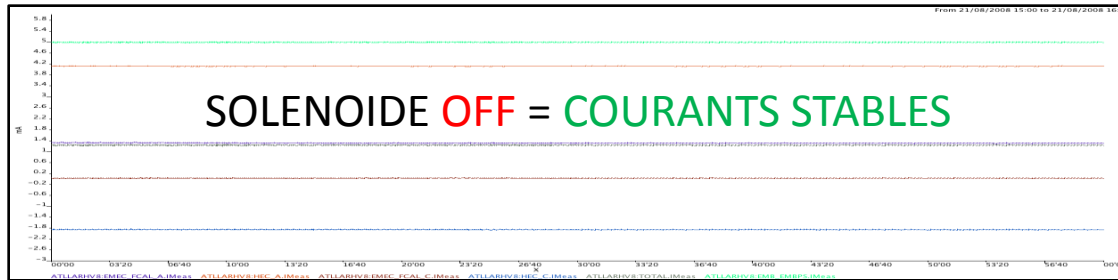
- Répertorier les sources de variations de courants
- Etudes :
 - Bruit
 - Influence des champs magnétiques
 - Premiers faisceaux LHC du 10 Septembre 2008



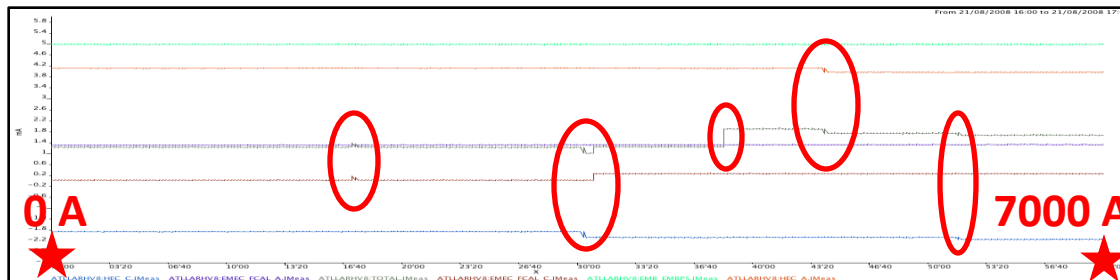
- Bruit canaux HT < 200nA / canal
- Canal particulier plus bruyant que ses camarades : enfin observé par le fabricant, modules en cours de réparation depuis Mars 2008
- Tous les canaux problématiques sont connus et surveillés
- Partie intégrante du DCS (Detector Control System) : contrôle lent

Comprendre les courants mesurés (2)

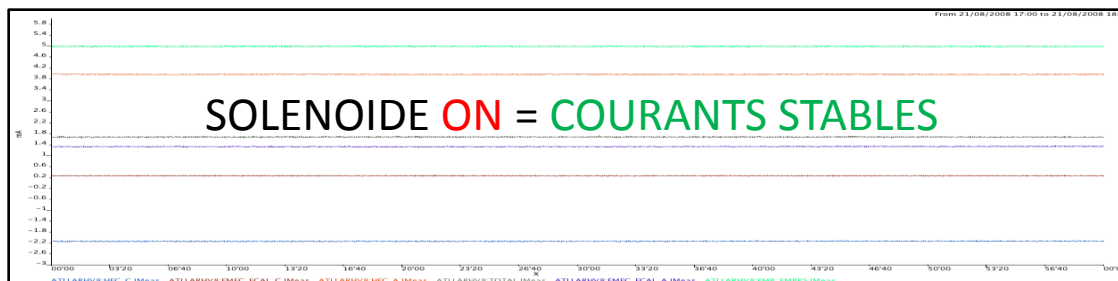
- Influence des ΔB sur le système HT
- Hypothèse : déplacements d'impuretés dans l'argon liquide
→ circulation de charges dans les gaps
- Répertorier et surveiller ces canaux



21/08/2008, 17h00 – 18h00



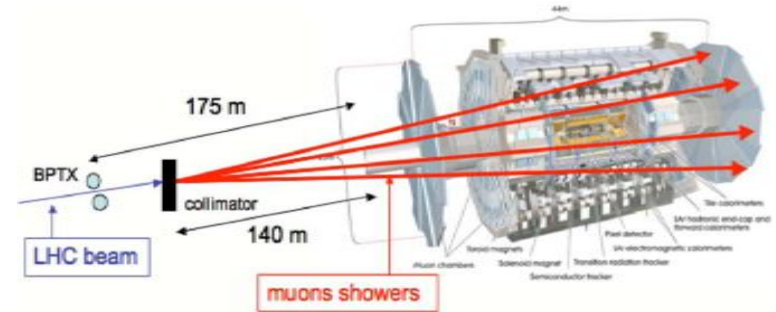
21/08/2008, 18h00 – 19h00
Rampe solénoïde : 0 → 7000A
 $80\mu A < \Delta I_R < 250\mu A$



