

SDHCAL Micromegas

Résultats des tests sur faisceau

M. Chefdeville pour le groupe Micromegas du LAPP, Annecy

Journées collisionneur linéaire, IPN de Lyon, 13-14 Mai 2013

Sommaire

- Introduction
 - Micromegas pour le SDHCAL
 - Objectifs et campagnes de tests sur faisceau
- Tests des chambres Micromegas seules
 - petits prototypes ($\sim 10^2$ canaux)
 - grands prototypes ($\sim 10^4$ canaux)
- Tests des Micromegas avec les RPCs dans le SDHCAL

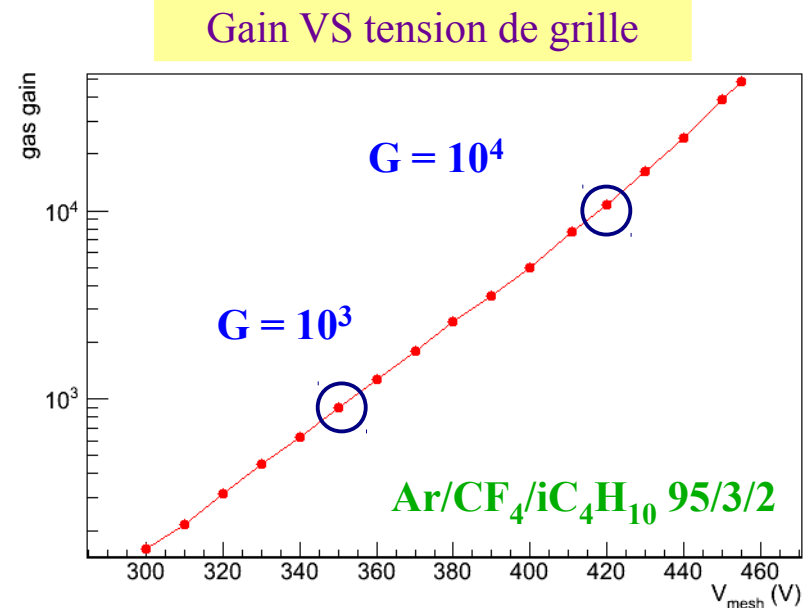
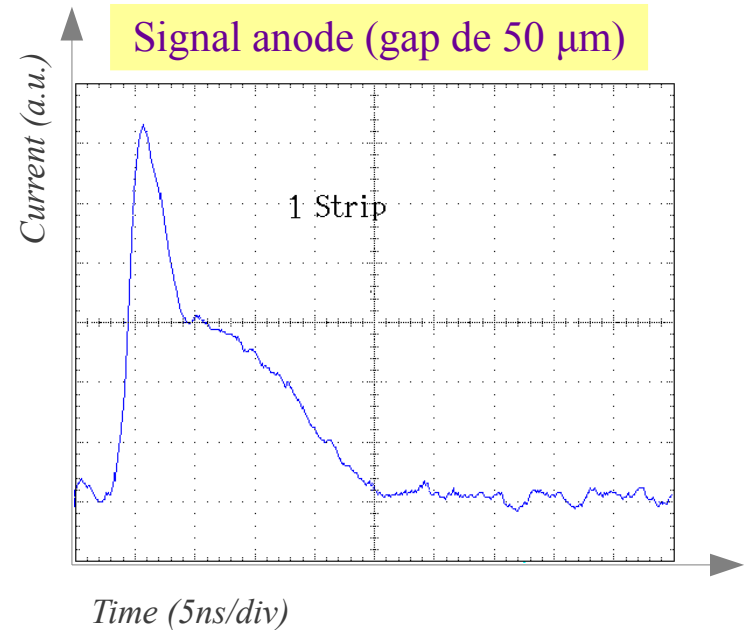
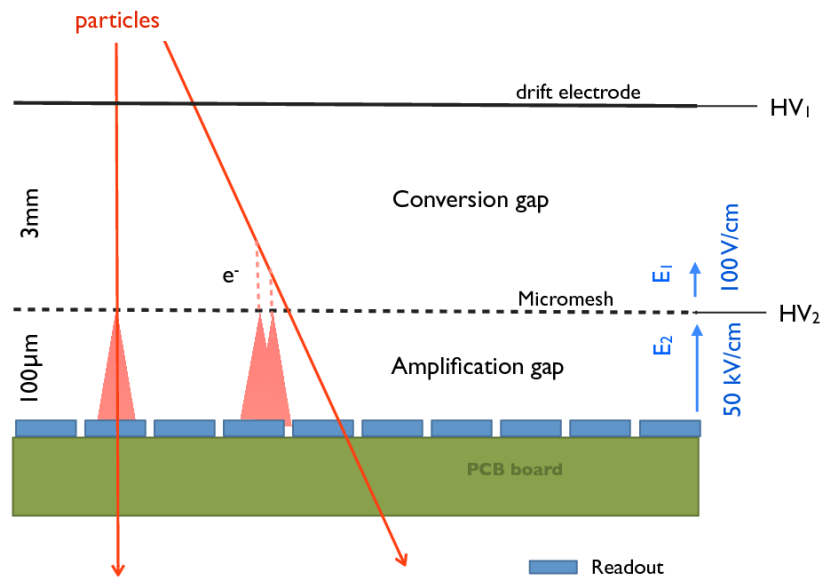
Fonctionnement du détecteur Micromegas

Ionisation dans l'espace de conversion
3 mm d'argon \rightarrow 30 paires e^-/i^+ pour un MIP

Dérive des électrons vers la grille
3 mm d'argon \rightarrow collection en 50 ns

Multiplication in 128 μm gap
Gain $> 10^4$, contrôlé par la tension de grille
 $1 e^- \rightarrow$ signal = 1 ns (e^-) + 100 ns (i^+)

Particule au minimum ionisant
Signal de 1-20 fC en fonction du gain



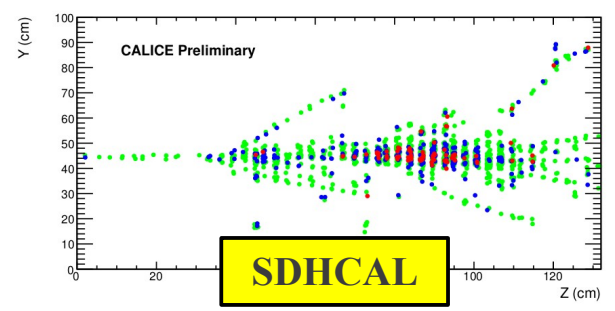
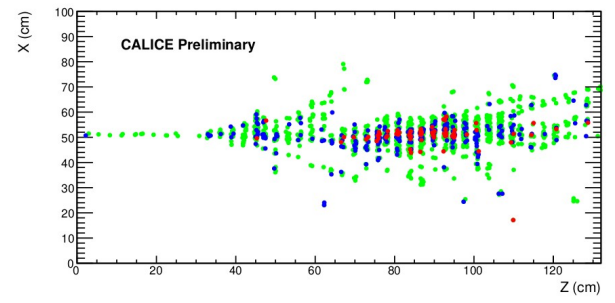
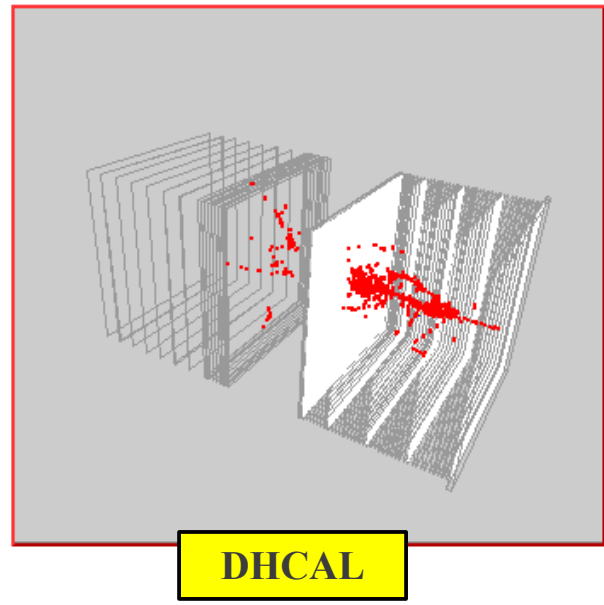
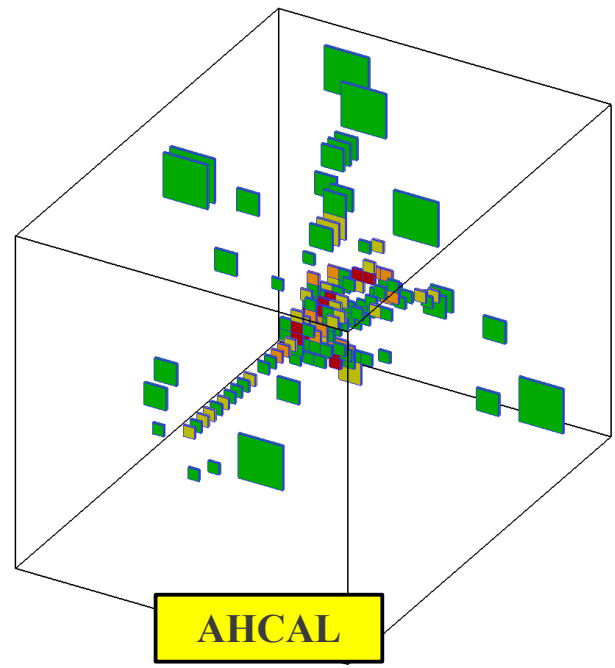
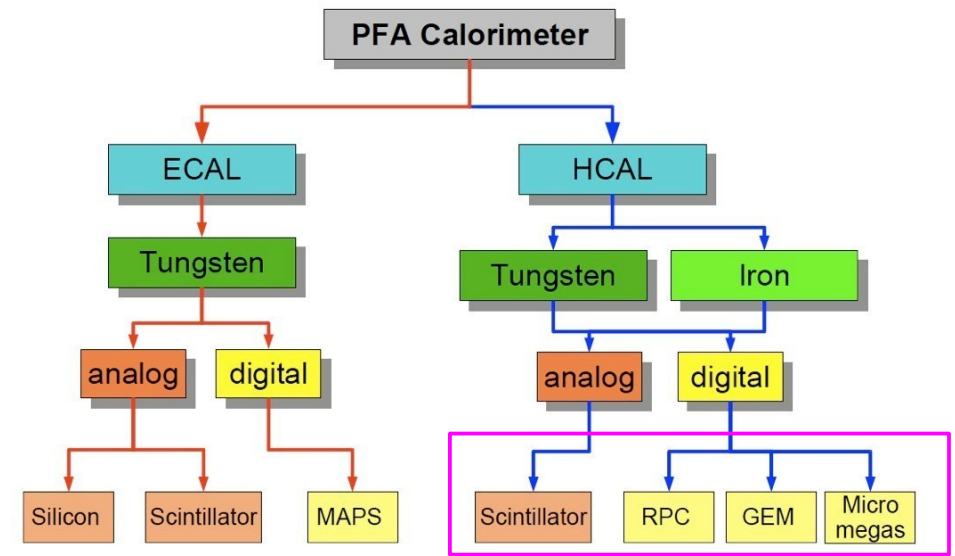
La calorimétrie hadronique à un LC

