

SDHCAL Micromegas

Activités présentes et futures

M. Chefdeville pour le groupe Micromegas du LAPP, Annecy

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

Sommaire

- Groupe LAPP/Micromegas : état des lieux
- Analyse : étude des performances d'un SDHCAL
 - Simulation Monte Carlo
 - Données de tests sur faisceau
- R&D : protection contre les étincelles
 - Micromegas résistifs

Projet SDHCAL/Micromegas : état des lieux

Chronologie

2006-2009 : petits prototypes 100 cm²

2009-2012 : grand prototypes 1x1 m²

Bilan

Quatre prototypes de 1x1 m² construits et testés sur les faisceaux du CERN/SPS

+ DAQ CALICE intermédiaire compatible RPC et Micromegas

→ beaucoup de mesures effectuées hors et dans le SDHCAL

→ bonne compréhension des grands prototypes Micromegas

Futur

L'IN2P3 ne supportera pas le coût d'un SDHCAL Micromegas (50 plans).

+ les décisions concernant la construction d'un futur LC se font attendre.

→ Terminer l'analyse des données Micromegas et publier les résultats (1 article soumis à NIM en avril)

→ Approfondir la compréhension du SDHCAL : réponse, résolution en énergie, corrections multi-seuils...

→ Simplification du dessin des chambres pour baisser les coûts

Approfondir la compréhension du SDHCAL

1. Modèle du SDHCAL dans Geant4

2. Mesure de l'énergie des hadrons (pions) à partir du nombre de hits (Monte Carlo)

Distributions du nombre de hits

Fraction électromagnétique

Reconstruction de l'énergie du hadron

Résolution en énergie

3. Utilisation de l'information multi-seuils (Monte Carlo)

Étude à 2 seuils

4. Données de test sur faisceau et calibration des chambres

Réponse du SDHCAL aux pions

Importance de la calibration

Simulation Geant4 et conversion énergie / hit

Modèle du SDHCAL

100 détecteurs de $1 \times 1 \text{ m}^2$ ($\sim 10 \lambda_{\text{int}}$)

Milieu passif: 17 mm d'acier (absorbeurs et détecteurs)

Milieu actif: 3 mm d'argon

Segmentation en damiers de $1 \times 1 \text{ cm}^2$

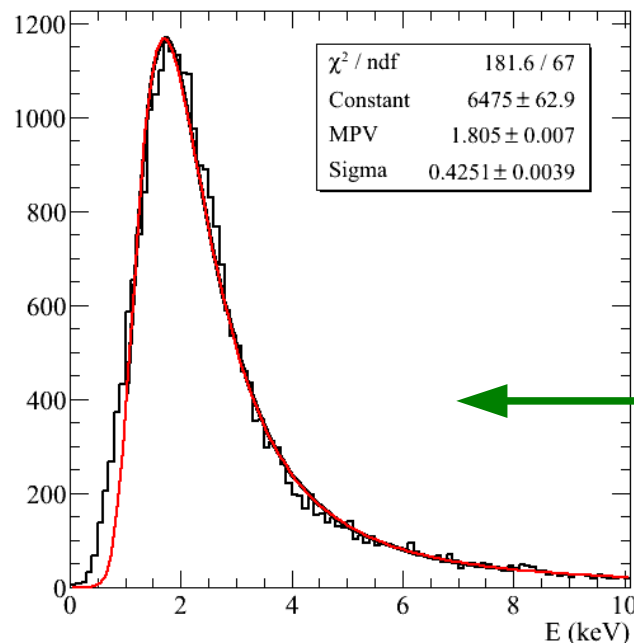
Simulation

Geant4 version 4.9.5

Physics list QGSP_BERT

Statistique : 10^4 pions par énergie

Énergie : 5, 10, 20... 70 GeV



Début de gerbe et fraction électromagnétique

Localisation de la 1^{ère} interaction inélastique nucléaire $\rightarrow z_0$

Identification mésons neutres et particules filles \rightarrow EM visible energy

Conversion énergie (keV) \rightarrow hits (N0, N1, N2)

Seuil bas = 1 e⁻ primaire ($\sim 15 \text{ eV}$)