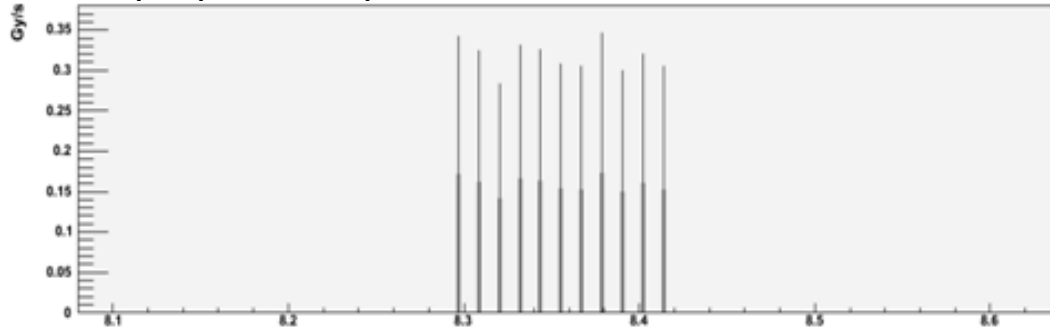
21/08/2008, 19h00 – 20h00

Comprendre les courants mesurés (3)

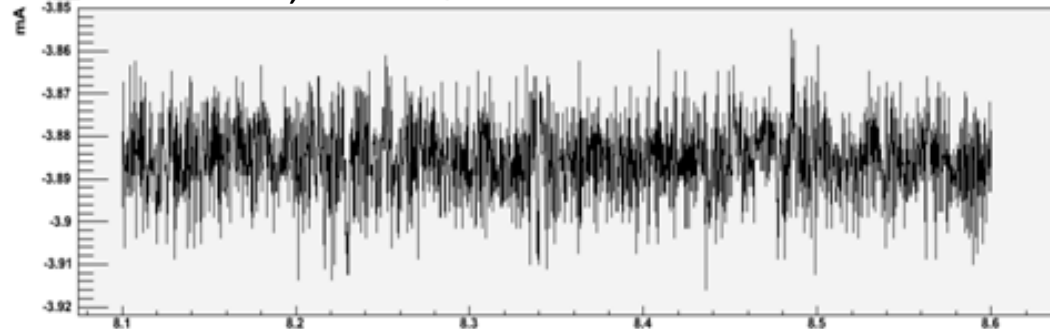
- Recherche de signal du aux premiers événements du 10 Septembre 2008
- Faisceau 1, collimateurs fermés
- Arrive côté C du détecteur



11 paquets de protons, 1/42 secondes



Courant HT, $f = 1\text{Hz}$

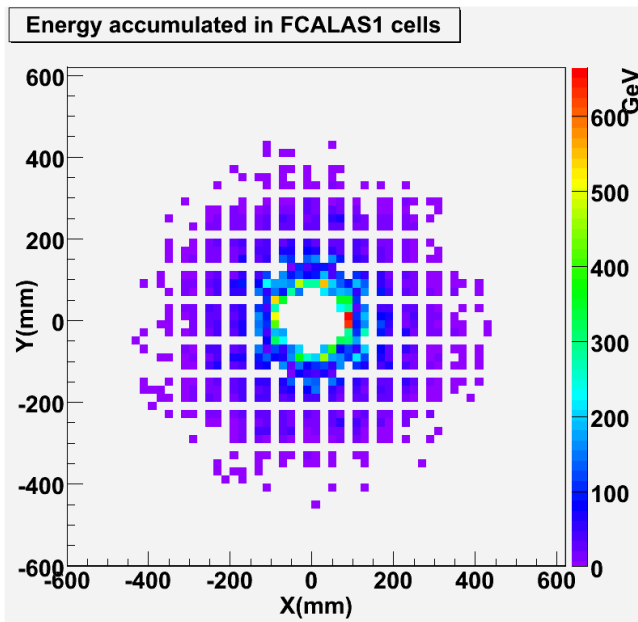
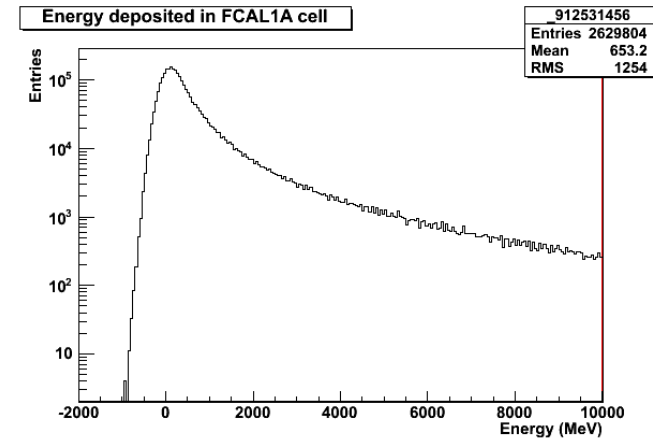


