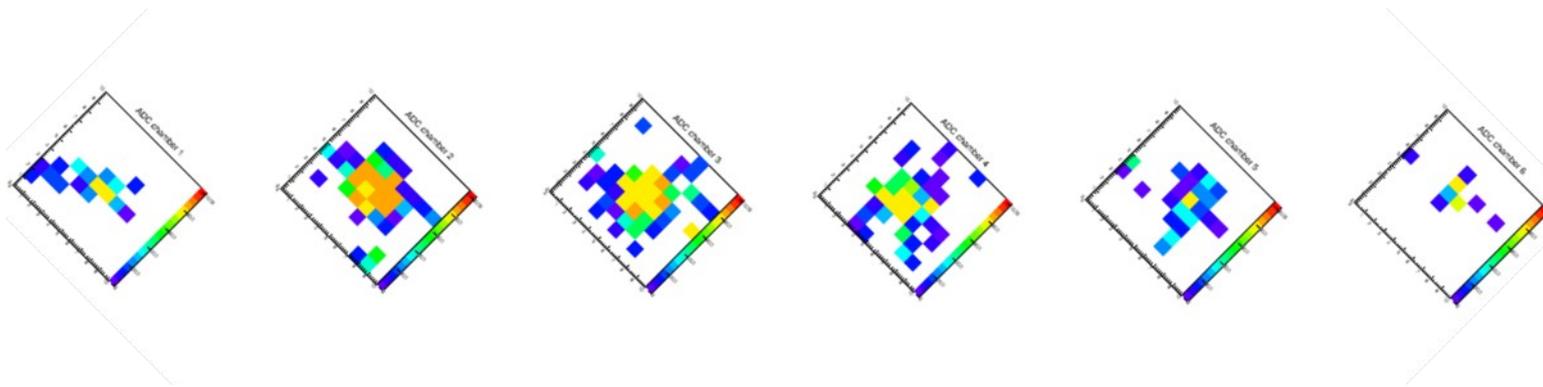


Calorimétrie Micromegas au LAPP

État des lieux 2015 et perspectives 2016

Réunion CALICE, LPNHE, 5/10/2015
M. Chefdeville



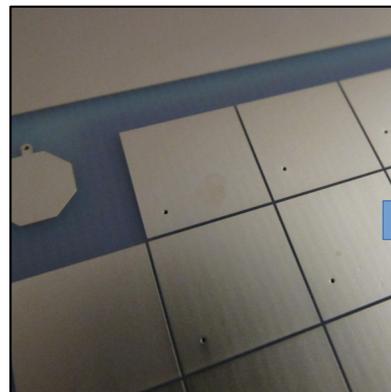
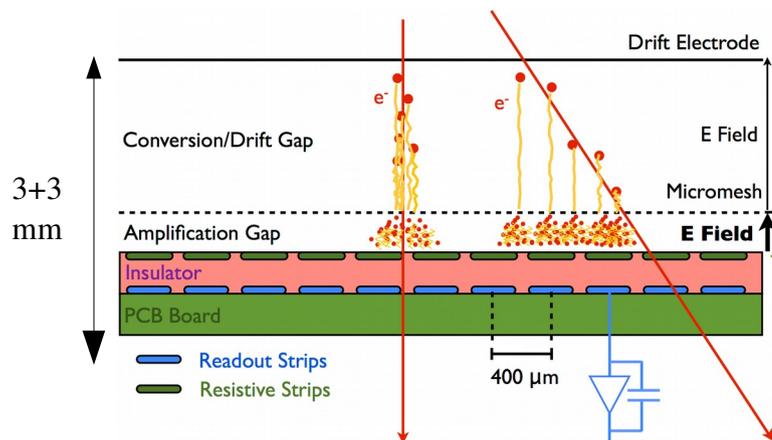
Introduction

Les Micromegas

Principalement utilisés pour la trajectographie (e.g. upgrade ATLAS : tenue en flux, grande taille)
R&D pour la calorimétrie initiée au LAPP (réponse proportionnelle)

Axes de recherche

- 1) Dessin réaliste des chambres, grands prototypes de $1 \times 1 \text{ m}^2$ pour le SDHCAL (terminé)
- 2) Suppression des étincelles, petits prototypes résistifs (à son terme)
- 3) Grands prototypes résistifs (étape finale pour terminer la R&D)



Le groupe

Nombre relativement important de personnes impliquées de 2006 à 2012 (5 P + 5 IT ETP)
RH en déclin après 2012 (fin support ANR), aujourd'hui et en 2016 : 1 P + 1 IT ETP
Depuis 2013, liens tissés avec :

- le Weizmann autour d'une électronique commune (MICROROC) pour un SDHCAL/MPGD
 - Demokritos et Saclay sur les Micromegas résistifs (upgrade SLHC)
- Partage des coûts (ASIC, proto.) pour compléter les financements CALICE (5 kEUR en 2015)

Les grands prototypes pour le SDHCAL

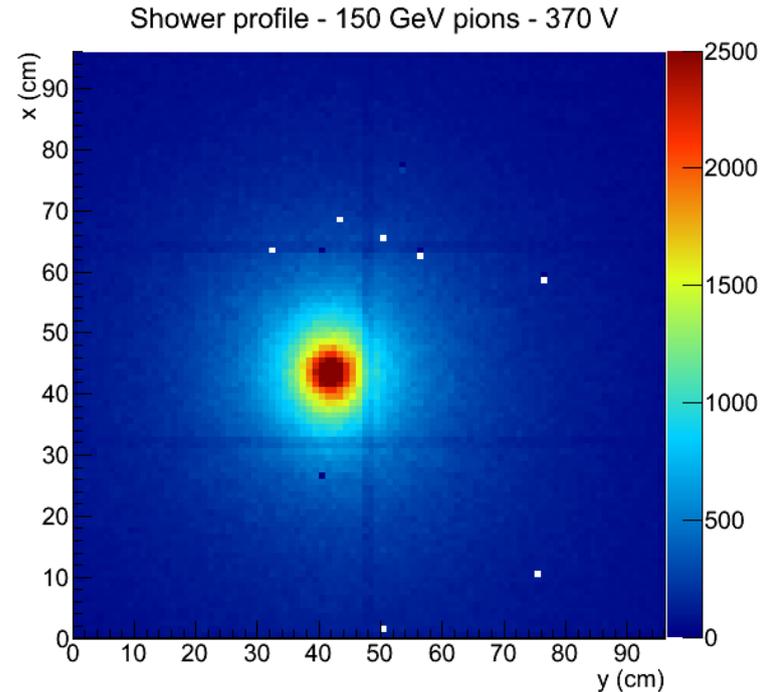
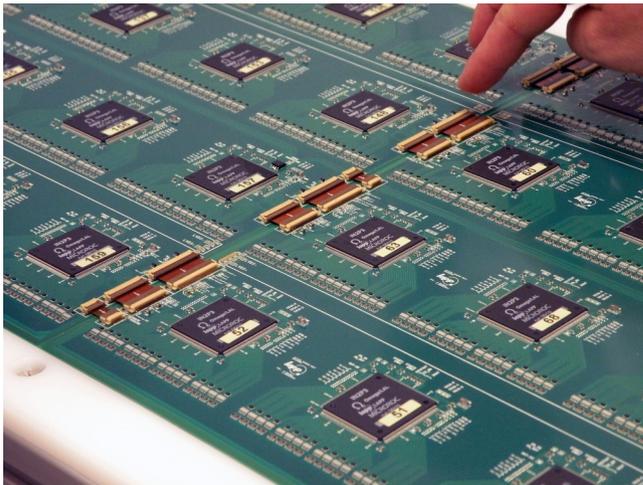
4 prototypes construits entre 2011 et 2012