Forte concurrence sur le HCAL dans CALICE

AHCAL : scintillateurs 3x3 cm², lecture SiPM, ADC 12 bits
→ bonne résolution VS calibration complexe

DHCAL : gaz (RPC) 1x1 cm², lecture à 1 seuil (1 bit)
→ haute granularité (compensation, PFA) VS réponse saturée

SDHCAL : gaz (RPC, Micromegas) 1x1 cm², lecture 2 bit
→ reconstruction de l'énergie plus précise avec 3 seuils



Micromegas pour le SDHCAL

Lecture à 1 seuil

Saturation géométrique (R_M et taille des damiers)

→ $N_{hit} \sim \log(E)$ et dégradation de la résolution en énergie

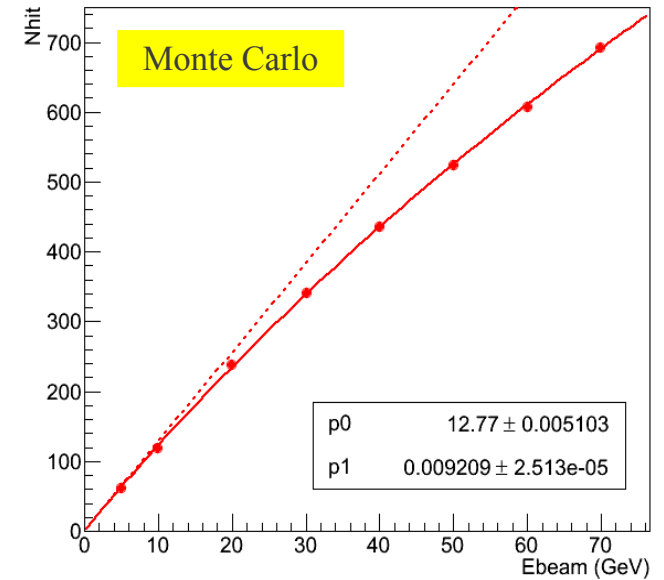
Correction utilisant la granularité possible

mais l'amélioration de la résolution n'est pas encore quantifiée

Lecture à 3 seuils

Monte Carlo (3/17 mm Ar/Fe) → amélioration dès 10 GeV

Tests sur faisceau SDHCAL Fe/RPC → amélioration au delà de 40 GeV



Signal MIP : Micromegas VS RPC

Charge de l'avalanche plus petite (10 fC VS 10 pC)

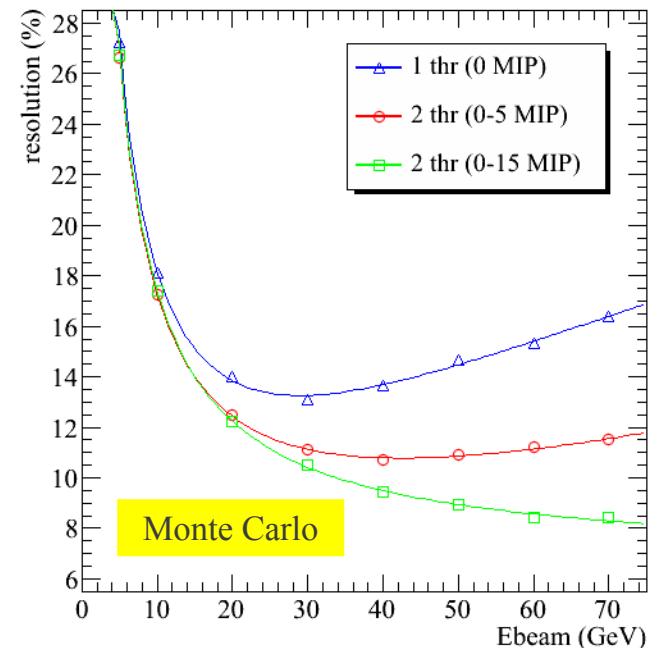
Temps d'évacuation des charges plus court (150 ns VS 1 ms)

Étalement des charges réduit ($\sigma \sim 20 \mu\text{m}$ VS $\sigma \sim 2 \text{ mm}$)

→ charge d'espace diffère de plusieurs ordres de grandeur

RPC : signal saturé si les particules traversant un damier sont trop proches

Micromegas : signal proportionnel + tenue en flux mais étincelles possibles



Les prototypes Micromegas fabriqués au LAPP

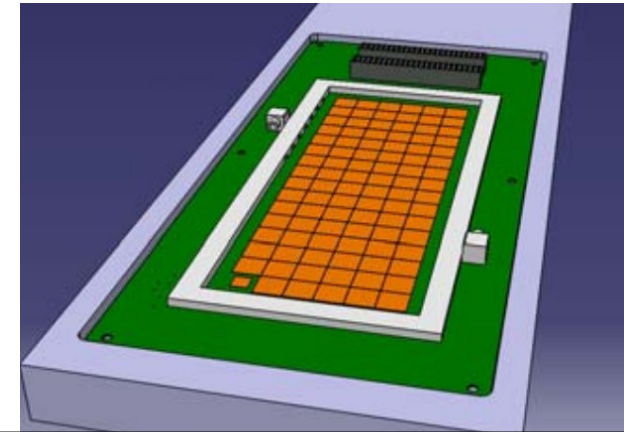
Petits prototypes ($\sim 10^2$ canaux), 2006-2009

Espace de dérive de 3 mm, damiers de $1 \times 1 \text{ cm}^2$

Lamination de la grille (Bulk) : piliers de $128 \mu\text{m}$

Électronique analogique (10 bits) hors détecteur

Surface active de $6 \times 16 \text{ cm}^2$ (+ 1 prototype de $12 \times 32 \text{ cm}^2$)



Prototype Micromegas $6 \times 16 \text{ cm}^2$

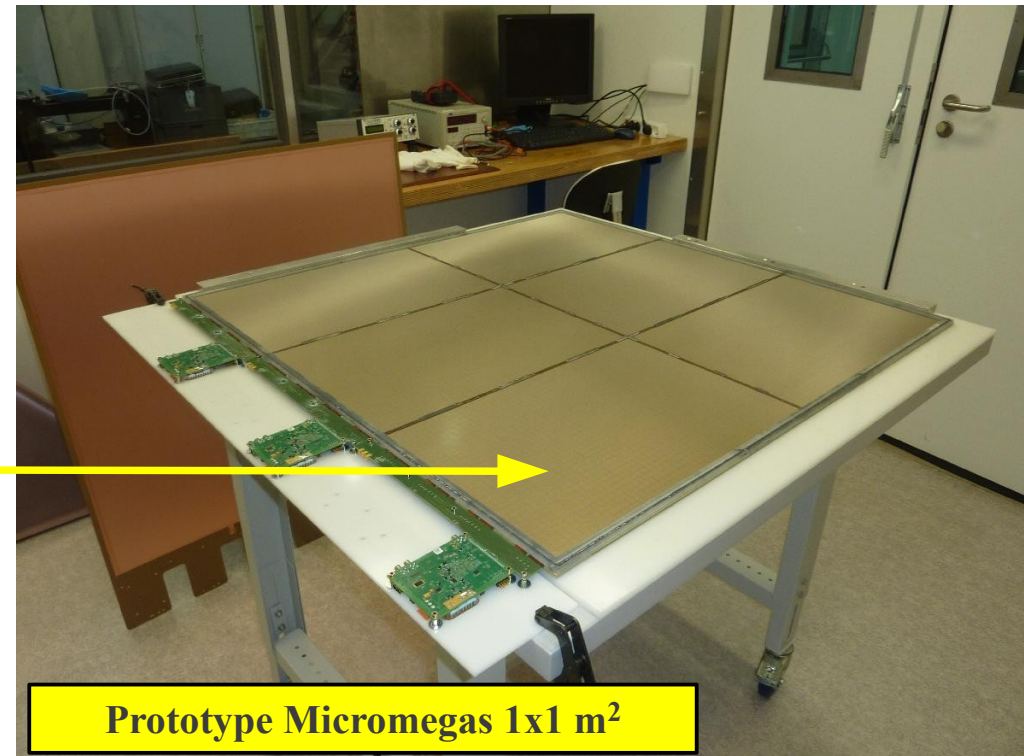
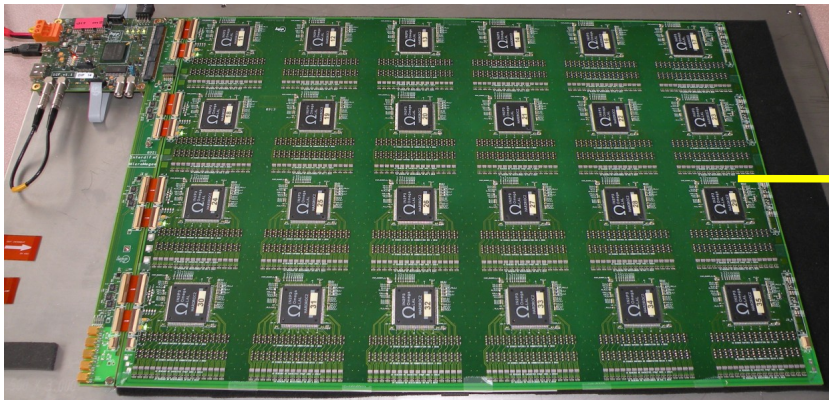
Grands prototypes ($\sim 10^4$ canaux), 2009-2013

