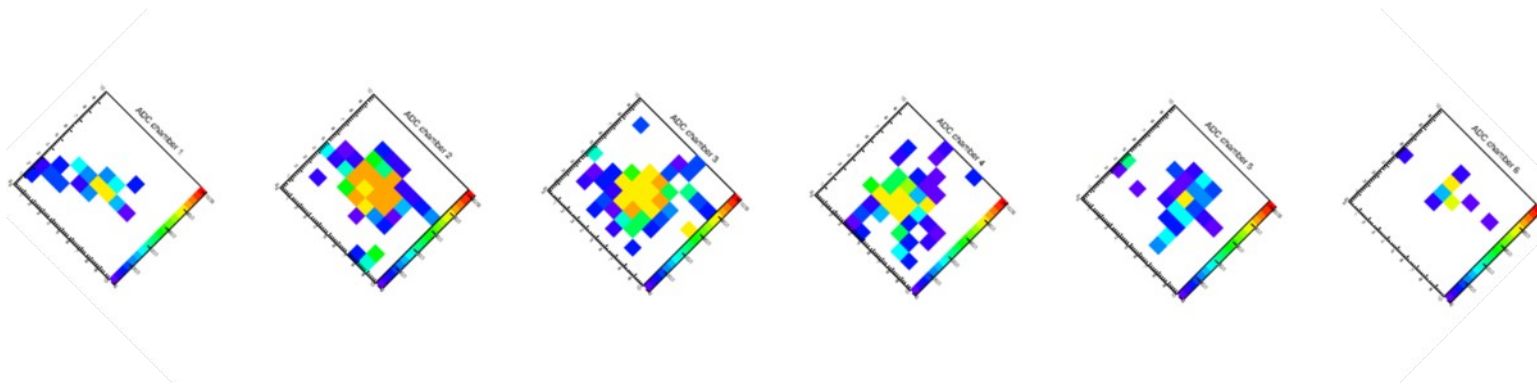


# Calorimétrie Micromegas au LAPP

## État des lieux 2015 et perspectives 2016

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



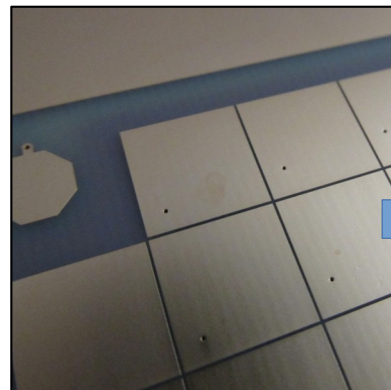
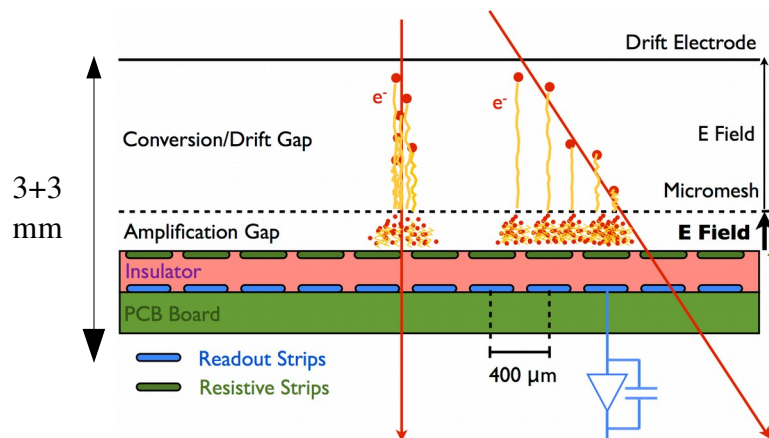
# Introduction

## 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 1x1 m<sup>2</sup>** 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