- Puce bas bruit (évolution HARDROC → MICROROC) intégrées sur PCB
- PCB 8 couches avec diodes de protection contre les étincelles (→ R&D résistif), damiers et grille
- Grille Micromegas laminée au CERN
- Assemblage des chambres en salle blanche au LAPP (1 cm d'épaisseur incl. 2 mm d'acier)

+ développement DAQ (firmware) pour le SDHCAL

Construction et tests qualité : NIMA 729 (2013) 90-101

Performance testbeam : NIMA 763, (2014) 221-231

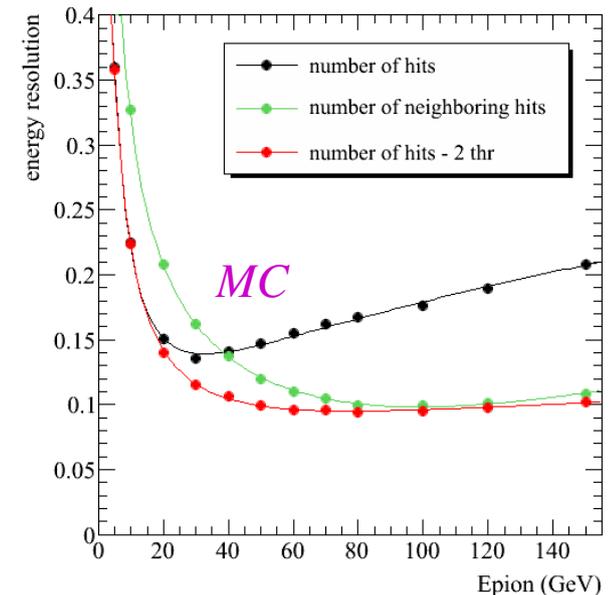
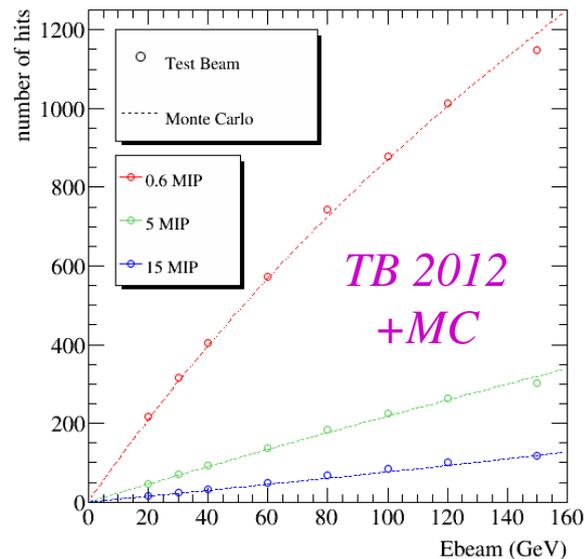
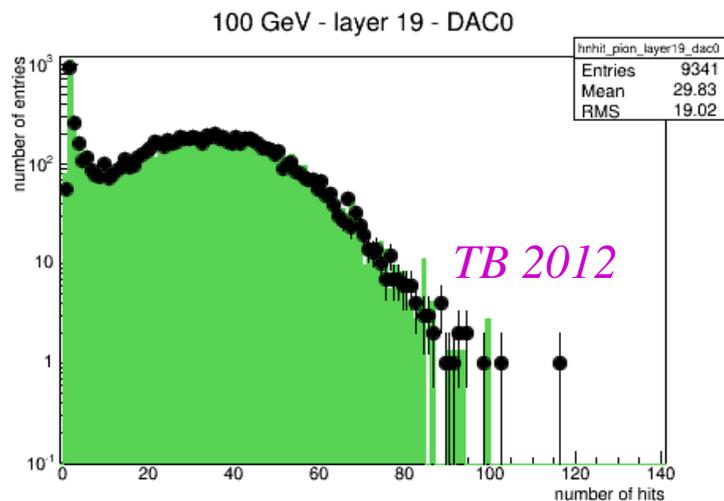


Mesures de gerbes dans le SDHCAL

Analyse des données du SDHCAL (avec ou sans Micromegas) – testbeam et simulation

- Le SDHCAL est un **calorimètre hadronique sur-compensé** (fraction EM dense mal mesurée en digital)
→ réponse saturée avec des conséquences sur la résolution en énergie
- **Compensation possible** en utilisant le multi-seuils et/ou la granularité (i.e. densité de hits)
- **Accord satisfaisant du Monte Carlo** avec les données réelles (seules les Micromegas sont modélisées)
- La **calibration** du SDHCAL RPC est délicate lorsque le flux de particules de l'accélérateur varie

En préparation : *Performance of a virtual hadron Micromegas calorimeter with multi-threshold readout*
Validation Monte Carlo avec données SDHCAL, techniques de compensation basée sur la simulation.
Note CALICE avant soumission à NIM