Heures depuis le 10/09/08-00:00:00

- **Aucun signal observé**
- Explication : fréquence d'arrivée des paquets trop faible pour permettre de mesurer des variations de courant
- Nécessité d'un flux important de particules à travers le calorimètre pour observer une variation du courant

Simulations

- Simu. EBM $\rightarrow E_{\text{ebm}}$ dans le FCAL
- Ajuster Gaussienne (bruit) + Landau (signal)
 - Bruit électronique attendu
 - $\langle E_{\text{ebm}} \rangle$ / événement



- $E_{\text{ebm}} = f(\eta; \theta; x; y)$
 - par région haute tension
 - Estimer l'énergie (donc le courant) attendue dans chaque zone HT

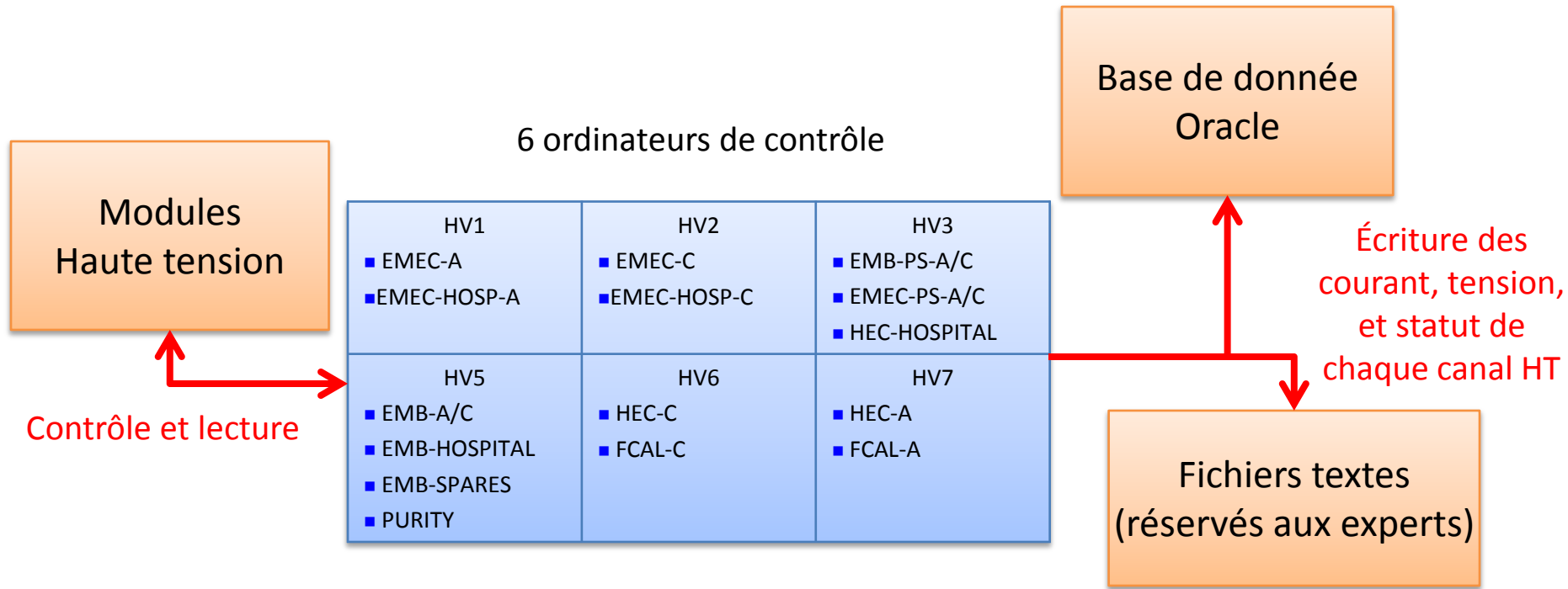
Conclusions

- Principe de la mesure validé en faisceau test
- Equipement et support logiciel prêts pour la mesure des courants du système haute tension
- Courants étudiés dans différentes conditions
 - Canaux pathologiques connus et surveillés
 - Bonne confiance dans les courants mesurés
- Travaux de prédiction des valeurs attendues en cours
 - Simulations Monte Carlo d'événements de biais minimum
- En parallèle
 - Maintenance du système en tant qu'expert
 - Qualité des données DCS