Électronique à 3 seuils (2 bits) embarquée sur détecteur

Surface active de $\sim 96 \times 96 \text{ cm}^2$

Pavage de 6 cartes de $32 \times 48 \text{ cm}^2$

Active Sensor Unit (ASU)

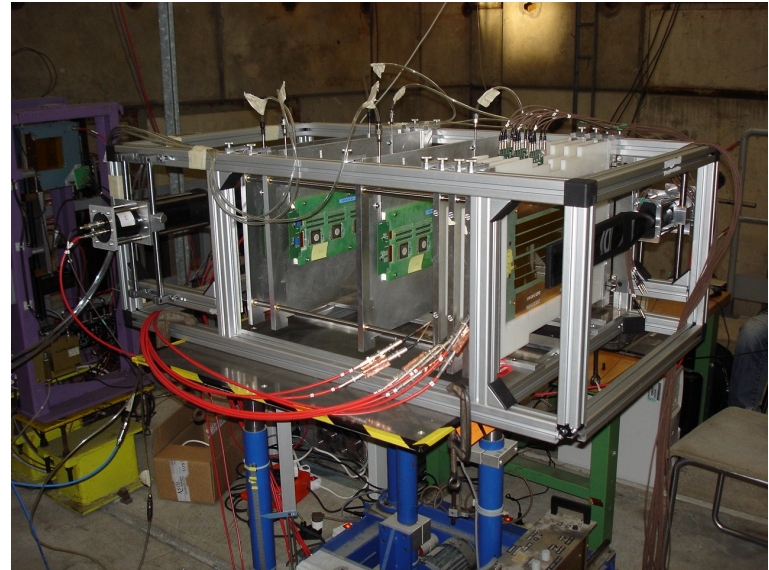


Prototype Micromegas $1 \times 1 \text{ m}^2$

Objectifs des tests sur faisceau

Petits prototypes

- Caractérisation complète de la réponse aux MIPs
- Comportement dans les gerbes électromagnétiques

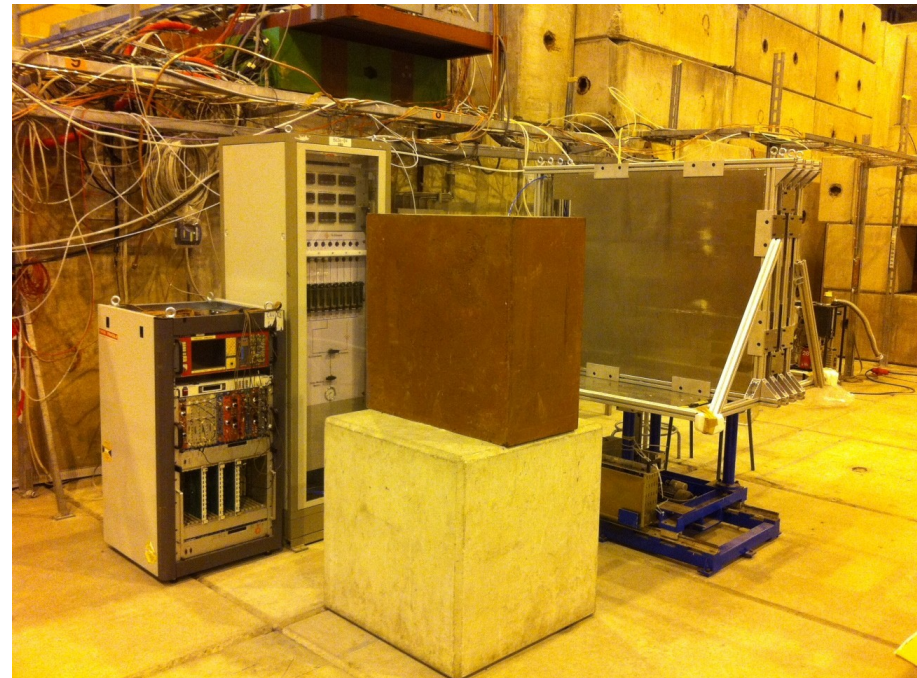


Grands prototypes seuls

- Point de fonctionnement dans les gerbes hadroniques
- Uniformité des performances
- Effet des zones mortes entre les cartes ASU
- Tenue en flux et effet de charge d'espace
- Calibration de la lecture analogique

Grands prototypes dans le SDHCAL

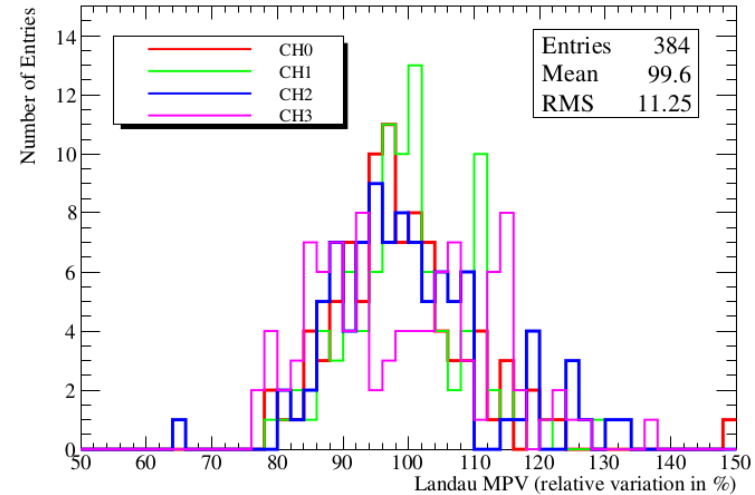
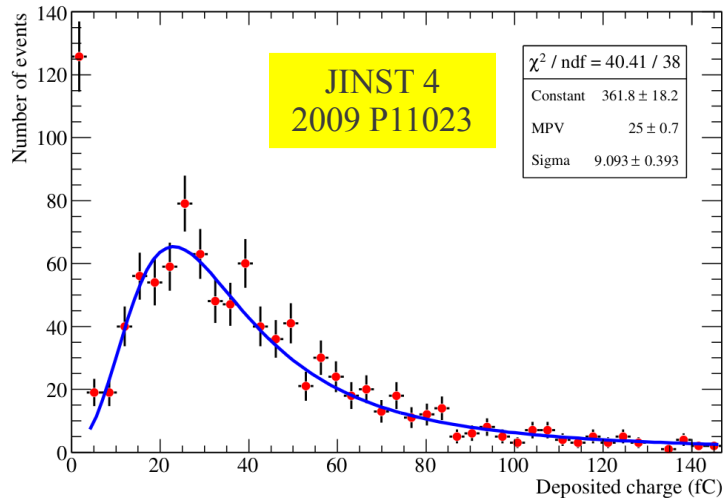
- Profils longitudinaux de gerbes hadroniques
- Réponse d'un SDHCAL virtuel Micromegas
- Comportement des 3 seuils envers l'énergie



Résultats obtenus avec les petits prototypes (2008)

Caractérisation complète de la **réponse aux MIPs** (muons de 150 GeV/c, CERN/SPS)

4 chambres Micromegas remplies d'un mélange gazeux Ar/iC₄H₁₀ 95/5, gain de $\sim 15 \cdot 10^3$



Distributions de Landau : maximum à 20-25 fC, variations relatives de $\sim 10\%$ RMS de damier à damier.

Efficacités $> 97\%$ avec un seuil à 0.1 MIP, multiplicité des damiers touchés < 1.1

Ch.	Raw eff.	Noise corr. eff.	Disp.
CH0	(99.0±0.1)%	(97.7±0.1)%	0.79%
CH1	(99.0±0.1)%	(97.7±0.1)%	0.51%
CH2	(93.0±0.1)%	(91.2±0.1)%	3.74%
CH3	(98.8±0.1)%	(97.2±0.1)%	0.75%

Chamber	Raw mult.	Noise Corr. mult.
CH0	1.070±0.008	1.057±0.008
CH1	1.080±0.008	1.065±0.008
CH2	1.090±0.008	1.070±0.008
CH3	1.114±0.008	1.096±0.008

L'uniformité de l'efficacité dépend du seuil appliqué offline : 1 % à 0.1 MIP, 3 % à 1 MIP... 17 % à 5 MIP...