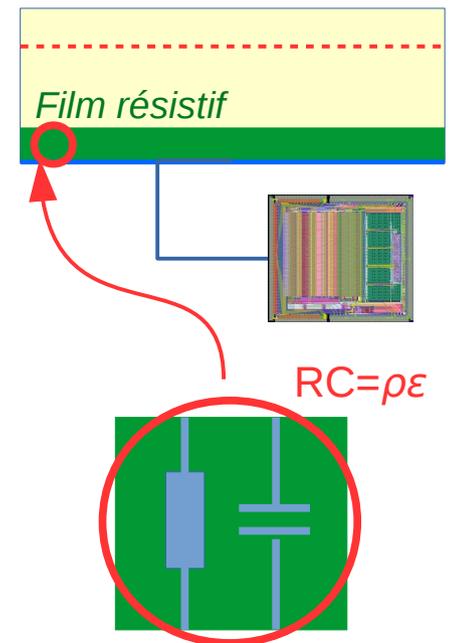
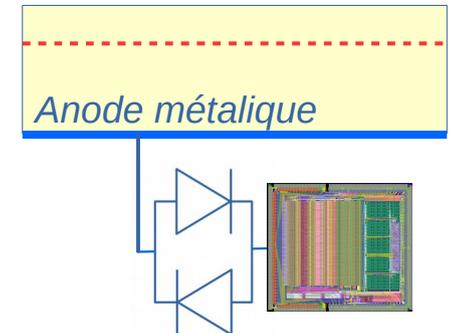
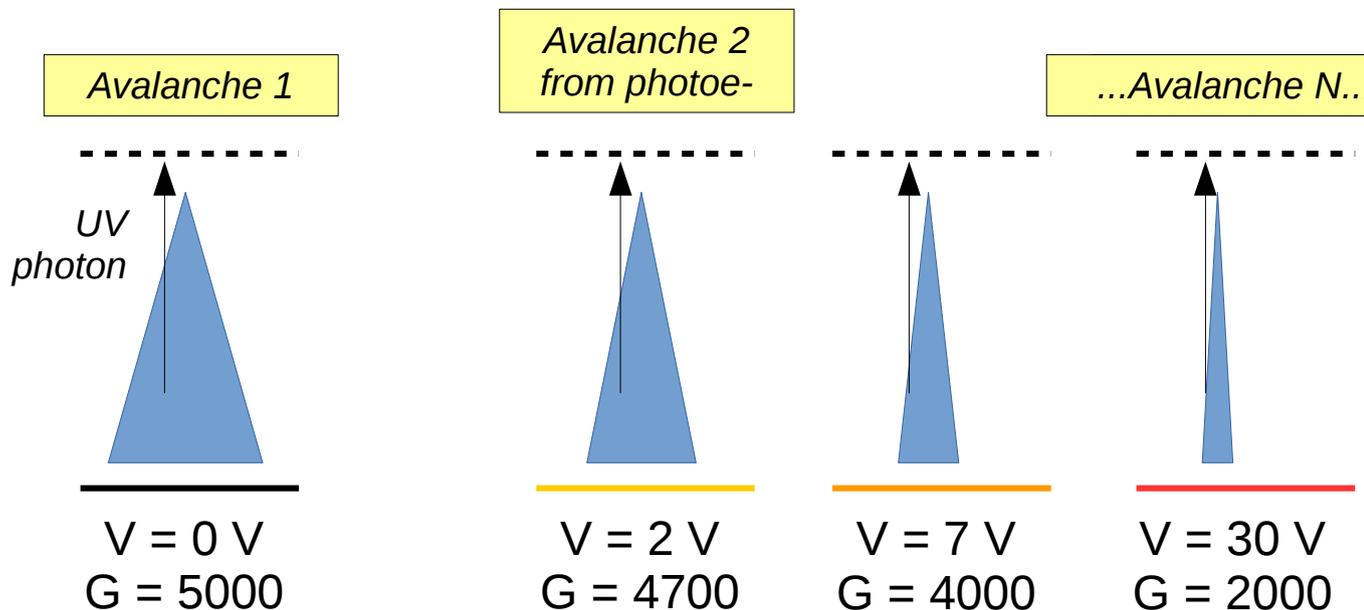
Suppression des étincelles

Des **étincelles** peuvent survenir entre la grille et l'anode:

- décharge de la grille vers l'électronique frontale (potentiellement destructrice)
- détecteur inefficace durant la recharge de la grille

- Diodes : protection passive, absorbe l'énergie de l'étincelle
- Anode résistive : protection active, empêche le développement de l'arc électrique par un mécanisme de chargement.

Celui-ci réduit progressivement et localement le champ électrique. La constante de temps (RC) joue ici un rôle primordial...



Inconvénient des détecteurs résistifs

Compétition entre la charge (ionisation rate Φ) et la décharge (constante de temps $\tau=RC$)