Suppléments

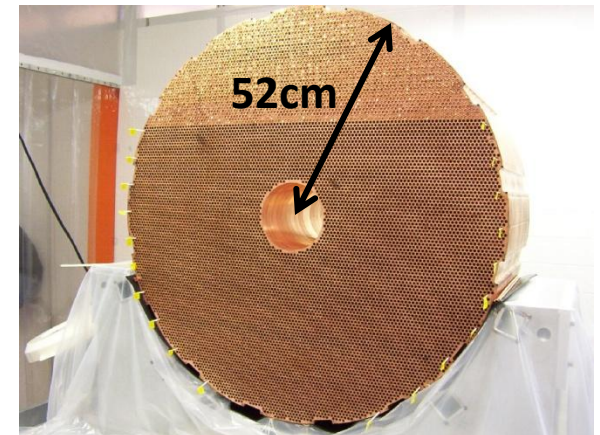
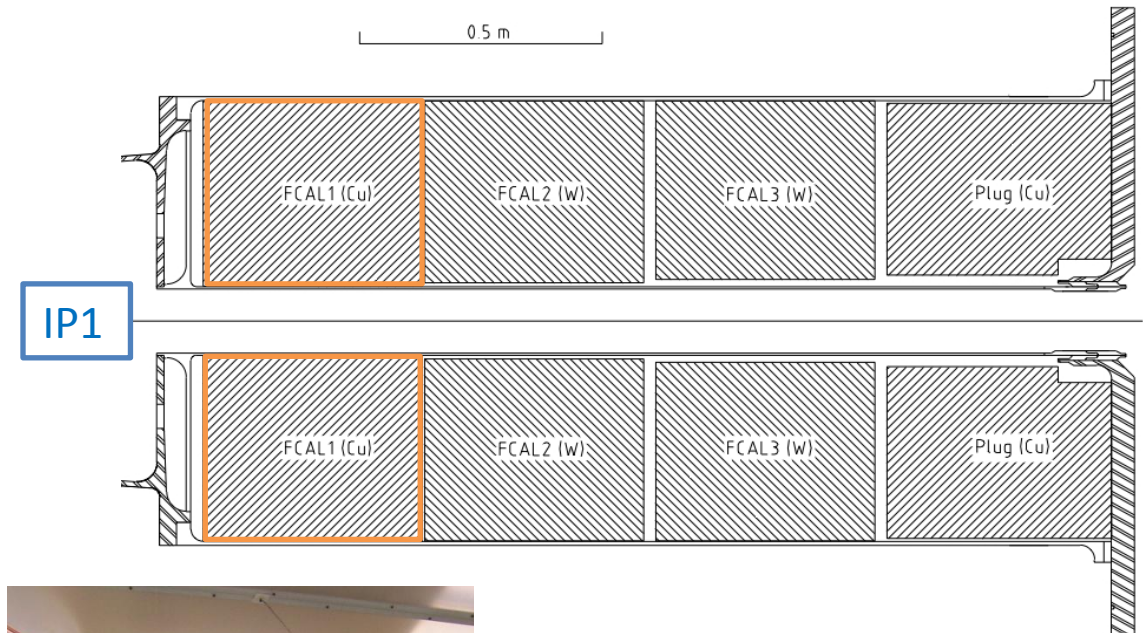
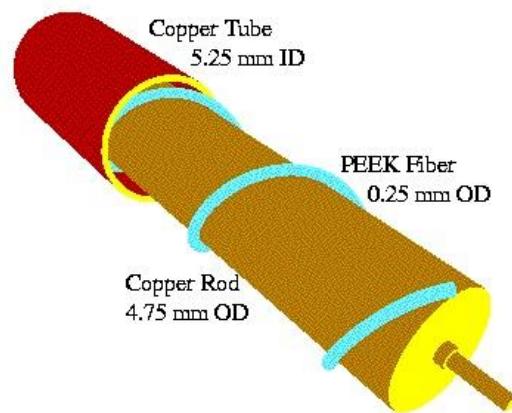
Le système haute tension (2)



- L'environnement de contrôle de la haute tension permet de:
 - Commander les modules (ON, OFF, valeur de la HT)
 - Surveiller les système et gérer alertes et alarmes
 - Stocker les courant, tension, et statut de chacun des 4500 canaux

Le module FCAL1

- Partie électromagnétique du système calorimétrique avant (FCAL2/3 = hadroniques)
- Destiné aux particules de faible impulsion transverse (projection de l'impulsion sur la normale à l'axe du faisceau)
- Matrice en cuivre + 12000 tubes en cuivre contenant les électrodes de signal
- Espace entre électrode et paroi du tube = gap d'Argon liquide ($250\mu\text{m}$)
- Tubes alignés parallèlement à l'axe des faisceaux