Seuils milieu et haut des tests sur faisceau : 5 and 15 MIPs

La MIP est déterminée grâce à un échantillon de muons $\sim 1.8 \text{ keV}$

Distribution du nombre de hits

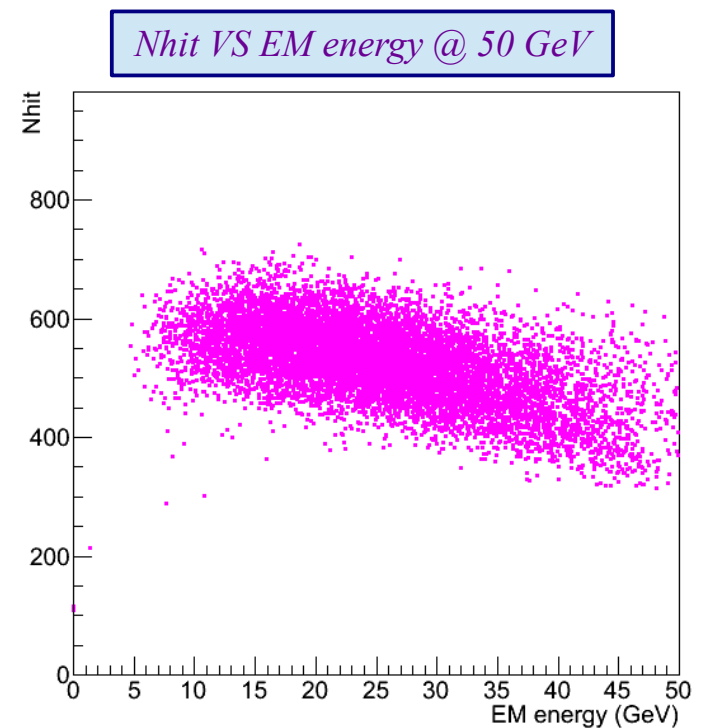
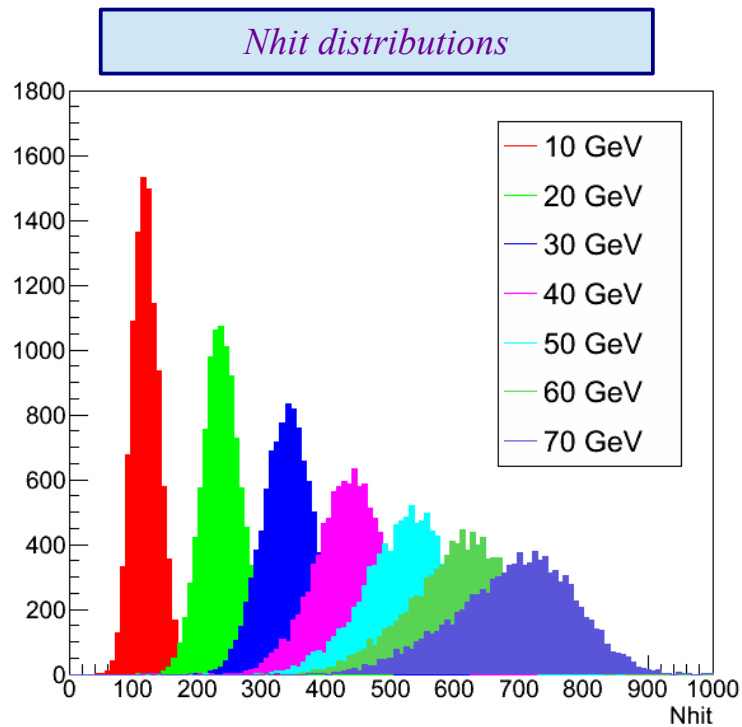
Saturation géométrique du DHCAL

La distribution du nombre de hits développe une queue à gauche lorsque l'énergie du hadron dépasse 30 GeV

A une énergie donnée, le nombre de hit dépend de la fraction d'énergie électromagnétique f_{EM}

L'énergie électromagnétique est déposée de manière très localisée

→ la saturation dépend du rayon de molière (matière des absorbeurs) et de la taille des damiers (détecteurs)



Reconstruction de l'énergie du hadron

Moyenne du nombre de hits, 2 approches

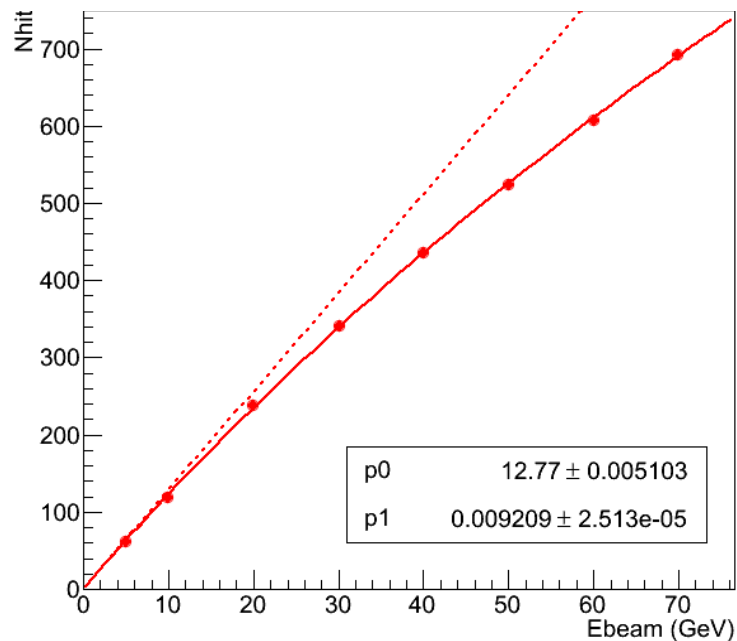
1. Moyenne et RMS de la distribution → les queues (et donc la saturation) sont prises en compte
2. Ajustement d'une gaussienne asymétrique à la distribution → l'effet de la saturation est atténué ($dN/N \sim 5\%$ @ 70 GeV)

La saturation est une propriété du DHCAL → approche 1

Réponse du DHCAL aux pions

Réponse = rapport entre le nombre de hit moyen et l'énergie incidente = constante pour un HCAL compensé ($e/h = 1$)

Pour le DHCAL ($e/h < 1$), la réponse diminue avec l'énergie car f_{EM} augmente



Réponse bien décrite par une fonction log :

$$N = p_0 / p_1 * \log(1 + E * p_1)$$

Réponse du DHCAL sans saturation:

$$p_1 \sim 12.8 \text{ hit / GeV}$$

Reconstruction de l'énergie :