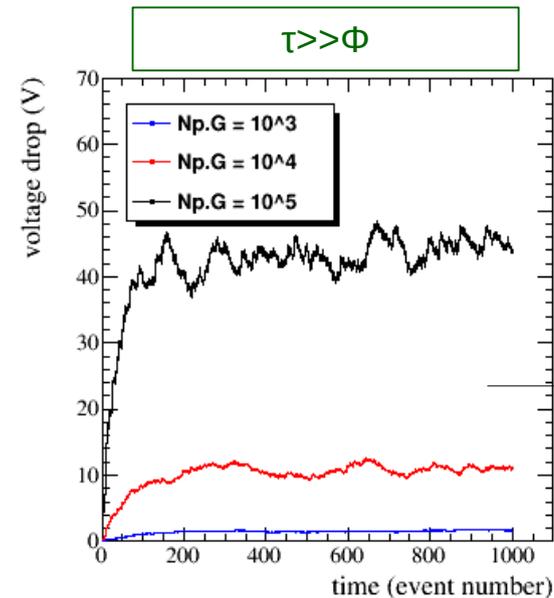
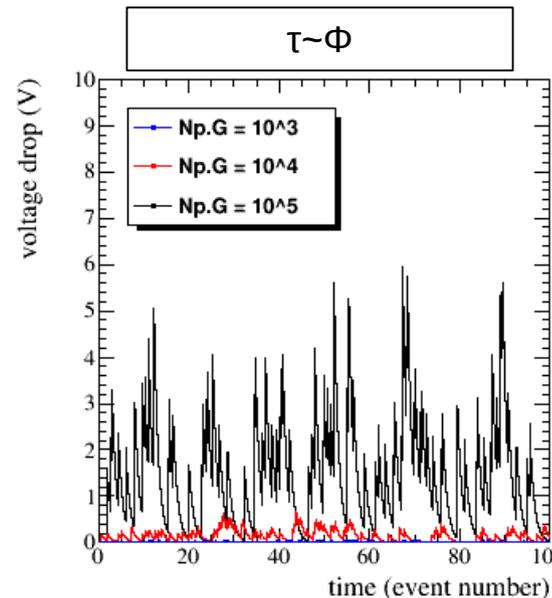
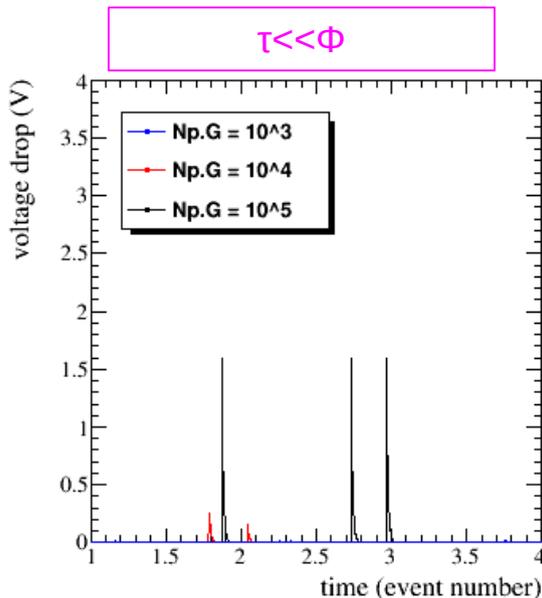
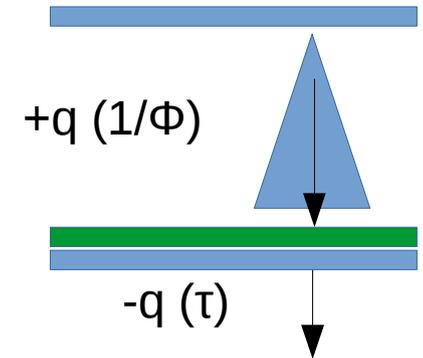
Flux élevés ($\tau \gg 1/\Phi$)

Chargement du film à un potentiel quasi-constant ($dQ_{\text{charge}}/dt = dQ_{\text{decharge}}/dt$)

Perte de gain mais régime stable

Flux faibles ($\tau \ll 1/\Phi$)

Charge pendant l'événement et décharge avant l'événement suivant



Tau.Rate=100
Gain drop
70%
25%
5%

RPC VS Micromegas résistifs

Micromegas résistifs financés par l'ANR de 2011 à 2013

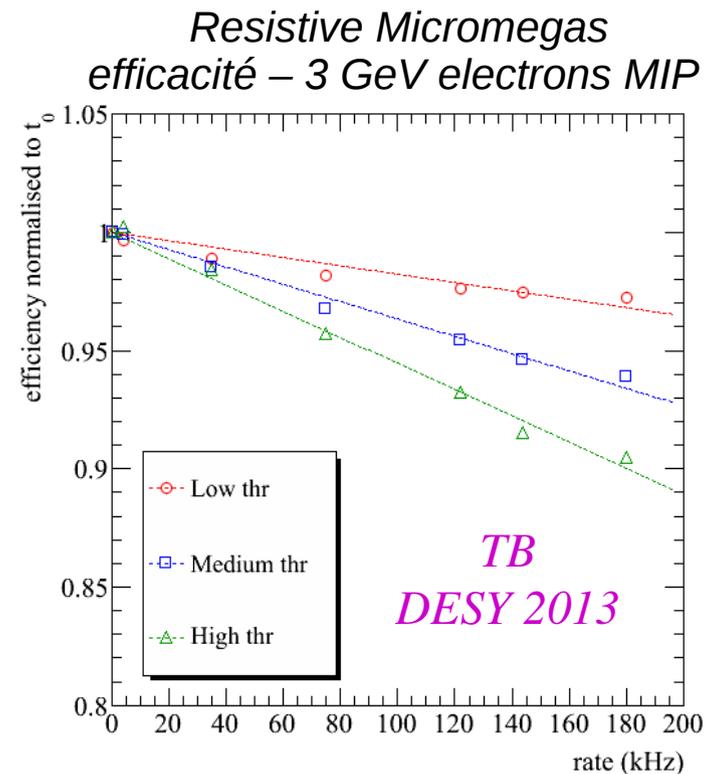
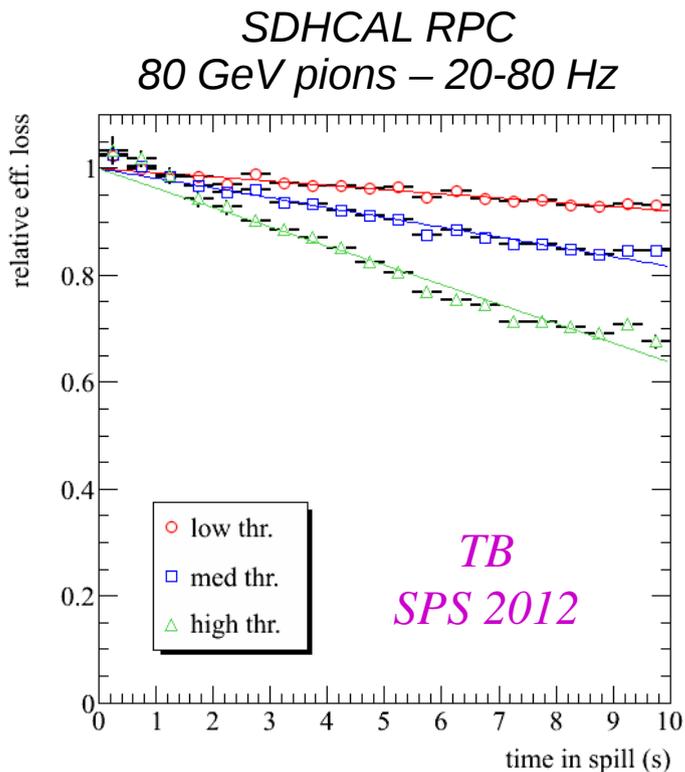
→ 3 prototypes de $16 \times 16 \text{ cm}^2$ utilisant différents dessins résistifs

Le chargement du film résistif se traduit par une baisse de gain

→ Gerbes de hadrons dans le SDHCAL-RPC : baisse du nombre de hits au cours du spill

→ Traces d'électrons dans les Micromegas résistifs : baisse d'efficacité à haut flux

• RPC et Micromegas résistifs : sujets aux effets de chargement mais pas égaux devant eux.