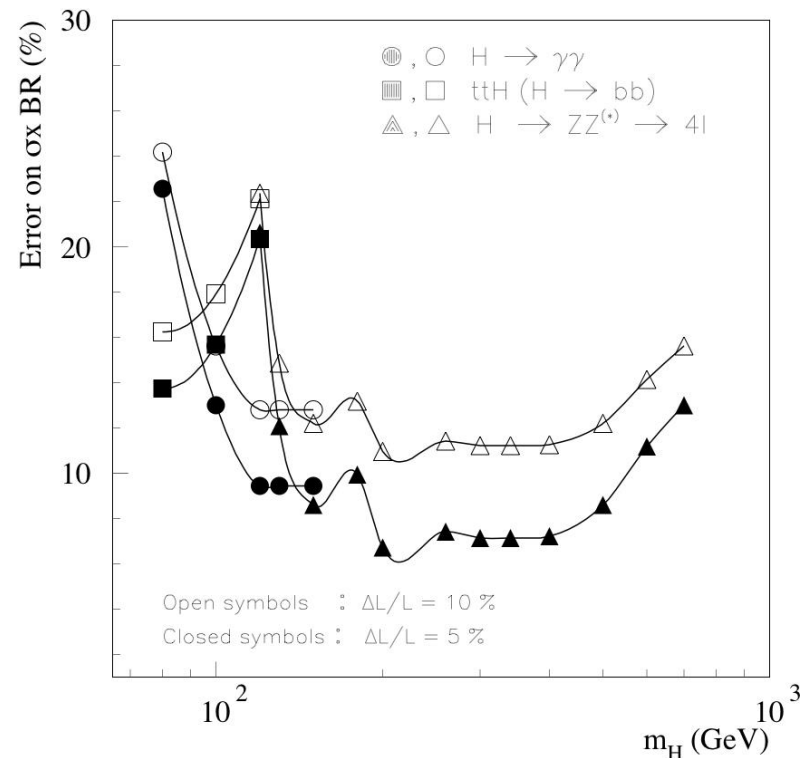


Luminosité

- Grandeur définissant la capacité d'un collisionneur à produire des interactions

$$L = \frac{f n_1 n_2}{4\pi\sigma_x\sigma_y} \text{ et } N = L \cdot \sigma$$

- Donc la mesure de L et N permet de déterminer la section efficace d'interaction d'un processus donné



Précision relative de la mesure de $\sigma_H \cdot BR$ pour plusieurs modes en fonction de m_H . Calculs effectués avec $\Delta L/L = 5\%$ (symboles pleins) et $\Delta L/L = 10\%$ (symboles vides).



Nécessité d'une mesure précise de la luminosité

Mesures de luminosité au LHC

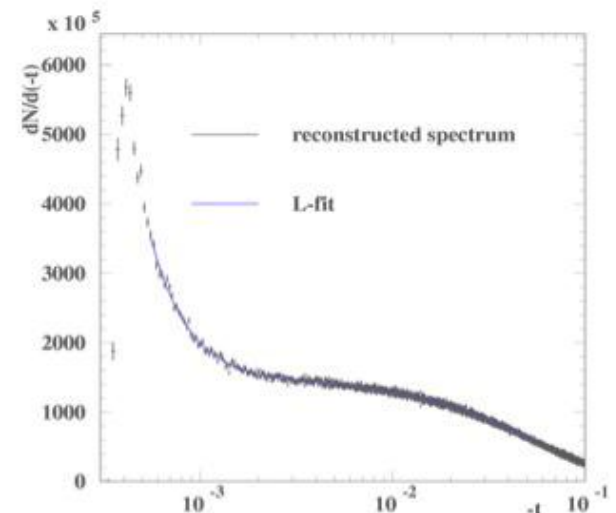
- Depuis les paramètres machine
 - Mesure des dimensions transverses du point d'interaction et détermination de la luminosité absolue. Précision attendue: 5-10%
- Mesure de N_{el} (taux de collisions élastiques), N_{inel} (taux de collisions inélastiques) et utilisation du théorème optique. Précision attendue: 2-3%

$-t \xrightarrow{\theta \rightarrow 0} (p\theta)^2$: transfert de quantité de mouvement entre les protons

$$\left. \frac{d\sigma_{el}}{dt} \right|_{t=0} = \frac{1}{L} \cdot \left. \frac{dN_{el}}{dt} \right|_{t=0} = (1 + \rho^2) \frac{\sigma_{tot}^2}{16\pi} \rightarrow L = \frac{(1 + \rho^2)(N_{el} + N_{inel})^2}{16\pi \left(\left. \frac{dN_{inel}}{dt} \right|_{t=0} \right)} \text{ avec } \sigma_{tot} = \frac{N_{el} + N_{inel}}{L}$$