$$E = (\exp(N * p_1 / p_0) - 1) / p_1$$

Résolution en énergie

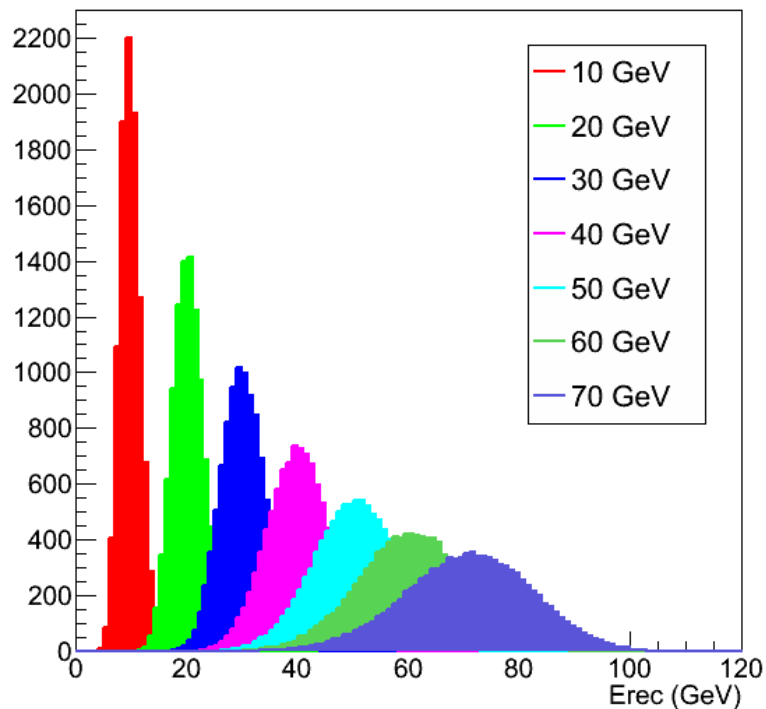
Conclusions

La linéarité est excellente (comme attendu)

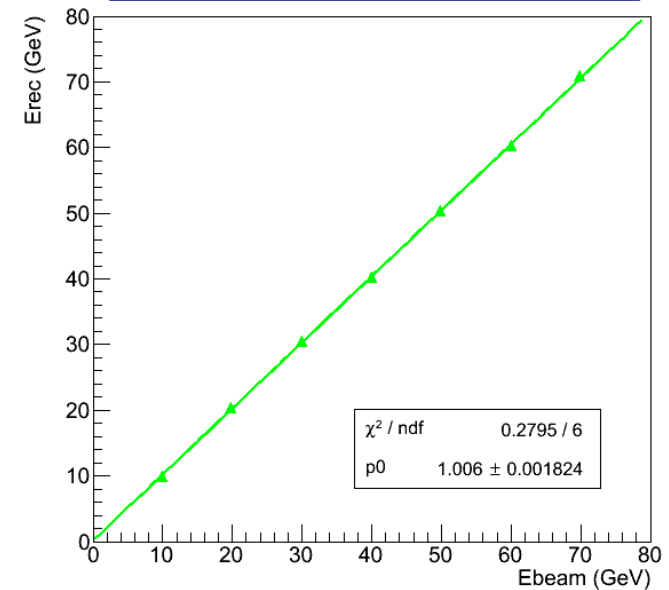
La résolution se dégrade au delà de 30 GeV (saturation)

→ La résolution n'est pas décrite par la somme quadratique d'un terme stochastique ($E^{-1/2}$) et d'un terme constant.

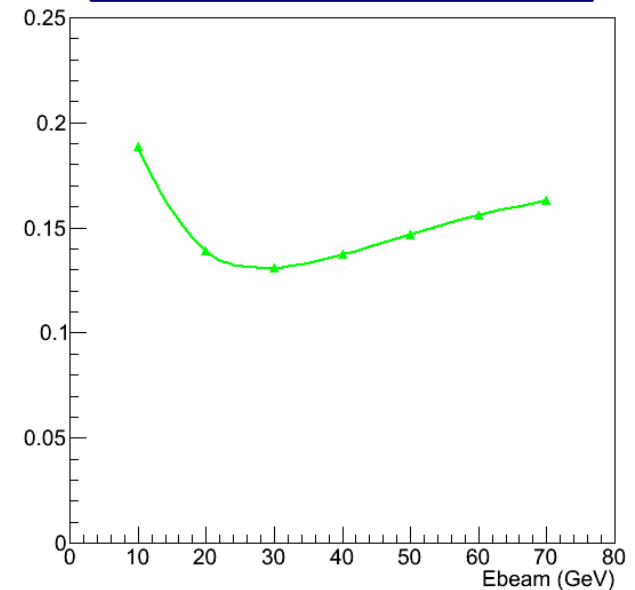
Reconstructed pion energy - pure digital



Réponse du DHCAL aux pions



Résolution en énergie (pions)



Méthode de compensation avec 2 seuils

Reconstruction de l'énergie avec 2 seuils ($N_{hit} > thr_0 \rightarrow N_0$ et $N_{hit} > thr_1 \rightarrow N_1$)

$E_{rec} = A (N_0 + B.N_1)$ avec A une constante en GeV/hit et B un paramètre dépendant de l'énergie du hadron

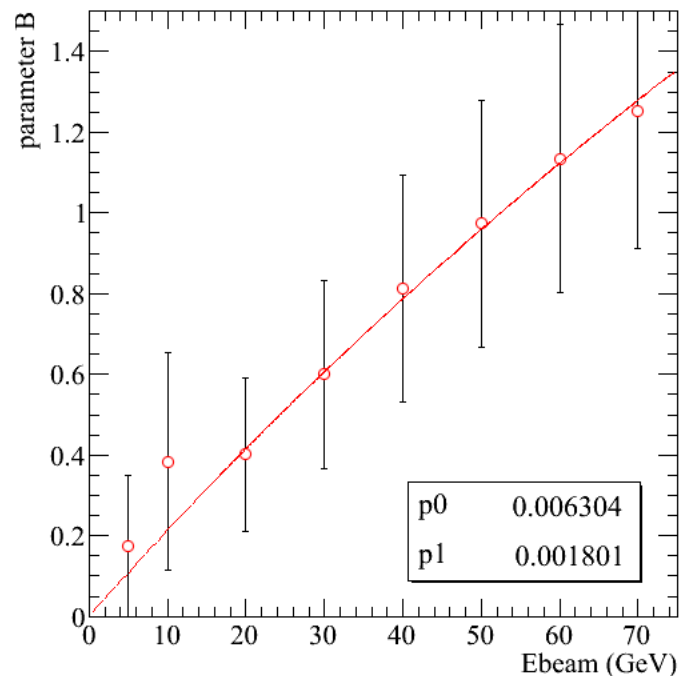
La constante A est donnée par la réponse du calorimètre en mode pur digital : $A = 1/12.77 = 0.078$ GeV/hit