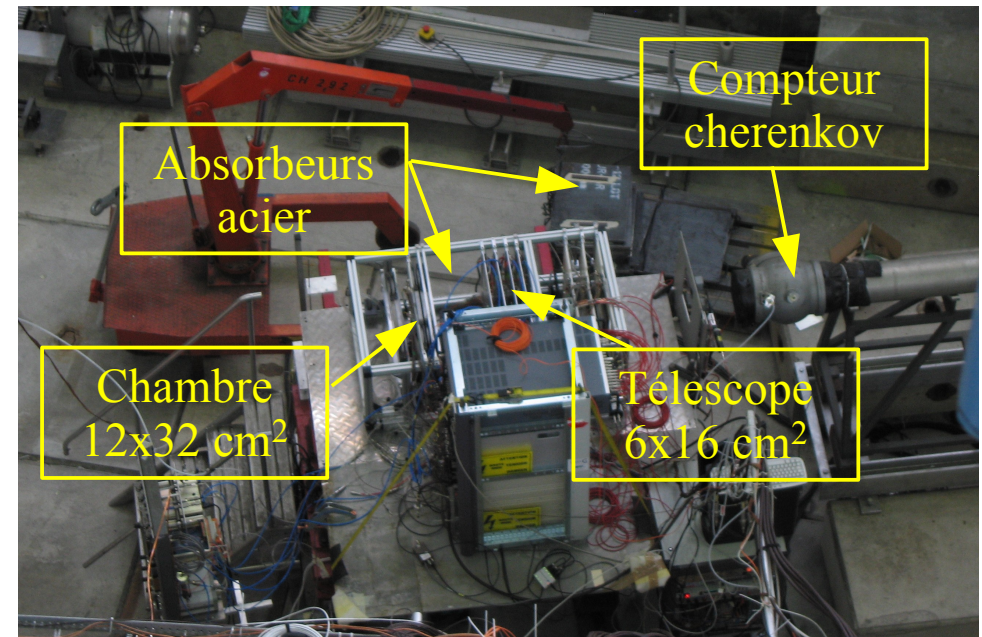
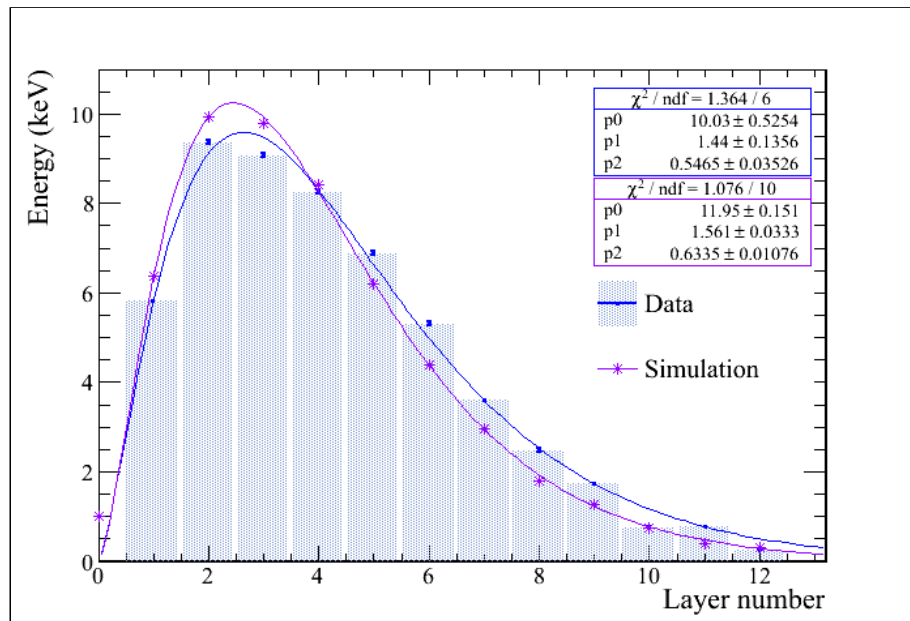
Résultats obtenus avec les petits prototypes (2009)

Comportement dans les gerbes électromagnétiques (électrons de 2 GeV/c, CERN/PS)

4 chambres Micromegas remplies d'un mélange gazeux Ar/iC₄H₁₀ 95/5, gain de $\sim 15 \cdot 10^3$

Mesure du profil longitudinal

3 chambres en télescope + **nombre variables d'absorbeurs en acier** + 1 chambre où l'énergie est mesurée



Au maximum de la gerbe, 10 keV en moyenne sont déposés dans la chambre (~ 12 fois la MIP)

Taux d'étincelle non négligeable \rightarrow gain probablement trop élevé

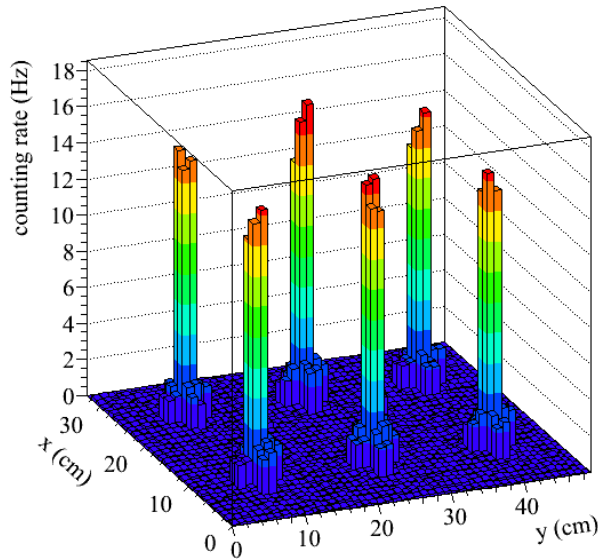
Bon accord avec la simulation \rightarrow calibration correcte

Mesures en laboratoire : réponse aux rayons X des cartes ASU

Les cartes ASU 32x48 cm² sont testées sous gaz avant assemblage dans les chambres 1x1 m²

Mesure du taux de comptage des quanta du ⁵⁵Fe (5.9 keV → 230 e⁻) dans un mélange Ar/CF₄/iC₄H₁₀ 95/3/2

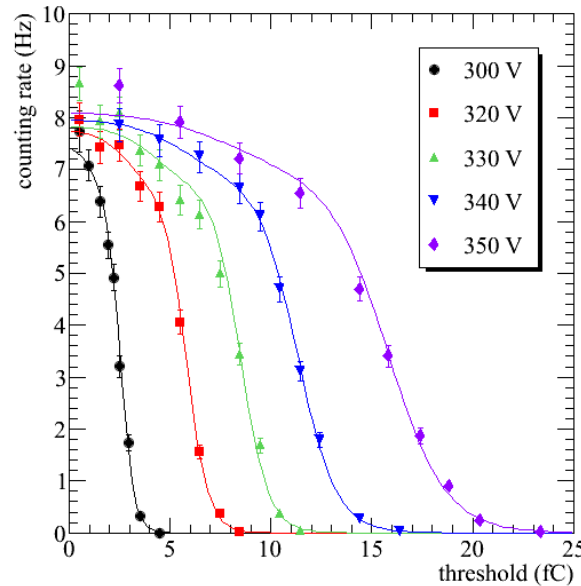
Taux VS position



Measurement of the ⁵⁵Fe quanta counting rate over ASU surface

→ Variations below 3% RMS

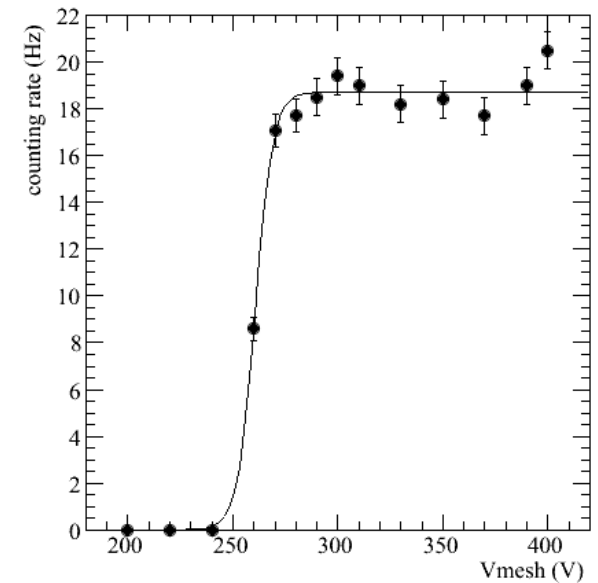
Taux VS seuil



Gas gain is measured from the trend of inflexion point VS mesh voltage

→ $G = 1.8 \times 10^{-3} \times \exp(0.035 \times V_{\text{mesh}})$

Taux VS tension



At 260 V, the threshold is equal to the ⁵⁵Fe photopeak charge

→ Minimum threshold ~ 1 fC

Tests sur faisceau des grands prototypes

Temps de faisceau important accordé par le CERN au groupe Micromegas en 2011 et 2012

Juillet 2011 → 1^{ère} chambre en test au SPS sur H4 (~ 3 semaines)

Octobre 2011 → 2 chambres dans le SDHCAL sur H8 (~ 3 jours)

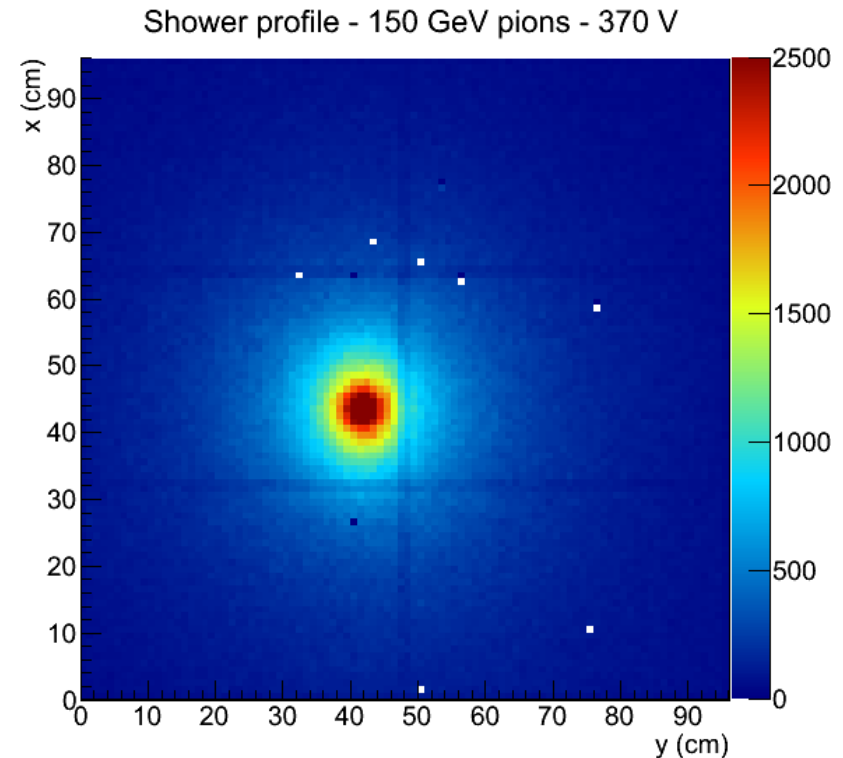
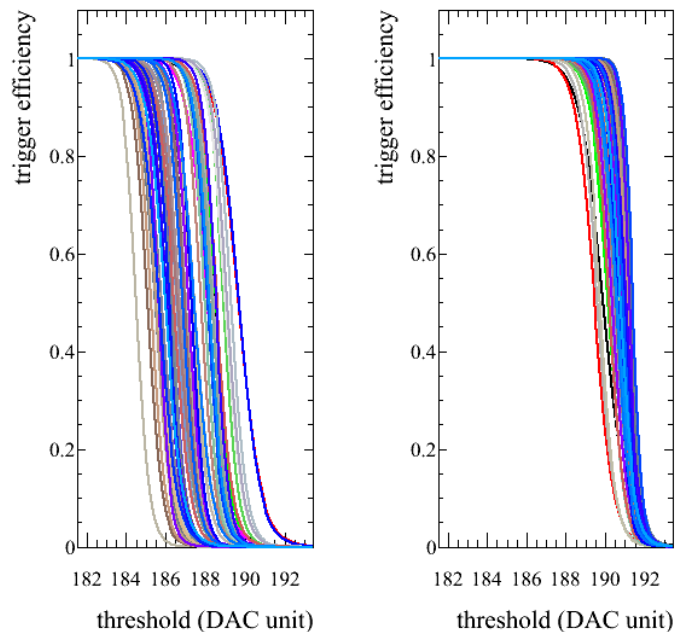
Mai 2012 → 2 chambres dans le SDHCAL synchronisées avec les RPCs sur H2 (~ 3 jours)