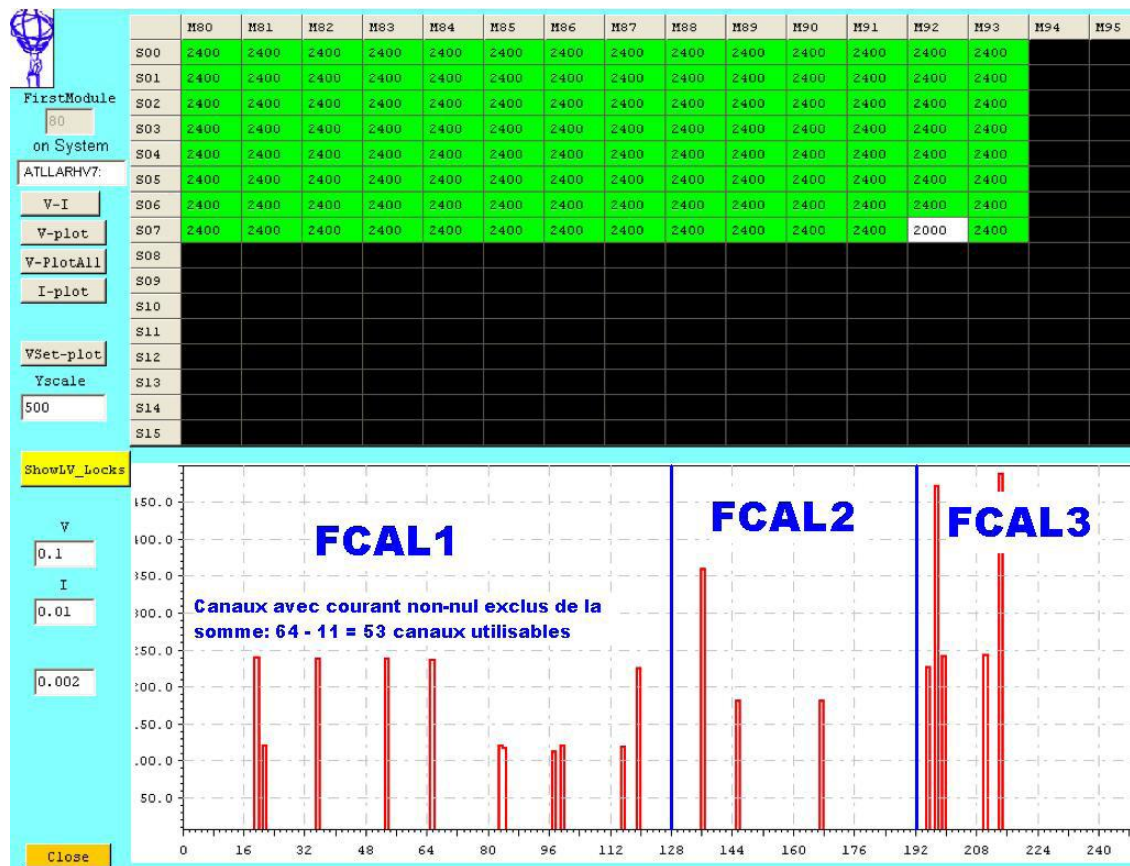
- Grâce à la diffusion coulombienne à petit angle
 - Ajustement de l'expression du taux de diffusion inélastique en fonction du transfert de quantité de mouvement
 - Expérience ALFA (Absolute Luminosity For ATLAS)
 - Précision attendue: 2-3%

$$\frac{dN_{el}}{dt} = L |F_C + F_N|^2 = L \left(\frac{4\pi\alpha^2}{|t|^2} - \frac{\alpha\rho\sigma_{tot}e^{\frac{-B|t|}{2}}}{|t|} + \frac{\sigma_{tot}^2(1 + \rho^2)e^{-B|t|}}{16\pi} \right)$$



Mise en place de la mesure (1)

- Objectif: Mesurer le courant total circulant dans les FCAL1 (A et C) en fonction du temps
- Deux possibilités, équivalentes:
 - Sommer les courants mesurés de chaque canal du FCAL1 depuis le client HT



Panneau de visualisation de la haute tension des modules du FCAL-A.