B est déterminé de manière à obtenir $E_{rec} = E_{beam}$

B est d'abord calculé événement par événement : $B = (E_{beam}/A - N_0) / N_1$

On prend enfin la valeur moyenne de B, pour chaque énergie

Dispersion importante de B à chaque énergie mais comportement presque continu VS E_{beam}



*Paramètre B VS E_{beam}
Error bar = RMS*

Avec $thr_0 \sim 0.1$ MIP et $thr_1 = 5$ MIP

Le poids de N_1 est de 0.4 à 20 GeV et de 1.25 à 70 GeV

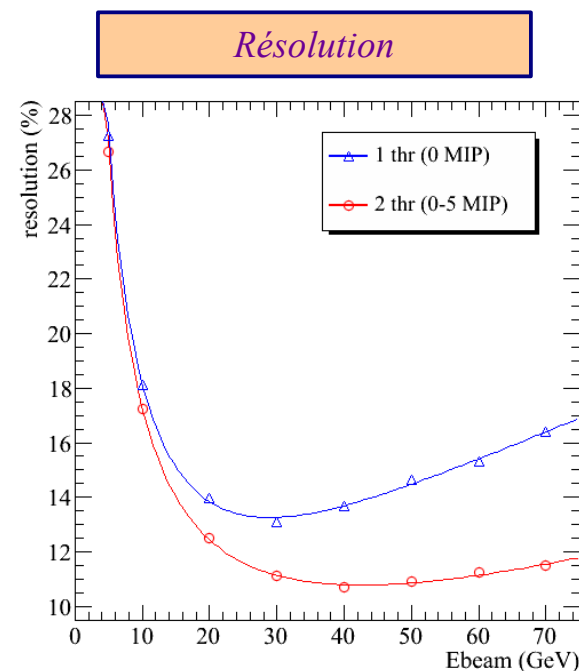
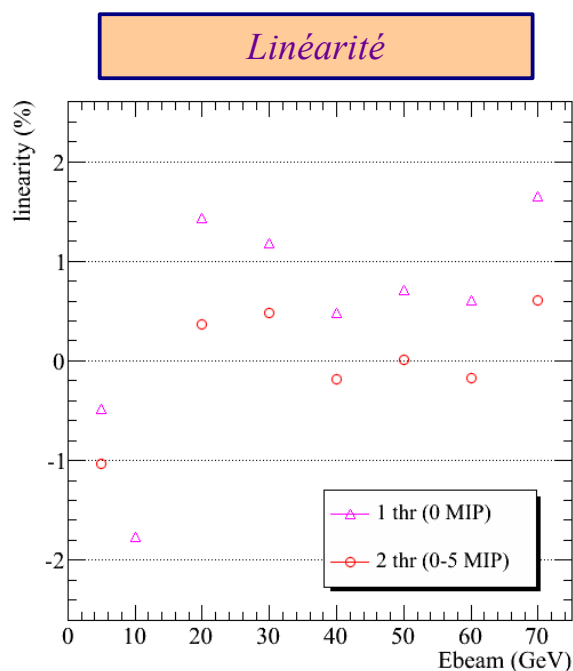
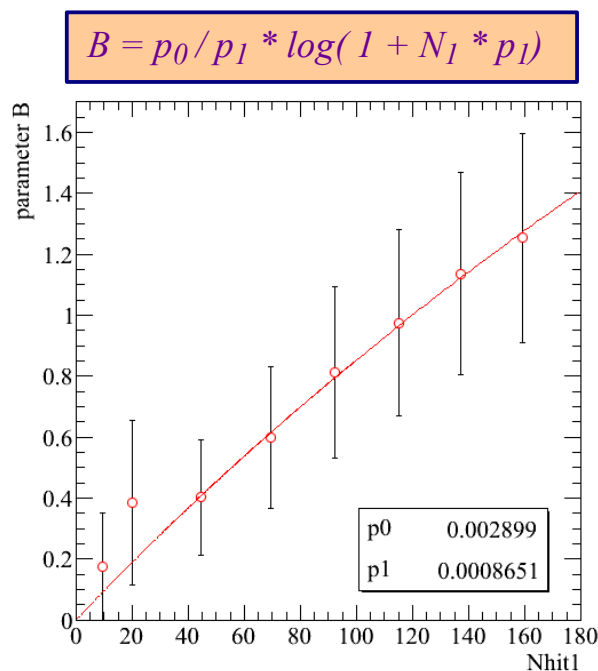
Résultats avec 2 seuils à 0.1 et 5 MIP

« A l'ILC », E_{beam} n'est pas connu, on peut toutefois utiliser une paramétrisation de B en fonction de N_1

Performance avec $\text{thr}_0 \sim 0.1$ MIP et $\text{thr}_1 = 5$ MIP

La linéarité (calculée comme $(E_{\text{rec}} - E_{\text{beam}}) / E_{\text{beam}}$) est de $\pm 2\%$ (sauf à 10 GeV : - 3%)

Amélioration de la résolution en énergie : 13 % (1 seuil) \rightarrow 11 % (2 seuils) à 30 GeV et 17 \rightarrow 12 % à 70 GeV



Après compensation, la saturation se manifeste vers 40-50 GeV \rightarrow et avec un seuil thr_1 plus élevé ?