Novembre 2012 → 4 chambres seules sur H4 puis dans le SDHCAL sur H2 (~ 3 semaines)

Quatre chambres 1x1 m² construites:

1 → Quelques voies masquées ; 2 → Un ASIC manquant ; 3 → Problème HV sur un ASU ; 4 → Un ASIC problématique

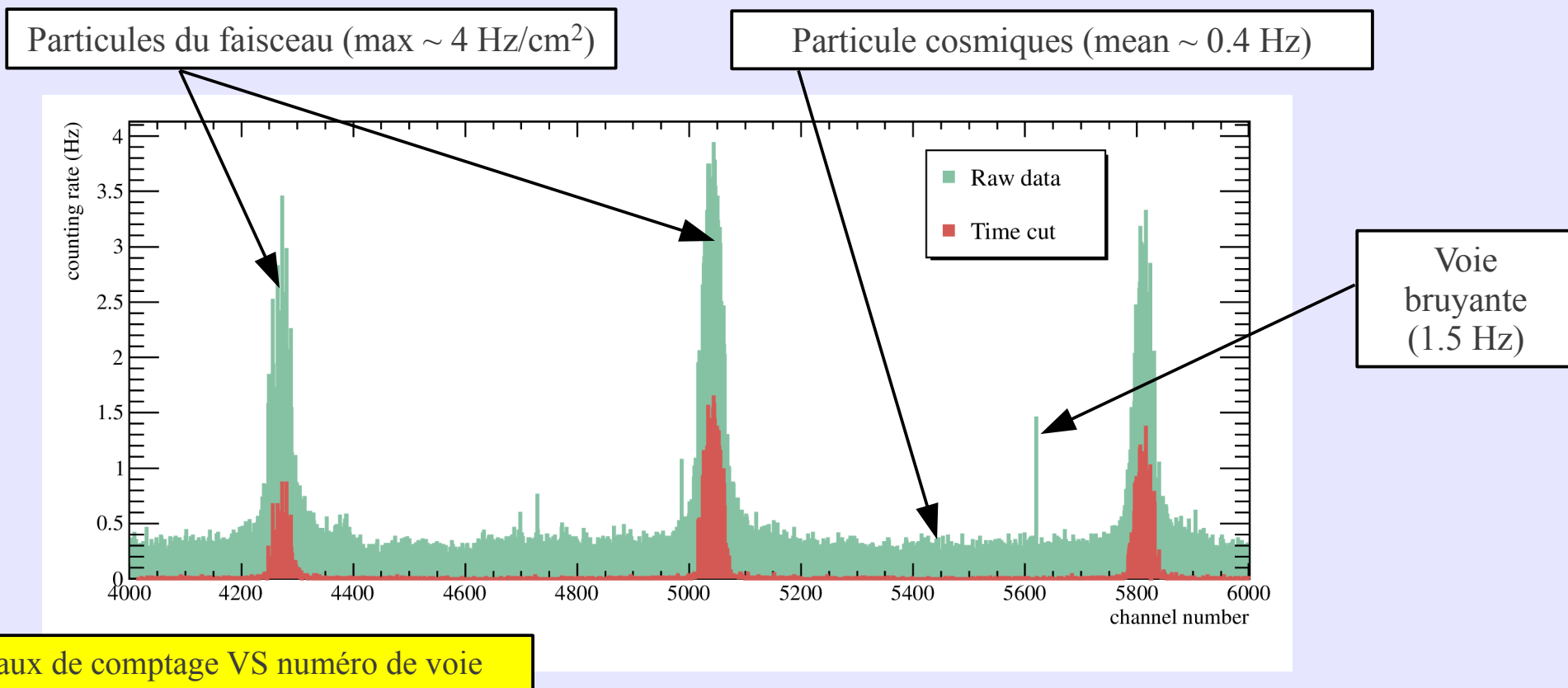
Alignement des seuils + shaper $dG/G < 2\%$
→ réponse uniforme des détecteurs



Taux de comptage sur faisceau et bruit

Faisceau de muons de 150 GeV/c, 250 Hz, focalisé sur une surface de $\sim 100 \text{ cm}^2$

→ conditions de bruit excellentes



Après coupure sur le temps du trigger ($\pm 200 \text{ ns}$) :

les contributions des particules cosmiques et des quelques voies « bruyantes » disparaissent.

Efficacité de détection de particules faiblement ionisantes

Faisceau de muons de 150 GeV/c focalisé au centre d'une carte ASU

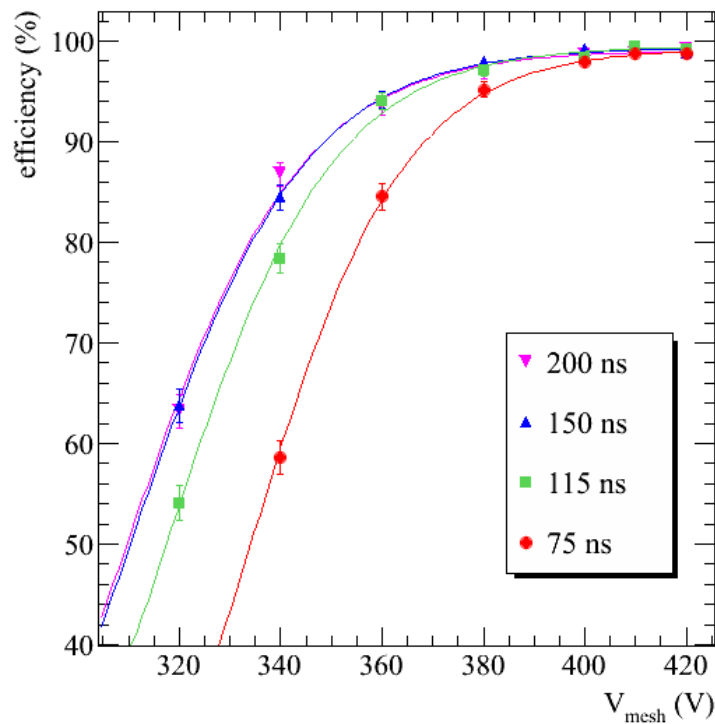
Traces extrapolées du télescope à la chambre 1x1 m²

Réglage par défaut du temps de montée du shaper (200 ns) :

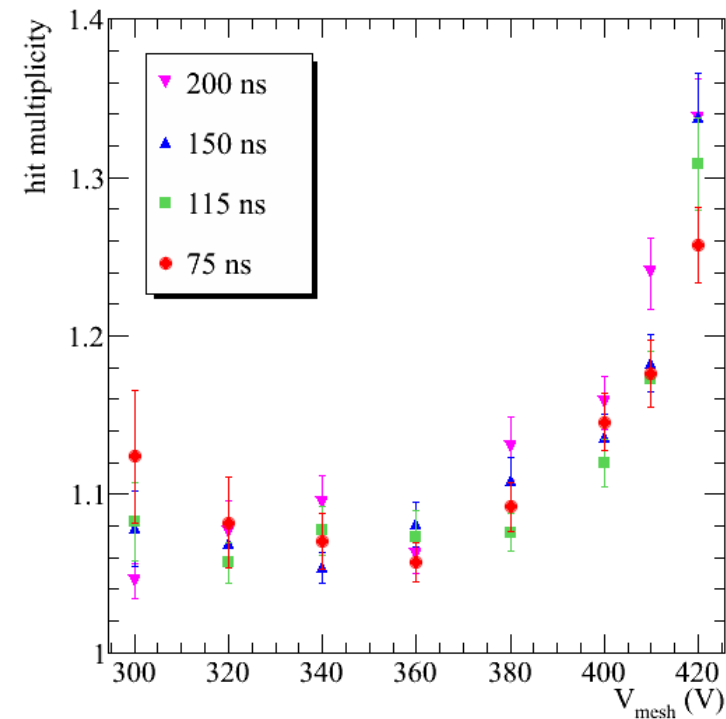
→ efficacité > 95 % dès 365 V

→ multiplicité des damiers touchés < 1.1 sous les 400 V (~1.05 pour les traces \perp aux cartes)