Optimisation du dessin résistif (2014-2015)

Depuis 2014, nous nous concentrons sur le dessin de « résistance enterrée » qui permet de contrôler facilement la constante de temps (via la résistivité et la forme du motif enterré).
 → Quelle résistivité (ou RC) pour supprimer les étincelles ?



À la RPC :

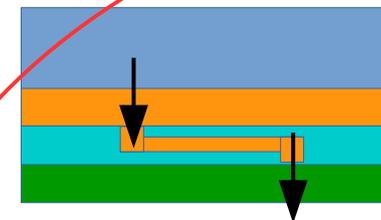
$$RC = \rho \epsilon$$

Peu de marge de manoeuvre pour changer le RC



À la TPC :

Evacuation horizontale
R dépend de la taille du proto.

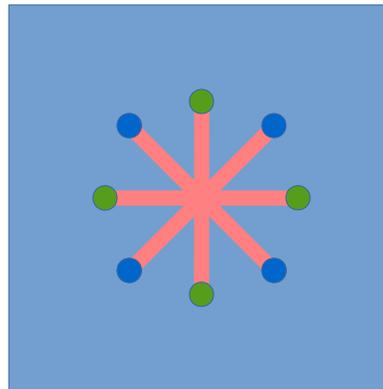


Gaz
 Résistif
 Isolant
 Anode

R-enterrée:
 Evacuation verticale
R réglable

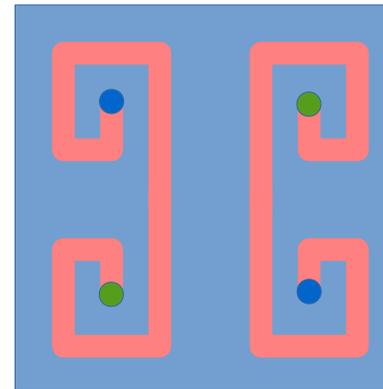


'Star' pattern



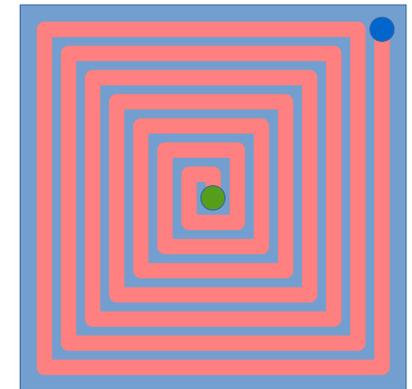
$R = 400 \text{ k}\Omega$
 @ $100 \text{ k}\Omega/\text{sq}$

'Mirror' pattern



$R = 4 \text{ M}\Omega$

'Snake' pattern



$R = 40 \text{ M}\Omega$

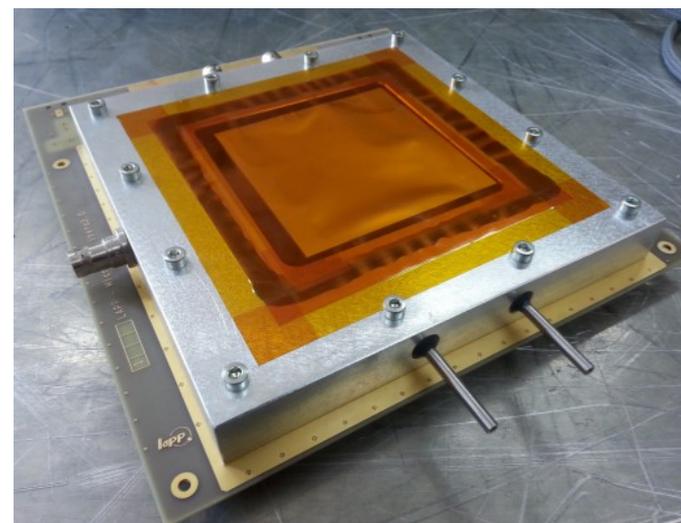
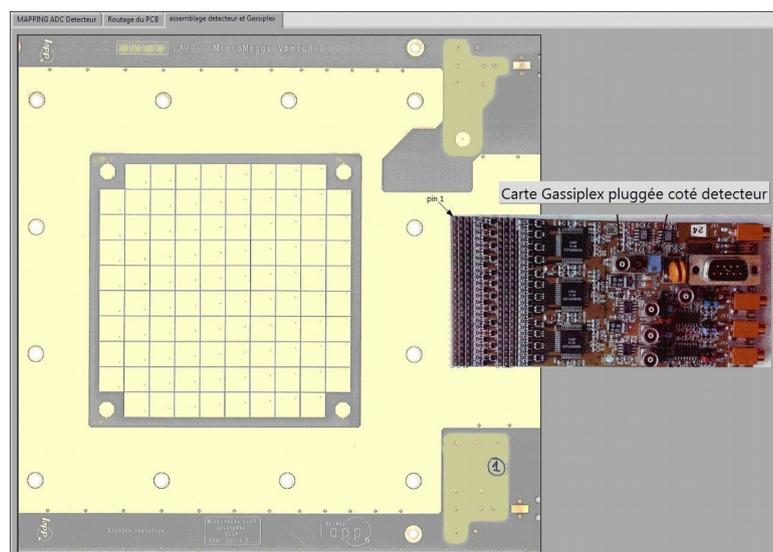
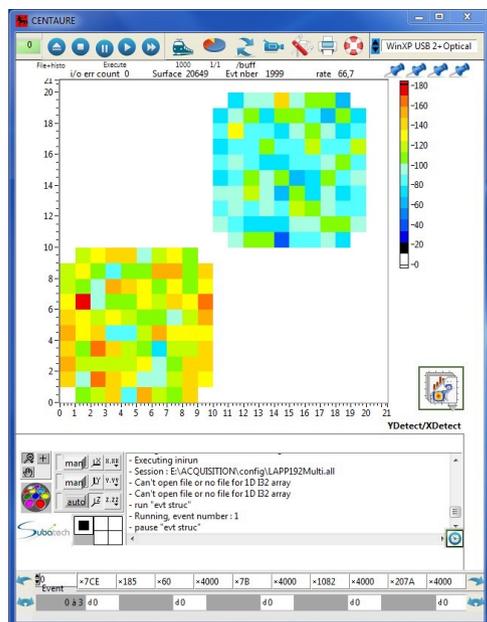
Prototypes résistifs

6 prototypes $10 \times 10 \text{ cm}^2$: variations du RC sur 5 ordres de grandeur.