Résultats avec 2 seuils à 0.1 et 15 MIP

$$E_{rec} = A (N_0 + C.N_2)$$

A est toujours fixé à 0.078 GeV/hit et le paramètre C donné par $(E_{beam}/A - N_0) / N_2$

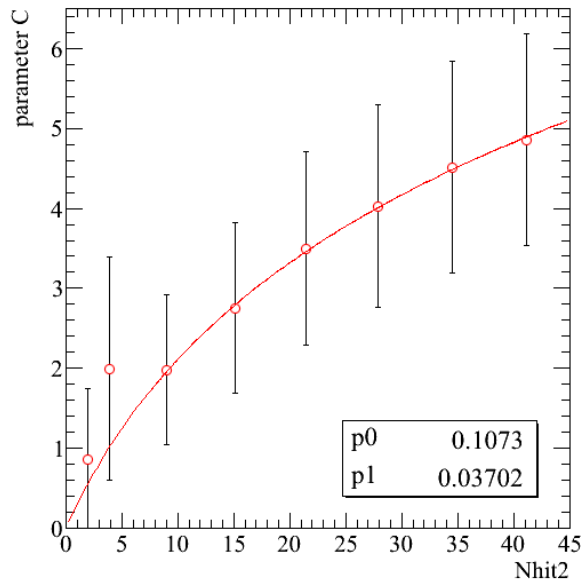
Le poids C varie de 2.0 à 20 GeV à 5.0 à 70 GeV et est également décrit comme une fonction log de N_2

Performance avec $thr_0 \sim 0.1$ MIP et $thr_1 = 15$ MIP

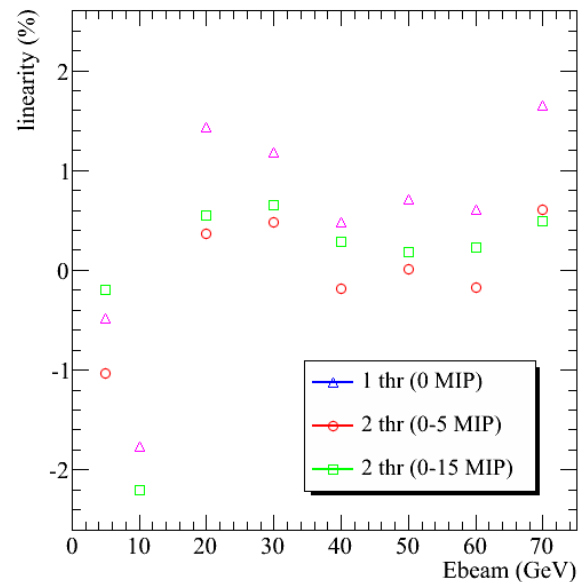
La linéarité est légèrement meilleure que dans la configuration (0.1-5) MIP : $\pm 1 \%$

Amélioration importante de la résolution en énergie : 9% at 70 GeV contre 17% en mode pur digital

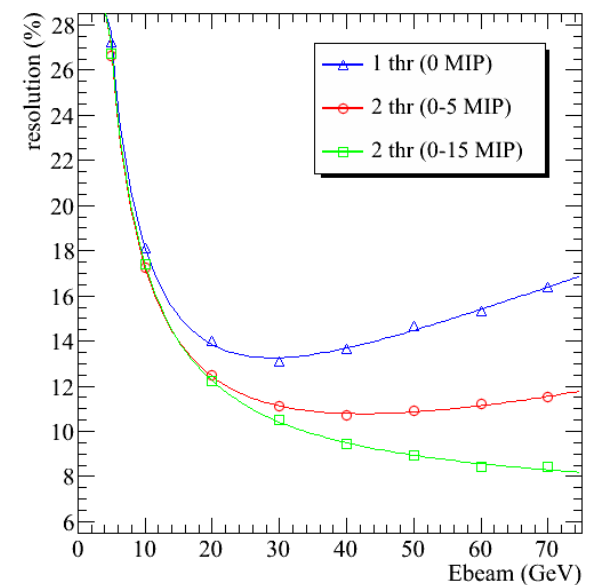
$$C = p_0 / p_1 * \log(1 + N_2 * p_1)$$



Linéarité



Résolution



Données de tests sur faisceau du SDHCAL : coupures

Période de tests sur faisceau: Août-Septembre 2012, ligne H6 du SPS au CERN

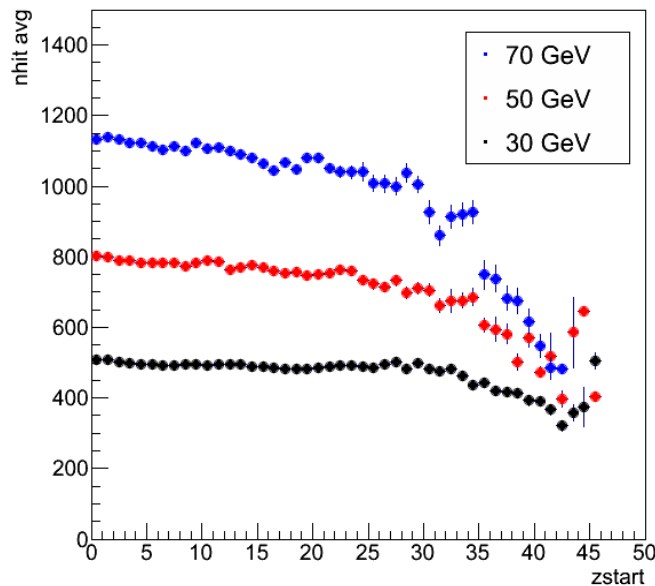
Données

> 10k pions à 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 GeV

« Containment cut »