Efficacité et tension de grille



Multiplicité des damiers touchés



Uniformité de l'efficacité et la multiplicité

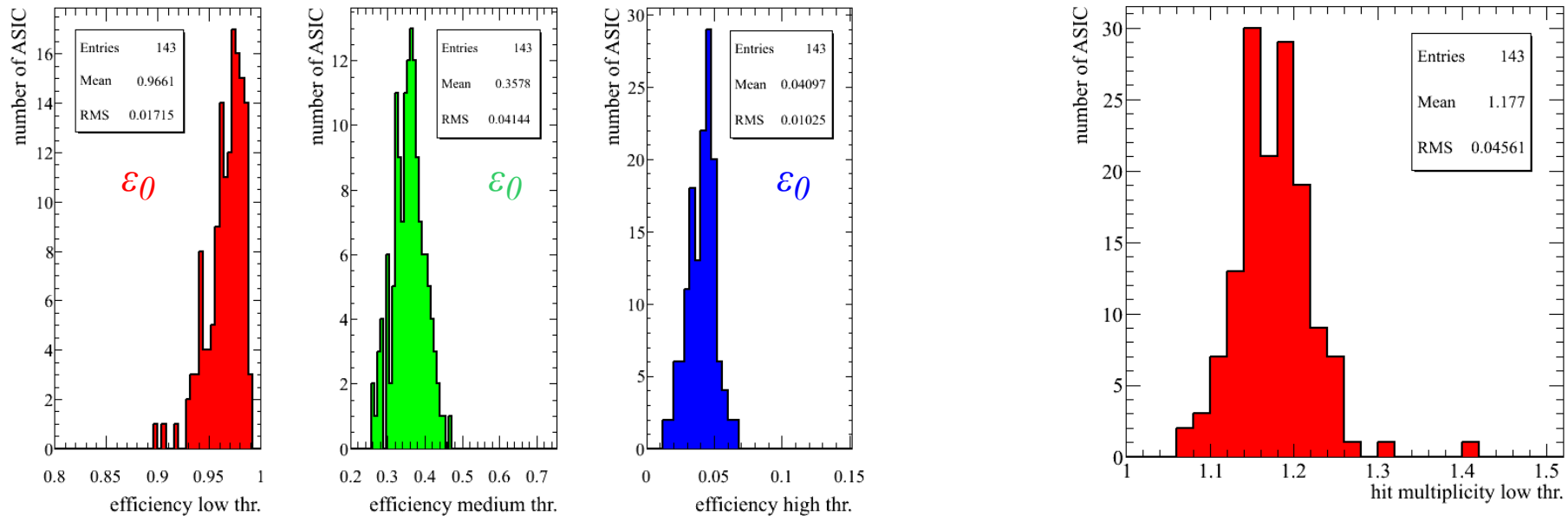
Mesures effectuées dans le SDHCAL (plans 49/50 et 50/50) utilisant les RPCs comme télescope

→ Carte de l'efficacité et la multiplicité par ASIC (i.e. régions de 8x8 cm²) pour les 3 seuils

Réglages des seuils pour ce run : (~ 0.25 , 2, 10) MIPs, tension de grille à 400 V (gas gain ~ 2000)

Efficacité - 3 seuils ($\epsilon_0 > 96\%$)

Multiplicité – seuil bas ($m_0 < 1.2$)



Variations relative de l'efficacité : 2%, 12% et 25% pour les 3 seuils (← dispersion du gain et des seuils)

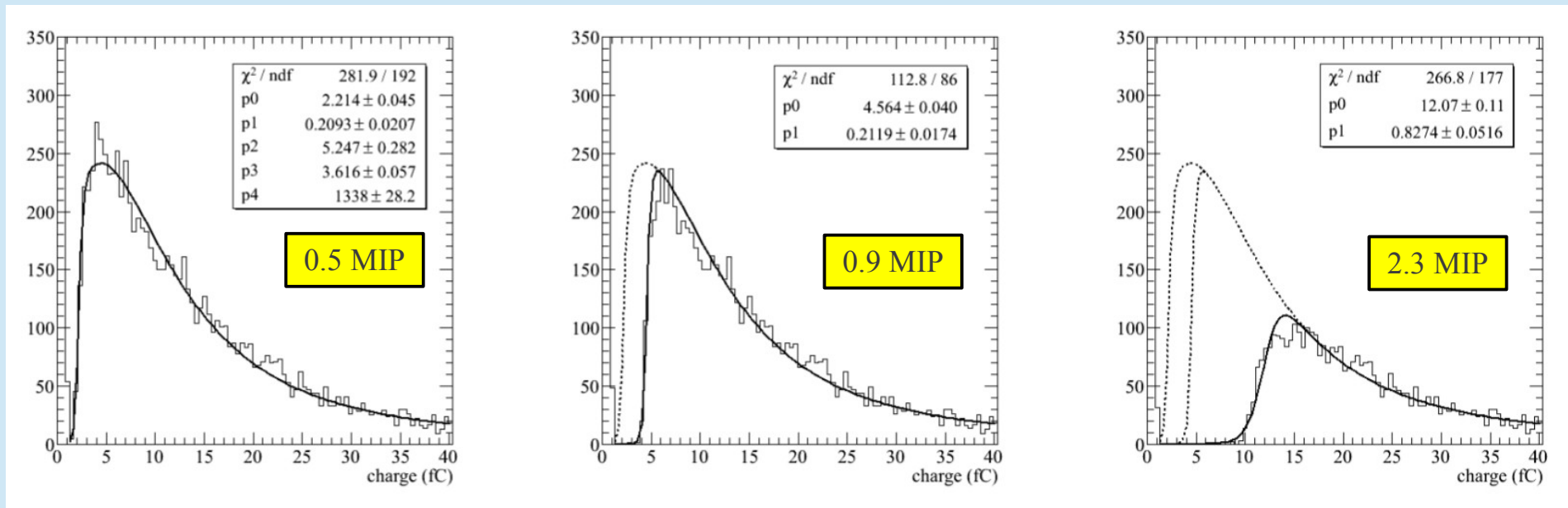
Ces variations dégraderaient probablement les possibilités de compensation d'un SDHCAL!

- Il est toutefois possible de mesurer la distribution du signal et d'ajuster en conséquence les seuils :
- Lecture analogique implémentée sur les cartes ASUs.

Lecture (analogique) des signaux des « shapers »

Information digitale et analogique → distribution de Landau avec coupures sur les seuils franchis

Distribution de Landau mesurée sur 3 ASIC (~ 200 cm²) avec coupure sur les seuils

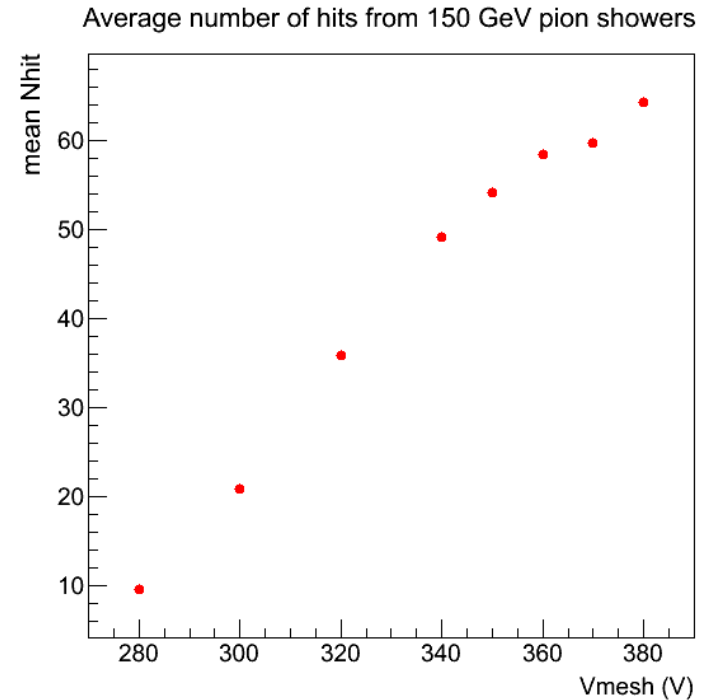
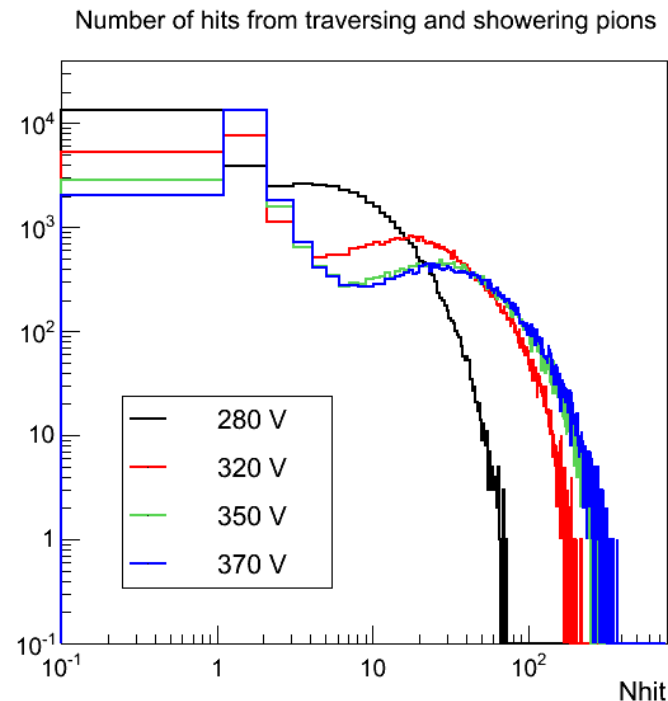
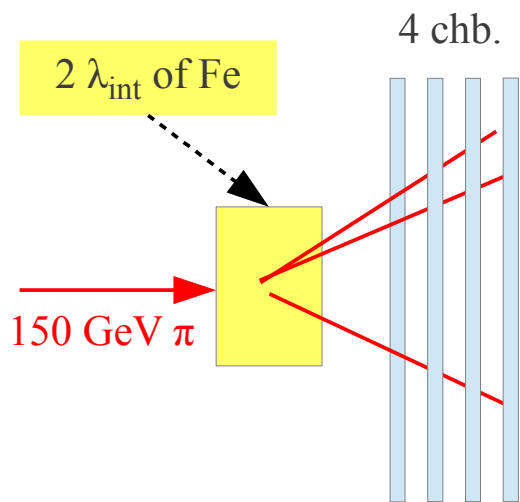


Les seuils sont mesuré en unité MIP qui est l'unité naturelle pour un calorimètre
→ la connaissance du gain dans le gaz et du gain de l'électronique n'est pas requise !
→ Runs de calibration dédiés au contrôle des seuils.

Gain nécessaire dans les gerbes hadroniques

Le fonctionnement du Micromegas à bas gain est toujours préférable.. et possible !

Exp. setup



Les 4 chambres sont utilisées pour identifier les pions traversant ($\sim 10\%$).

Au delà de 370 V, la multiplicité aux MIPs n'est plus constante (1.1) mais augmente.