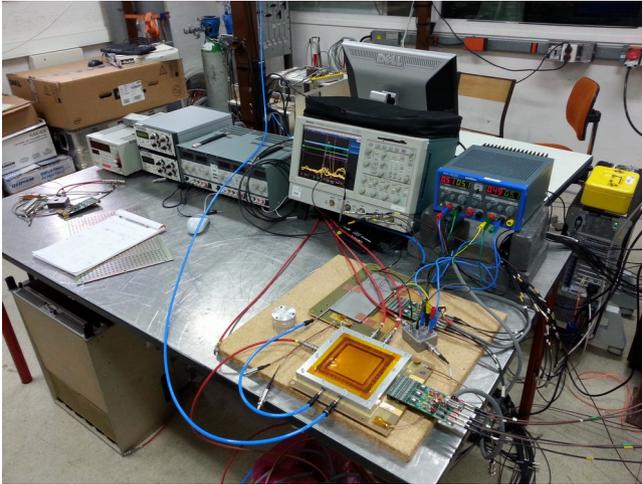
Réalisés en 2 fois sur 2014 ($R_s = 100 \text{ k}\Omega/\square$) et 2015 ($R_s = 1 \text{ k}\Omega/\square$) car financements critiques :

Réduction et partage des coûts :

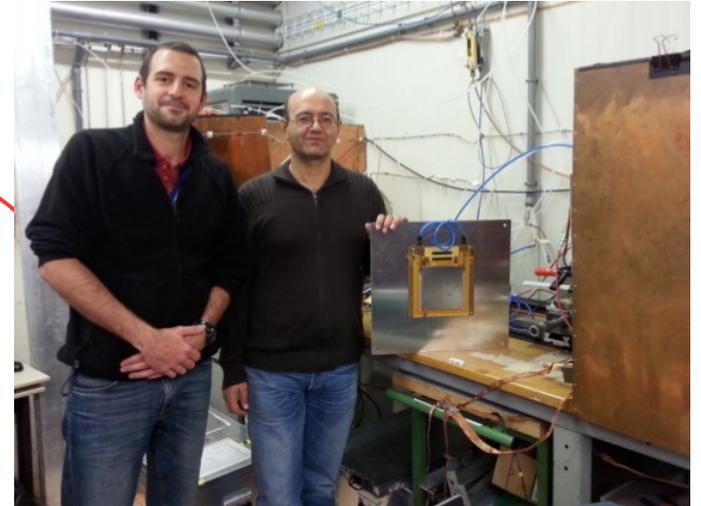
- PCB simples avec électronique externe (Gassiplex, CAO des premiers prototypes de 2006)
- Location magasin CERN (module ADC, carte PC et fibre optique)
- Mise à jour du premier Labview de 2008 (Subatech, windows XP → 7)
- Collaboration LAPP (dessin, assemblage, test) – Demokritos (DAQ, test) – Saclay (test) (en 2015, les Bulk résistifs (made in CERN) ont été financés par nos collaborateurs)



Tests sur faisceau et en labo.



LAPP, ^{55}Fe source :
Linearité VS charge
GEM injector



RD51 lab au CERN (canon X)
Tenue en flux



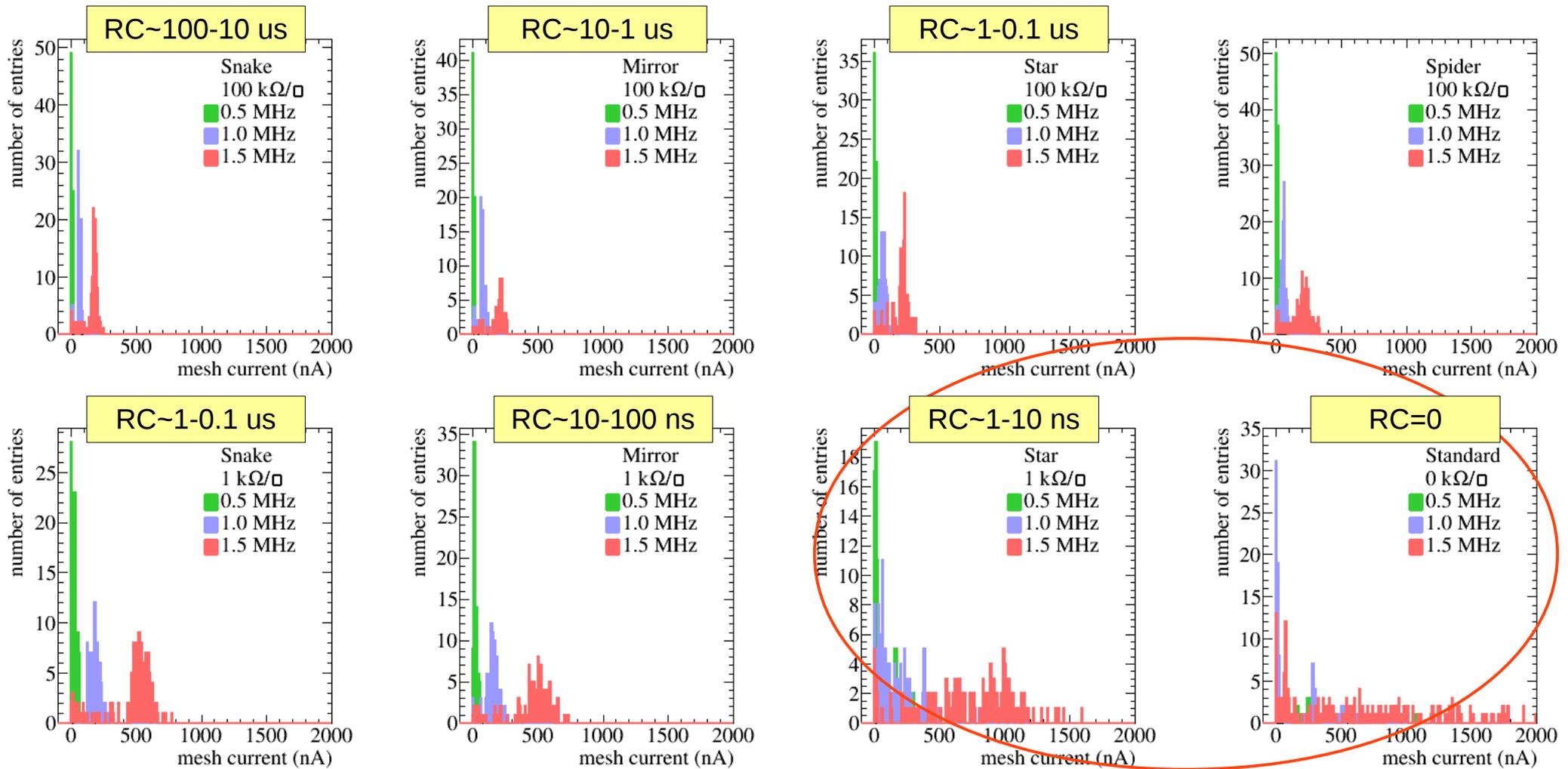
Testbeam CERN/SPS:
Etincelles dans les gerbes
+ mini-ECAL