→ Départ de la gerbe dans les 12 1^{er} plans

(Une coupure sur le nombre de hits dans les dernières couches biaiserait l'échantillon de pions
→ à éviter)



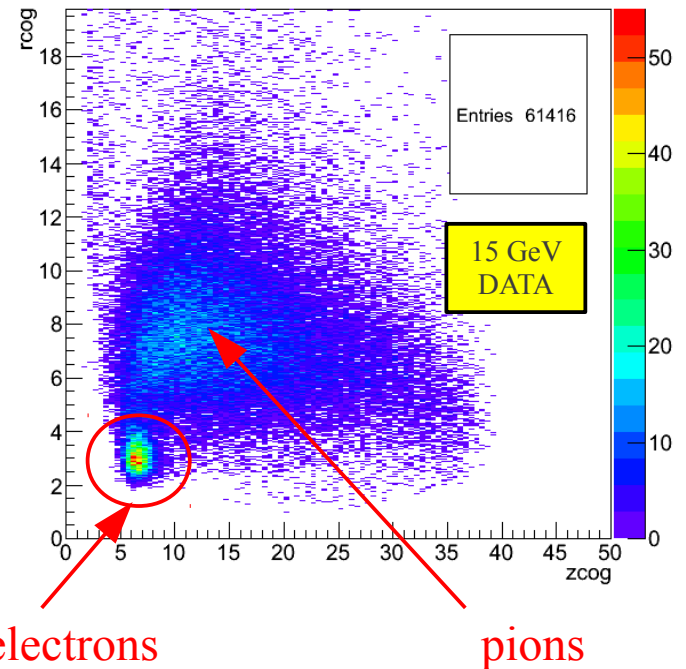
« Particle ID cut »

Le SDHCAL est ~ compensé entre 5 et 15 GeV

→ Séparation électron/hadrons ne peut se faire sur le nombre de hits

→ Information spatiale des gerbes :

Barycentre en XY (transverse)
et suivant Z (longitudinal)



Données SDHCAL : performance de 15 à 30 GeV

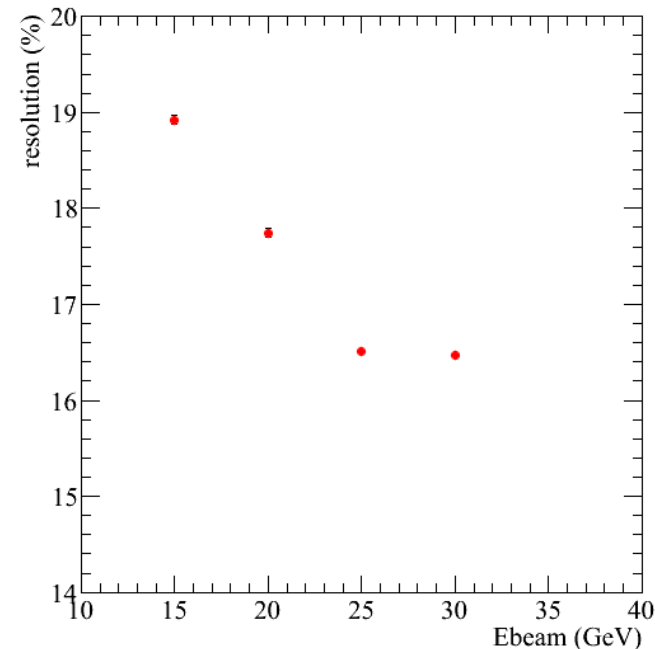
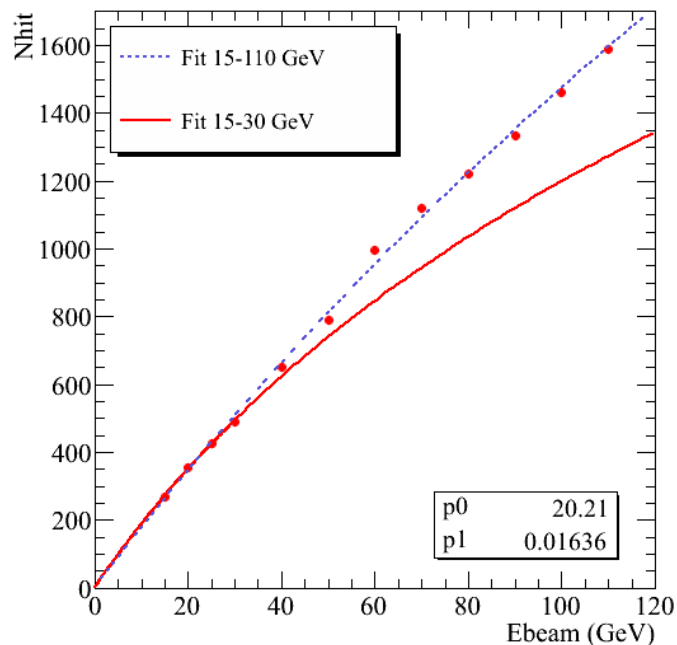
Résultats préliminaires

Réponse du HCAL aux pions : dispersion importante des points expérimentaux de 15 à 110 GeV.