Le nombre de hits enregistrés dans les gerbes de pions de 150 GeV/c atteint un plateau à 360 V

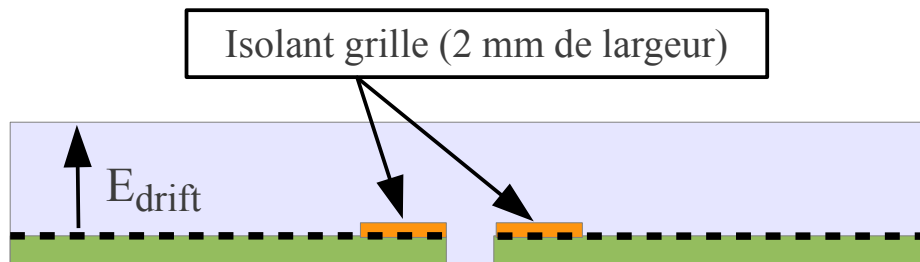
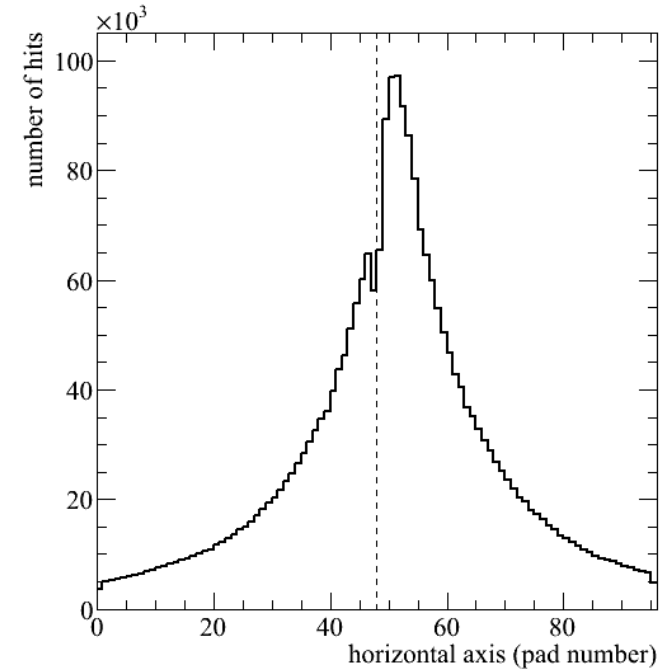
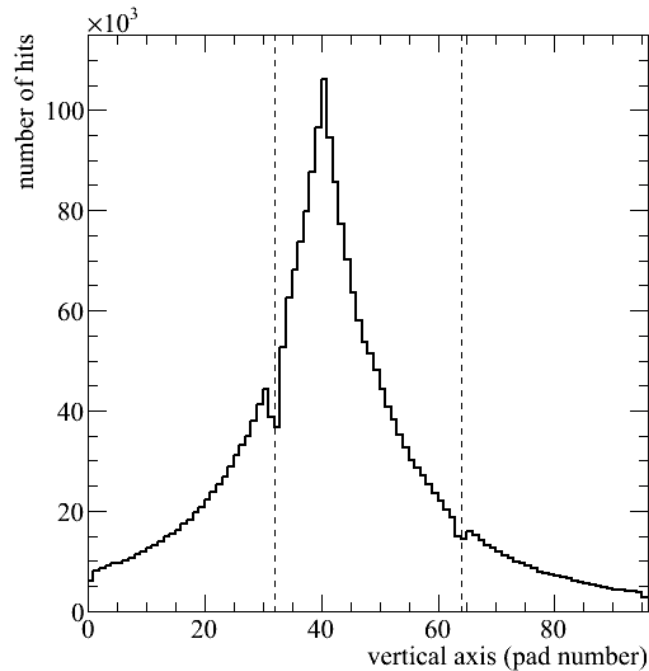
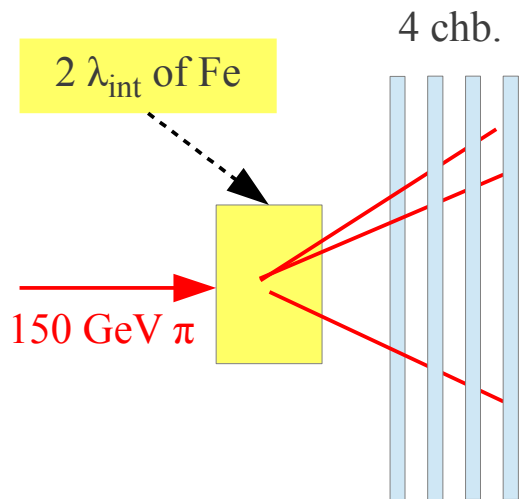
→ Un gain de 500 est suffisant pour mesurer toute la gerbe hadronique !

Effet des zone mortes sur le nombre de damiers touchés

Les distributions spatiales du nombre de hits révèlent les zones mortes entre les cartes ASU

→ les damiers au bords des cartes souffrent d'une baisse d'efficacité de 20 % environ

Exp. setup



Le champ électrique entre deux ASUs n'est probablement pas suffisamment uniforme.

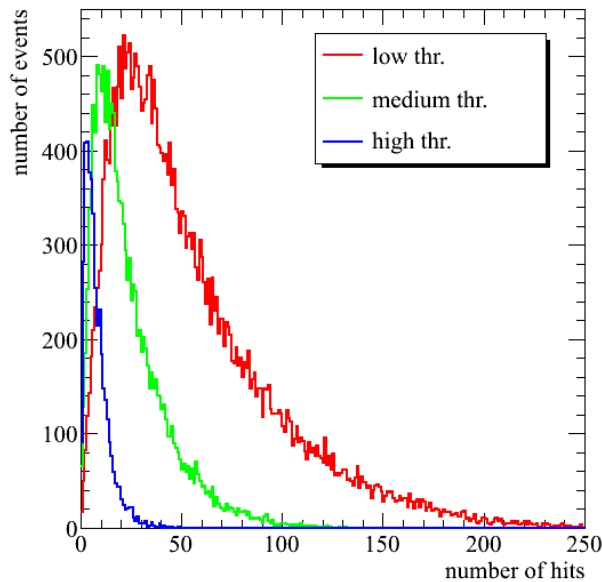
Tenue en flux des chambres

Comme attendu: pas de dépendance de la réponse des chambres envers le taux de particules, au moins jusqu'à un taux de gerbes hadroniques de 10 kHz

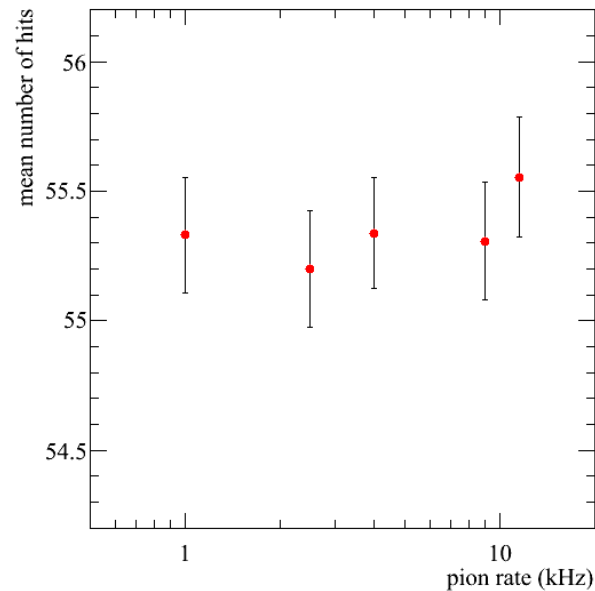
Les 4 chambres sont utilisées pour identifier les gerbes hadroniques : > 90% des pions

Tension de grille de 360 V → Gain ~ 500 → Fonctionnement très stable du Micromegas.

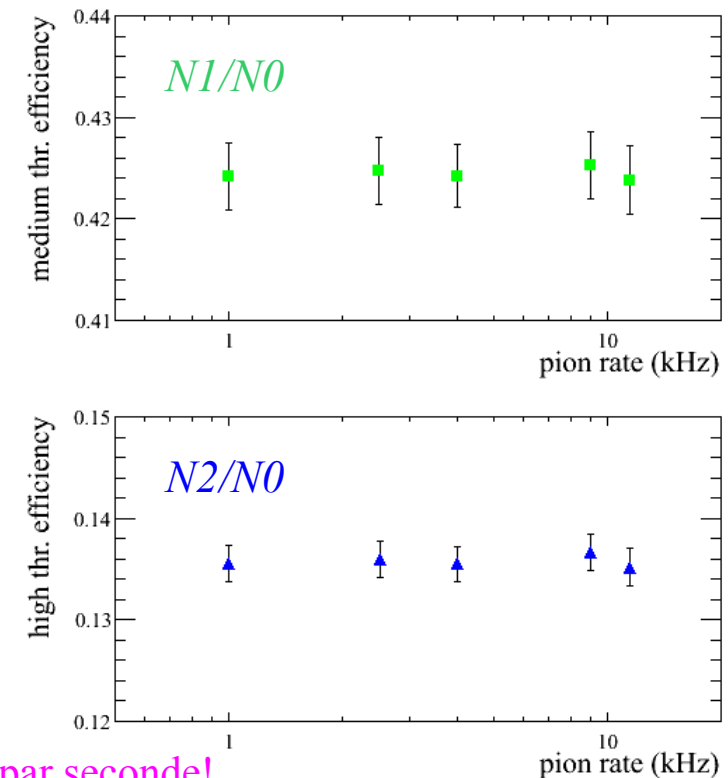
N_{hit} of 3 thr @ 1 kHz



Mean N_{hit0} VS rate



Ratio N_{hit1}/N_{hit0} & N_{hit2}/N_{hit0} VS rate



En moyenne 55 hits sont enregistrés par gerbe hadronique

A 10 kHz → au moins 550 000 particules secondaires traversent la chambre par seconde!

Tenue en flux → Micromegas peut fonctionner dans le tonneau comme dans les bouchons.