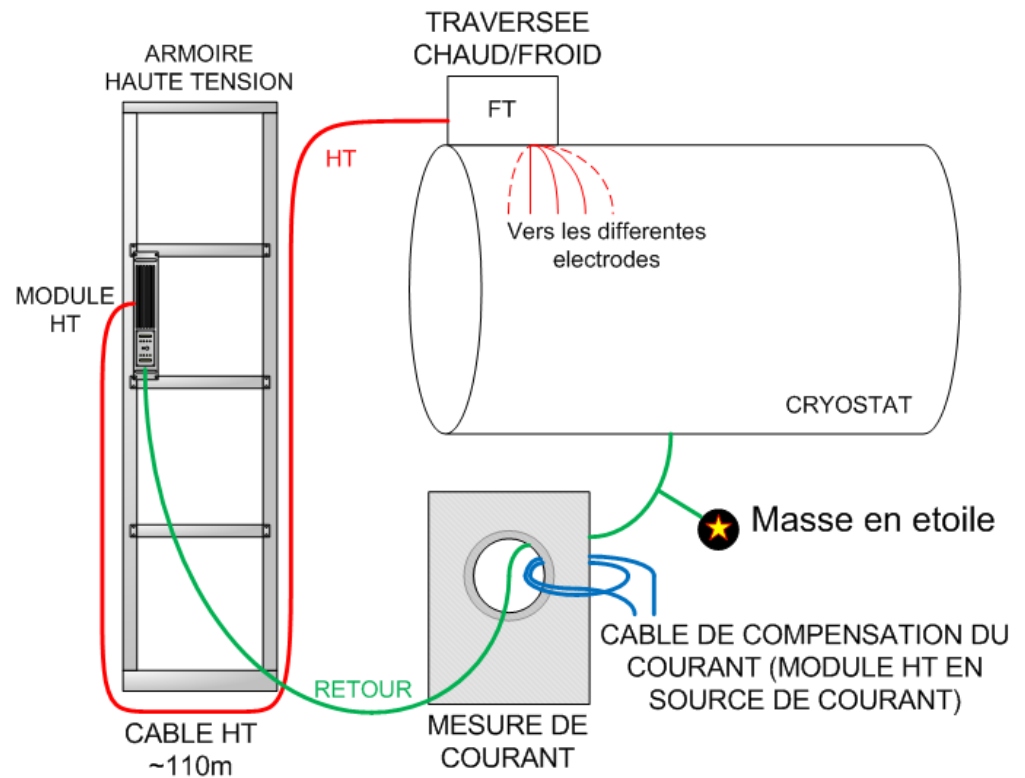
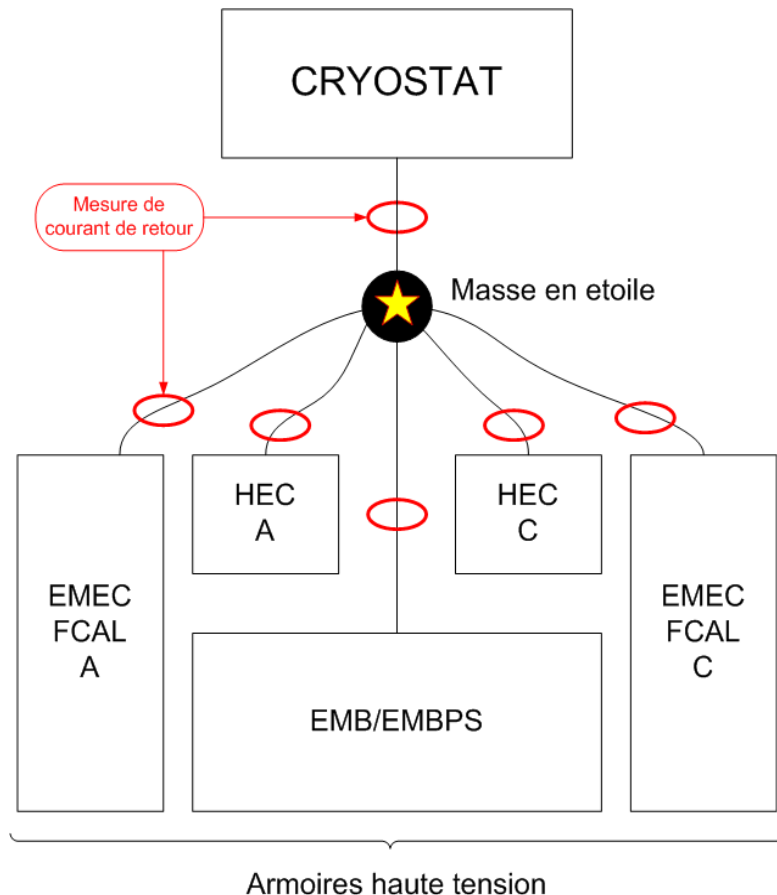
La mesure du courant de chaque canal HT et la sommation sur l'ensemble du FCAL1 permettra un suivi de la luminosité relative dans le temps.