Scan RC dans les gerbes de hadrons

Test sur faisceau au SPS (Juillet 2015) : pions 150 GeV \rightarrow absorbeur $2 \lambda_{\text{int}}$ \rightarrow prototype

A bas RC (1-10 ns), on retrouve le comportement d'un Micromegas non-résistif.

Figures ci-dessous : courant mesuré au cours du spill pour différents taux de gerbes hadroniques



Scan en flux (canon rayons X)

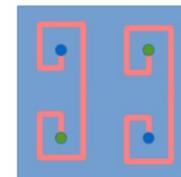
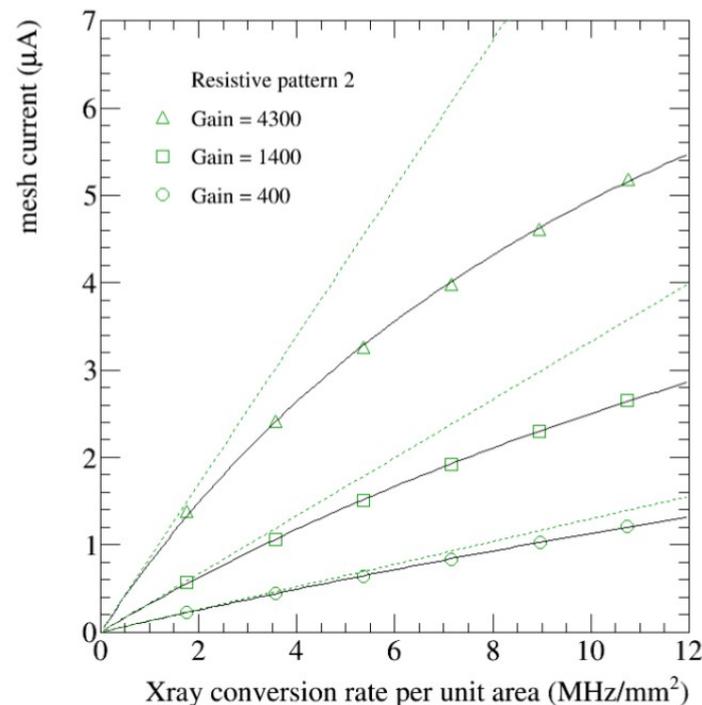
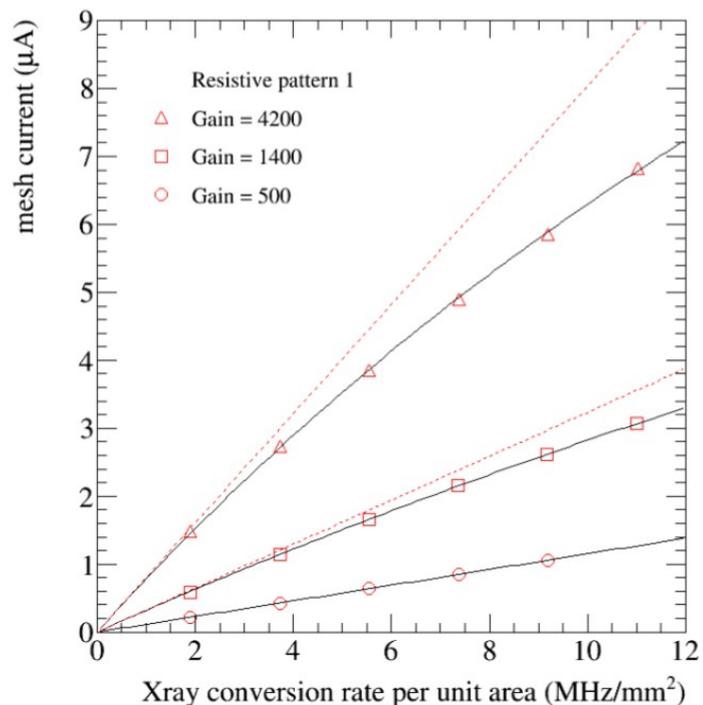
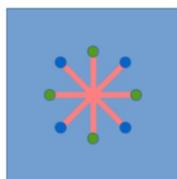
La mesure de la tenue en flux (canon rayons X de 8 keV) consiste à mesurer le courant en fonction du taux de conversion des rayons X dans le gaz. To a good approximation:

$$I(f) = Q_0 \cdot f / (1 + B \cdot R \cdot Q_0 \cdot f)$$

B is the slope of the gain curve, R is the resistance, Q_0 is the total event charge ($N_p \cdot G \cdot e$)

A gain nominal et pour des rayons X,

les effets du chargement sur le gain sont négligeables jusqu'à 1 MHz/mm² !