Le domaine en énergie de 15 à 30 GeV est bien décrit par la fonction log. (20.21 hit / GeV)

→ linéarité $< \pm 2\%$

→ la résolution en énergie s'améliore jusqu'à 25 GeV



Données SDHCAL : prochaines étapes

Comprendre l'origine de la dispersion des points expérimentaux

Dispersion observée pour les 3 seuils

* Vérifier les réglages du faisceau dans les données (taux de gerbe hadronique en principe < 10 Hz)

* Étudier la réponse de chaque RPC

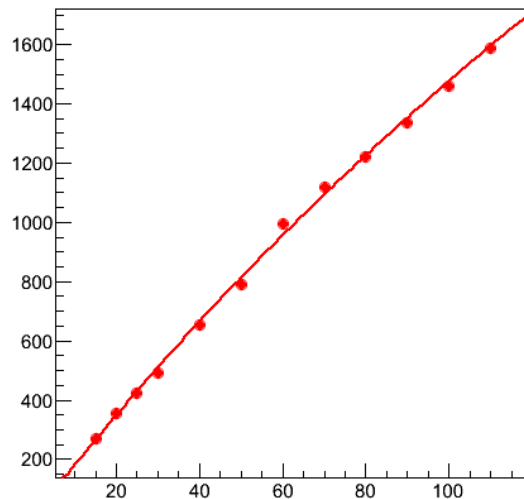
→ Carte des trois seuils

→ Efficacités et multiplicité pour les muons traversants

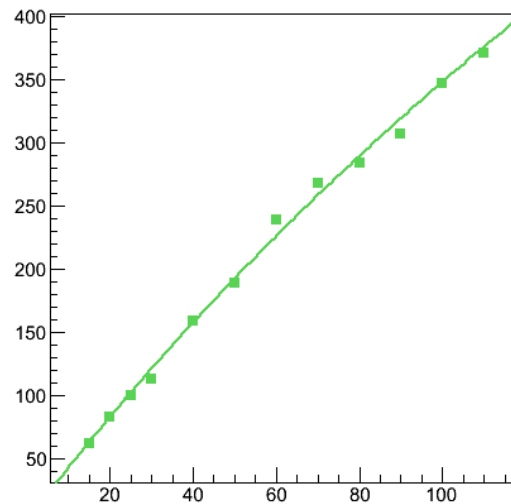
→ Constante de calibration par chambres ?

* Finalement : étude du multi-seuils

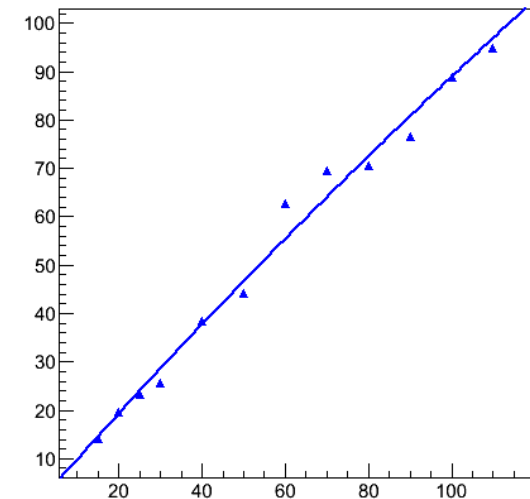
N_0 VS E_{beam}



N_1 VS E_{beam}



N_2 VS E_{beam}



R&D présente et future : Micromegas résistifs

Les prototypes Micromegas de $1 \times 1 \text{ m}^2$ fonctionnent très bien (cf. talk *Etudes en faisceau: HCAL pour SiD*).

Leur construction reste toutefois coûteuse: 6 grilles / m^2 + plusieurs composants sur PCB pour protéger les ASIC des étincelles

→ remplacement de ces composants (diodes) par une couche résistive sur le plan de damiers

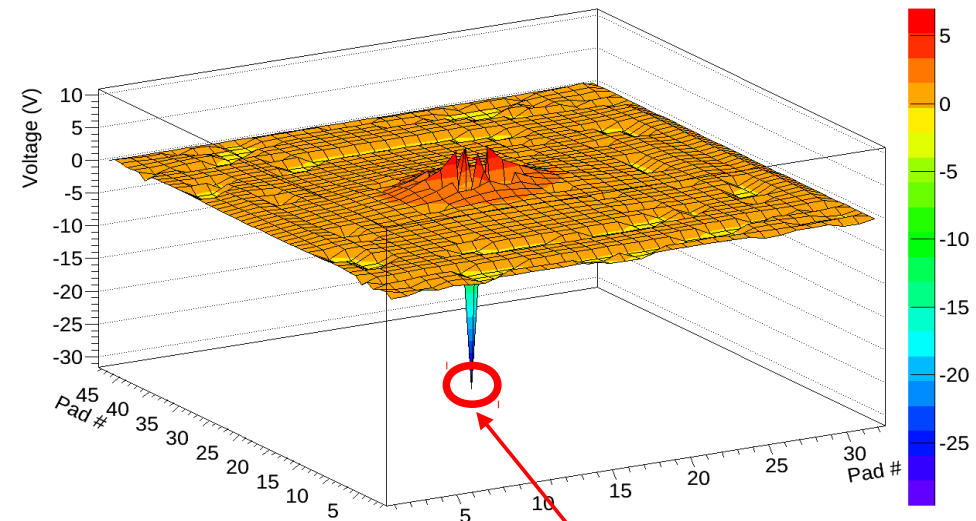
Simulation pour comparer les configurations résistives à celle standard

Couche résistive



Une configuration résistive

Resistive configuration
 $\rho = 1 \text{ M}\Omega/\square$ & $C_{\text{resist}/\text{pad}} = 2,2 \text{ pF}$



Discharge pad @ -30 V, neighbors @ -6 V, contre (-410 V, -60 V) pour une configuration standard

R&D présente et future : Micromegas résistifs

Prototypes pour étudier les phénomènes liés aux couches résistives

Charge d'espace

Perte de proportionnalité (gain max ?)