Profils longitudinaux des gerbes de pions

Set-up: SDHCAL équipé de 46 RPCs et 4 Micromegas aux plans 10, 20, 35, 50 (CERN/SPS)

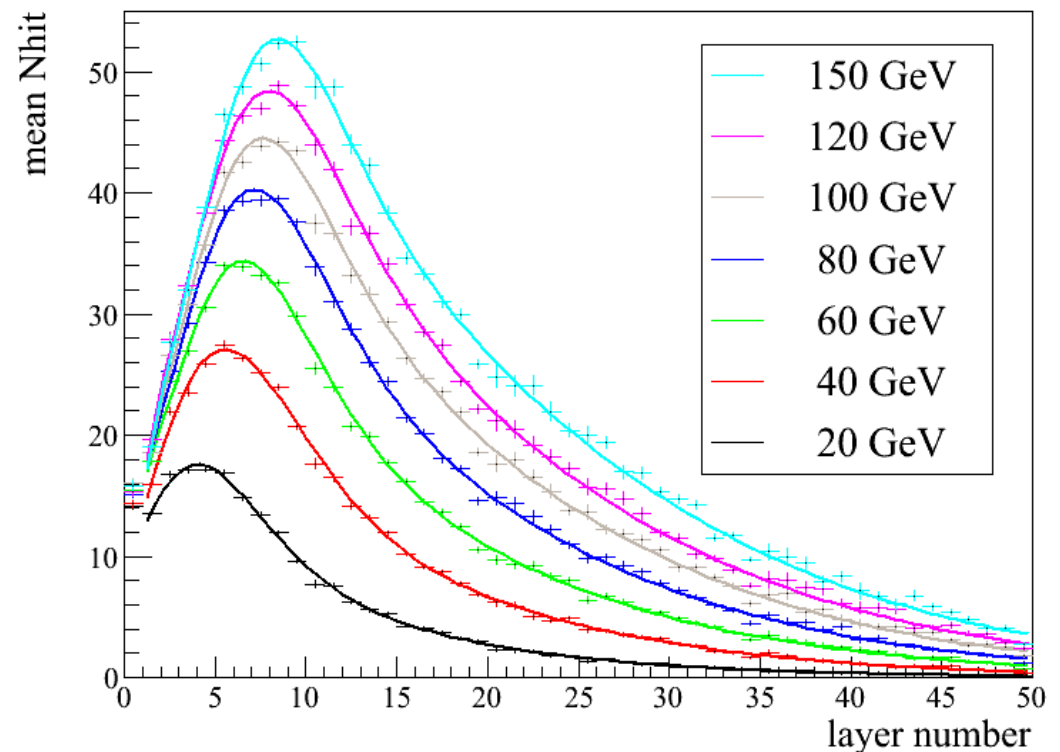
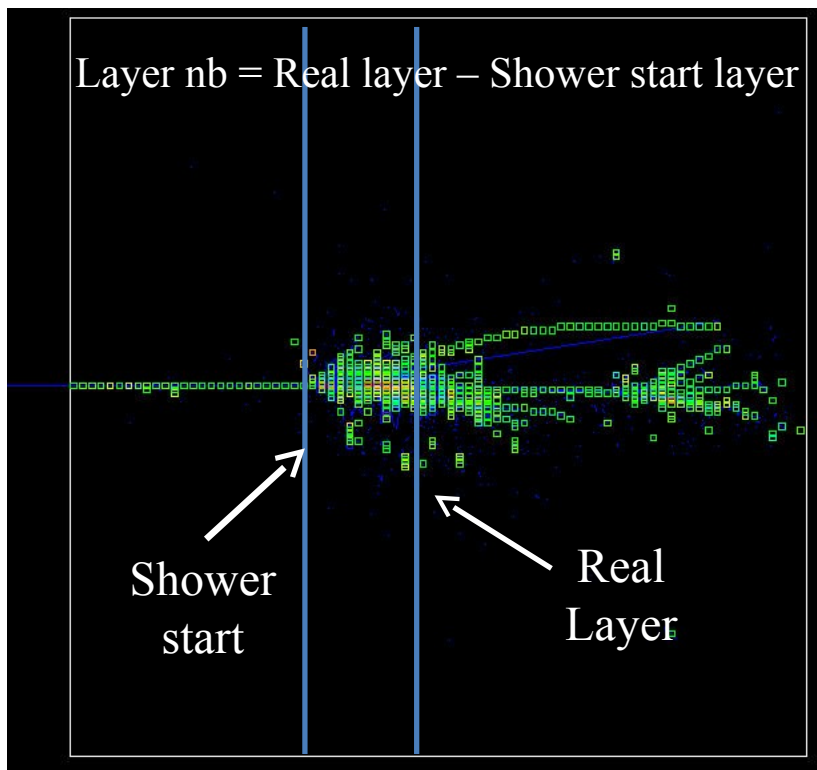
Fluctuation importante du point de départ de la gerbe hadronique ($\sigma_z \sim \lambda_{\text{int}}$)

→ la position des chambres Micromegas par rapport au point de départ varie

Identification du point de départ avec toutes les chambres & mesure du nombre de hits dans les Micromegas seulement.

→ profil longitudinal des gerbes de pions dans un SDHCAL Micromegas virtuel de 50 plans!

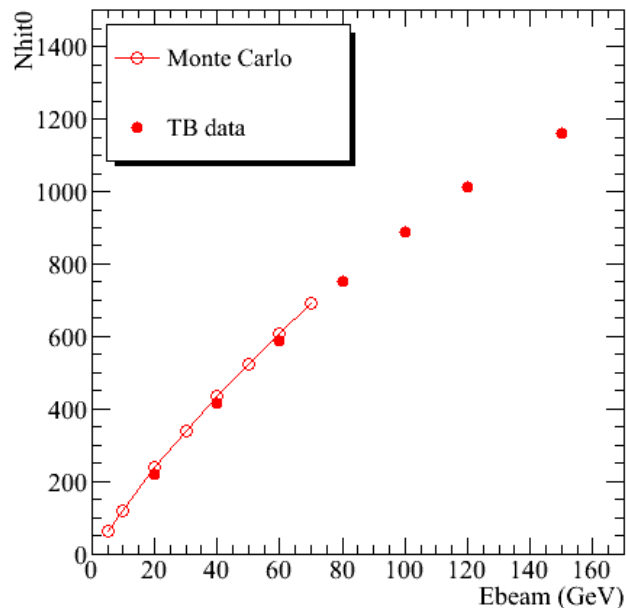
Longitudinal profile of pions showers (low thr.)



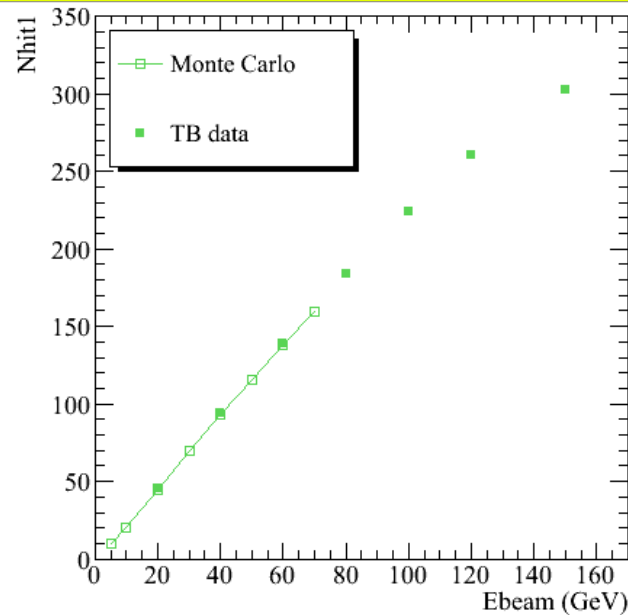
Réponse aux pions d'un calorimètre virtuel (Data & Monte Carlo)

Par intégration des profils, on obtient la réponse (des 3 seuils) du SDHCAL Micromegas virtuel.
Et l'on commence à tester les simulations Monte Carlo (Geant4)

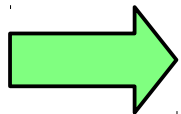
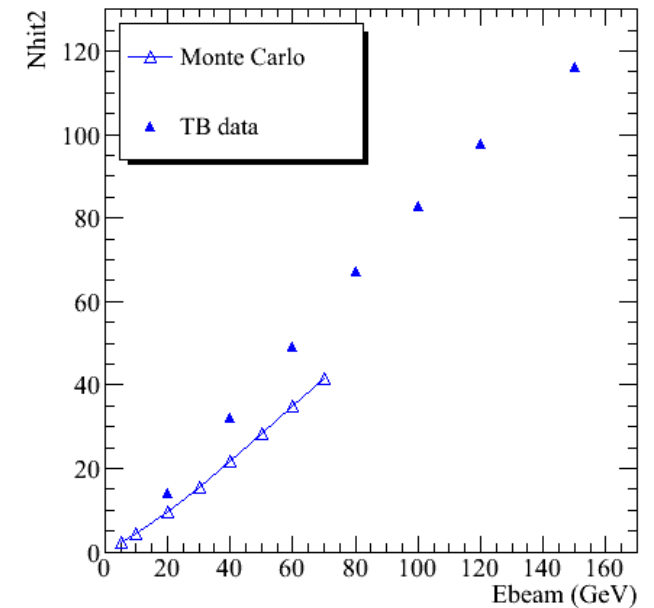
Seuil bas



Seuil milieu



Seuil haut



Bon accord mesures/simulation pour les seuils bas et haut.
La réponse du seuil haut reste plus difficile à reproduire.

Conclusions

- Objectifs des tests sur faisceau atteints
 - Bonne compréhension du détecteur (un article soumis au journal NIMA en avril 2013)
 - Travail d'analyse se poursuit (deux articles supplémentaires d'ici 2014)
- Excellentes performances des chambres Micromegas de $1 \times 1 \text{ m}^2$
 - Électronique bas bruit (MICROROC)
 - haute efficacité à bas gain
 - Stabilité dans les gerbes hadroniques (\sim pas d'étincelles + protections efficaces)
 - Réglages précis des seuils
 - Bonne uniformité (corrections possible grâce à la lecture analogique)
- Étude d'un calorimètre Micromegas virtuel avec 4 chambres dans le SDHCAL
 - Comparaison prometteuse de la réponse aux pions (données TB et Monte Carlo)
 - Validation du Monte Carlo cruciale
 - simulation de la résolution en énergie, technique de compensation offline etc...