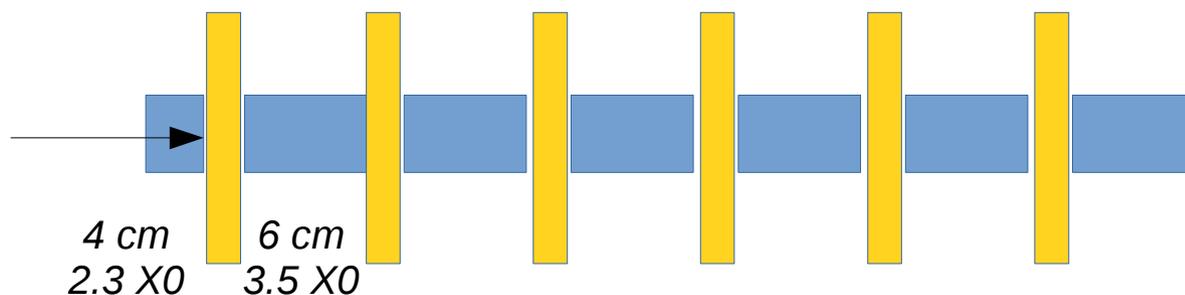


Mini-ECAL Fe/Ar

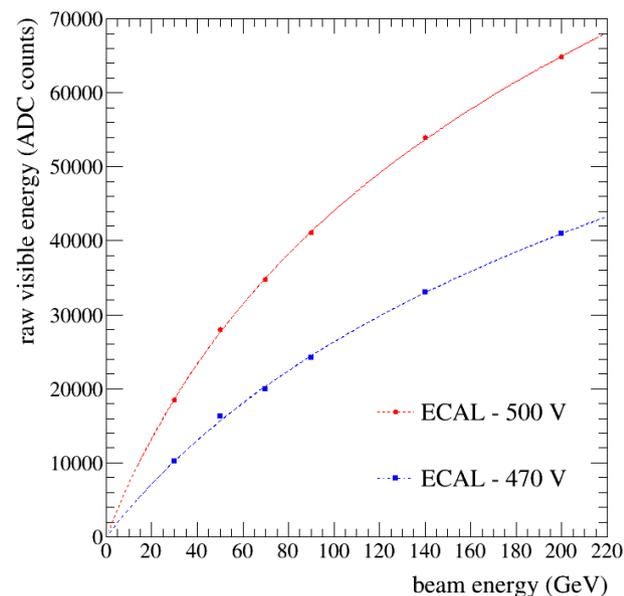
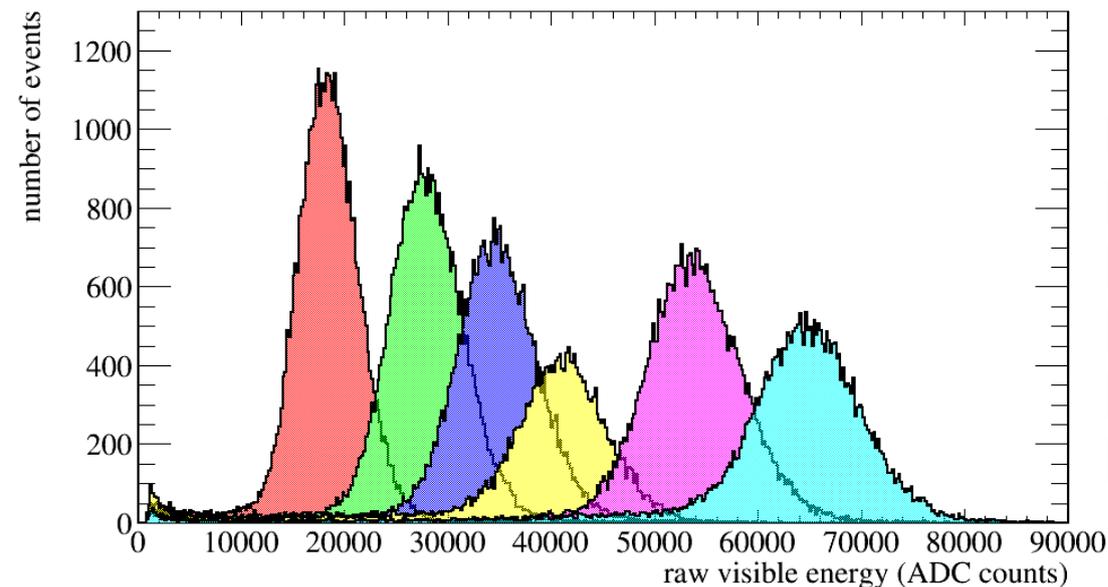
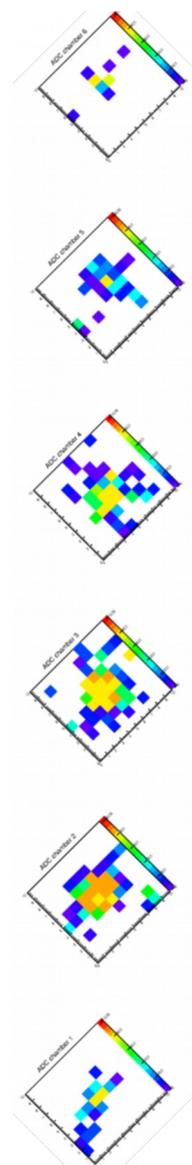
Operation d'un mini-calorimètre tout résistif dans les gerbes d'électrons (30-200 GeV)

→ comportement stable sans étincelles

→ validation de la simulation (à venir)



Total :
20 X0
3.5 X0/layer



Projet et budget 2016-...

Dessin Micromegas resistif quasi-finalisé

→ implémentation sur des cartes avec électronique embarquée (ASU)

Ojectif à moyen terme (2016-2017) : 5 ASU résistifs pour faire un télescope

A plus long terme : 1 calorimètre MPGD avec des Micromegas résistifs et des THGEM
(LAPP-Demokritos-Saclay-Weizmann)

Stock de 450 MICROROC au LAPP : 150 old + 300 (2015 production) shared with Weizmann

→ 12 ASU de 48x48 cm² à 36 puces, insuffisant pour un prototype HCAL

→ 40 ASU de 24x24 cm² à 9 puces, suffisant pour un ECAL, (analog. RO du MICROROC)

Laisse la possibilité d'évoluer vers un ECAL sans fabriquer de nouvelles puces !

Fonctionnement : 25 kEUR

Fabrication des ASU 24x24 (9 puces)

Devis PCB + câblage+Bulk résistifs = 5 kEUR / unité pour une commande de 10.

5 ASU pour le LAPP → 25 kEUR (nos collaborateurs ont le budget pour les 5 autres)

Missions : 18 kEUR

CALICE meetings, Japon (mars)

VCI, Autriche (février), CALOR 2016

Missions CERN (tests sur faisceau)