Perte de tenue en flux (flux max?)

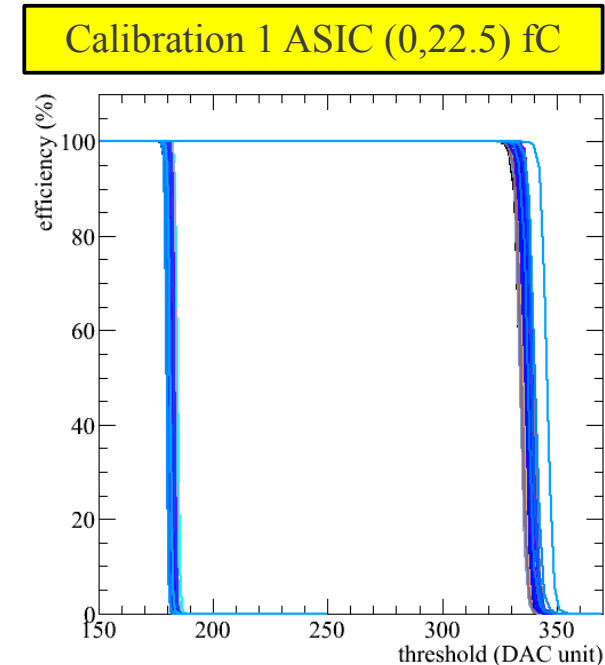
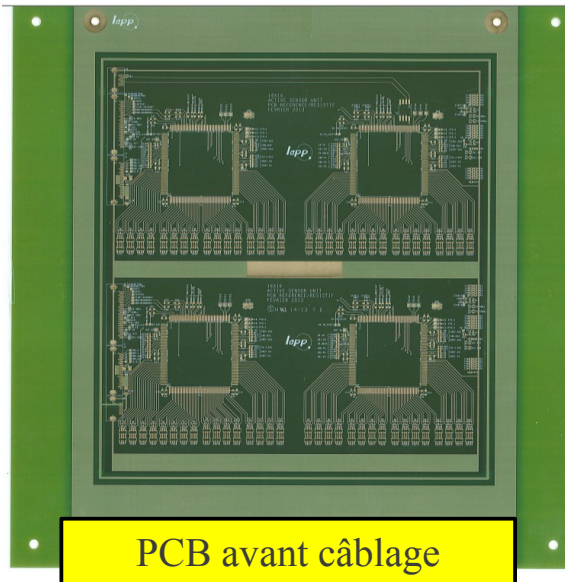
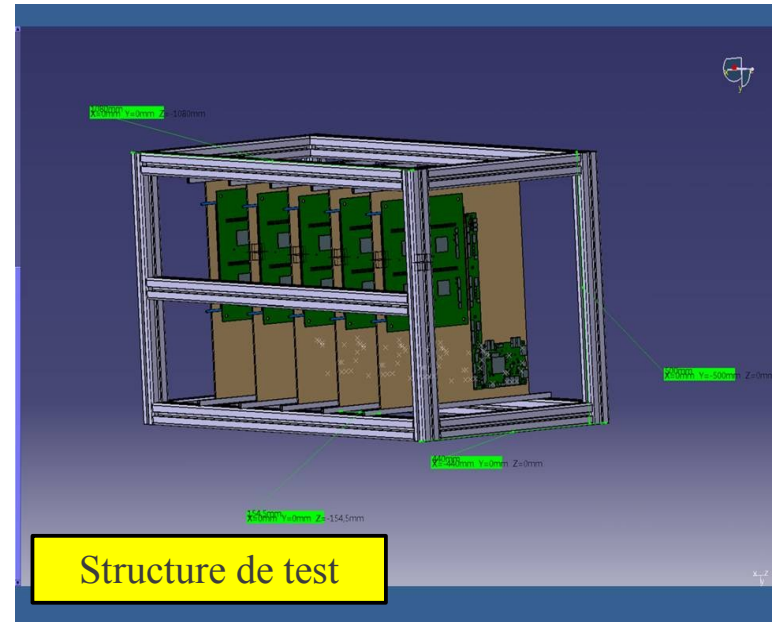
Étalement de la charge sur les damiers

Augmentation de la multiplicité

Ces effet dépendent de la configuration résistive

→ Prototypes de 16x16 cm²

→ Tests sur faisceau à DESY en Juillet



Conclusions

- En attendant un signal fort de la communauté internationale sur la construction d'un futur LC, nous poursuivons :
 - un travail d'analyse de données des détecteurs Micromegas et RPC (Monte Carlo et tests sur faisceau) ;
 - un travail de R&D sur les protections contre étincelles
- Étude des performances d'un SDHCAL (principalement par simulation)
 - Monte Carlo : Saturation de la réponse mais amélioration importante de la résolution avec 2 seuils
 - Analyse des données de tests sur faisceau plus difficile et en cours
- Protection contre les étincelles intégrée dans le détecteur
 - Premiers prototypes en cours de fabrication → test sur faisceau en Juillet
- En 2014 et selon les financements
 - Définition d'un nouveau dessin de grande chambre avec une seule grille Micromegas
 - Adoption des nouvelles protections sur ce grand prototype
 - Test sur faisceau au CERN en 2015