Précision sur la mesure du courant pour 64 canaux: 1.6 μ A

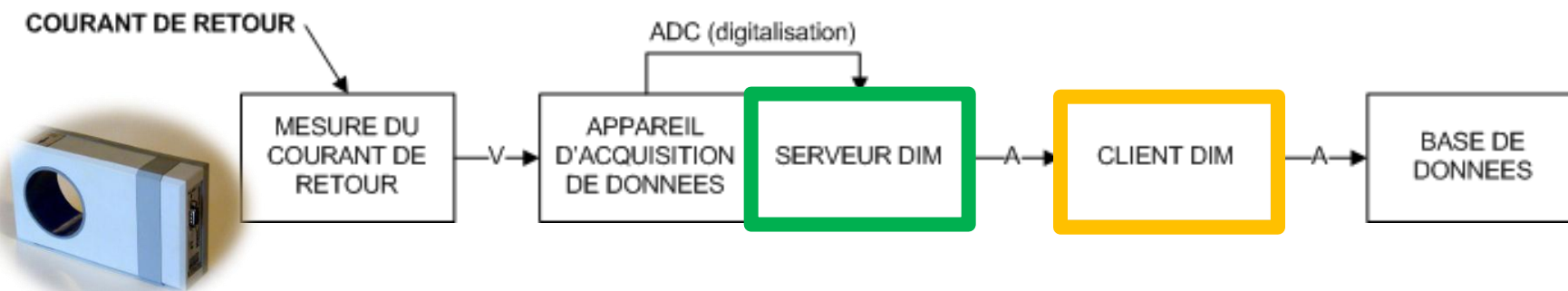
Mise en place de la mesure (2)

– Mesurer le courant de retour de l'ensemble des modules du FCAL

- Bobines de mesure de courant (précision: $10\mu\text{A}$) placées sur les retours des cryostats
- Permet de plus une analyse de la qualité de la mise à la terre du système



Mise en place de la mesure (3)



Les données lues depuis les bobines sont:

- Transmises via TCP/IP sur le réseau du CERN
- Publiées par un serveur DIM (Distributed Information Management)
- Acquisées par les client DIM qui les associent à des points de données
- Envoyées vers la base de données Oracle du DCS (Detector Control System)

DATAQ

Datapoint/Comment	Value	Bits	Time
channel1	1.03271484375		2008.06.20 18:31:07.920
channel2	0.98876953125		2008.06.20 18:31:07.920
channel3	1.1279296875		2008.06.20 18:31:07.920
channel4	1.0400390625		2008.06.20 18:31:07.920
channel5	0.95458984375		2008.06.20 18:31:07.920
channel6	1.06689453125		2008.06.20 18:31:07.920

DIM tree browser, v1.6.2

```

tree
  DATAQSDK_SERVICE[F:1:F:1:F:1:F:1:F:1]
    F [1] 1.03271484375 (3F843000b)
    F [1] 0.98876953125 (3F7D2000b)
    F [1] 1.1279296875 (3F906000b)
    F [1] 1.0400390625 (3F852000b)
    F [1] 0.95458984375 (3F746000b)
    F [1] 1.06689453125 (3F889000b)
  PVSS_DIM_DATAQSDK/CLIENT_LIST[C]
  PVSS_DIM_DATAQSDK/EXIT[L:1]CHD
  PVSS_DIM_DATAQSDK/SERVICE_LIST[C]
  PVSS_DIM_DATAQSDK/SET_EXIT_HANDLER[L:1]CHD
  PVSS_DIM_DATAQSDK/VERSION NUMBER[1]
  
```

mysdk

DataqSdk Control

10

START STOP

Travaux prévus

- Vérifier la linéarité : énergie déposée vs. luminosité
 - similaire aux travaux en faisceau test
 - mesurer la quantité d'énergie déposée en moyenne par un événement de biais minimum dans les calorimètres avant en fonction de la luminosité
 - d'abord sur les données simulées
 - ensuite sur les données de collision
- Estimer la quantité de courant attendue dans le système haute tension pour différentes luminosités
 - l'énergie moyenne déposée dans une cellule du FCAL correspond à un certain courant injecté par le système HT pour compenser la chute de tension (dans la cellule pas celle du shifter)
 - grouper les cellules du FCAL par région de haute tension pour estimer le courant totale à injecter par canal HT
- Comparer la fréquence des dépôts d'énergie dans les FCAL1 par événement avec celle des mesures de courants HT
 - dépend de la luminosité
 - permettra de vérifier la viabilité de la mesure avec l'équipement actuel
 - compléter l'étude grâce à la simulation de la chaîne électronique reliant les cellules du FCAL au système haute tension