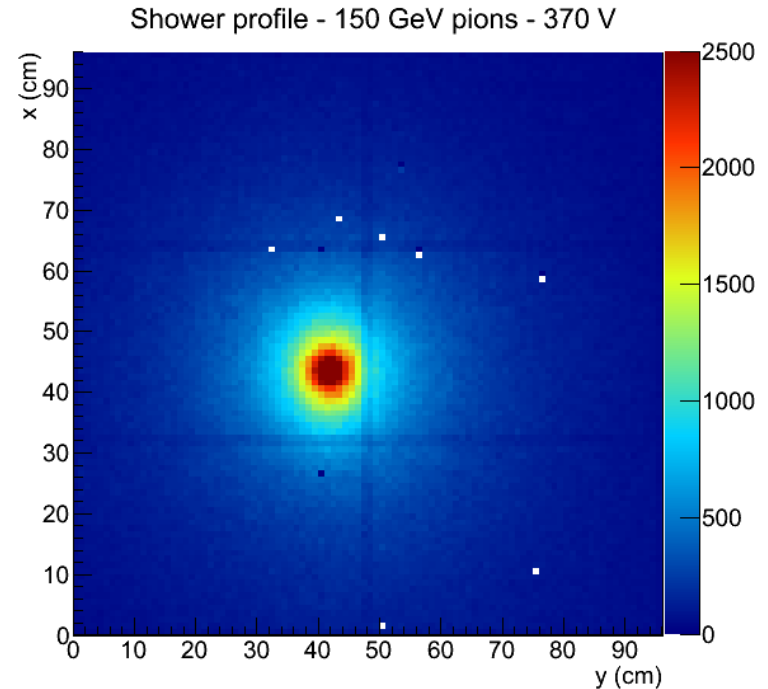
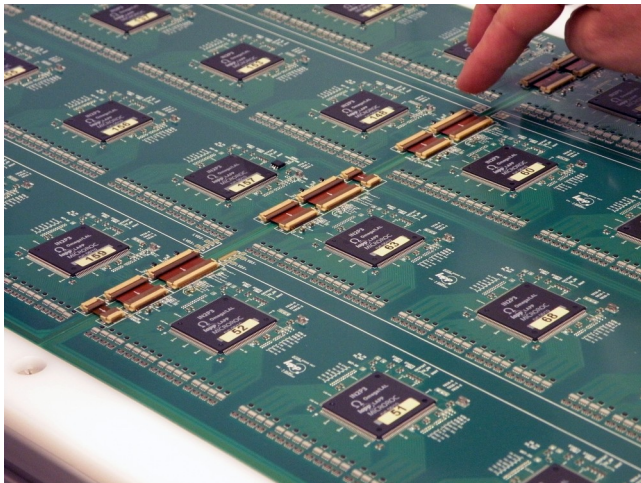
4 prototypes construits entre 2011 et 2012

- 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

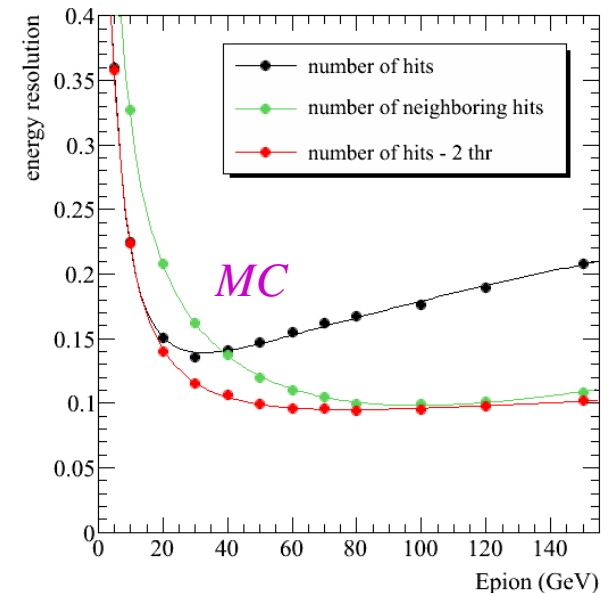
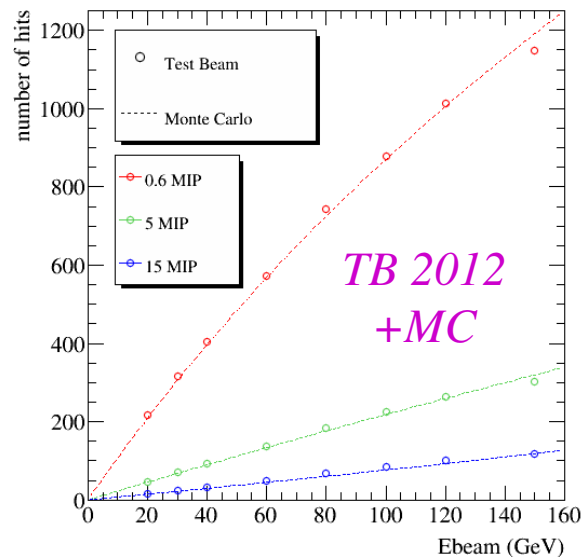
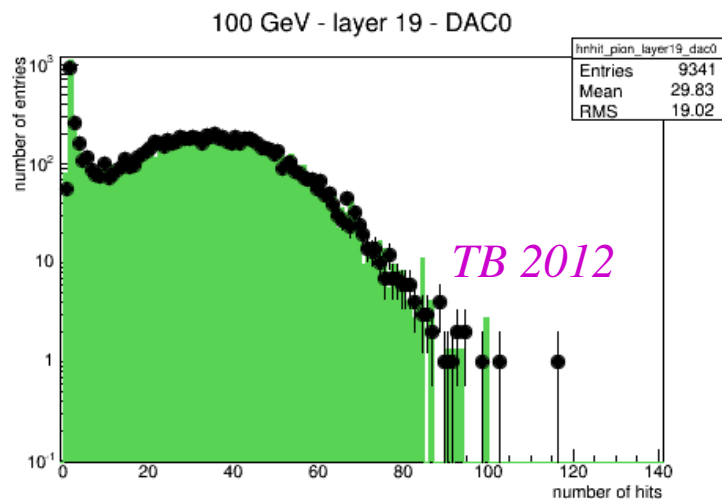


# Mesures de gerbes dans le SDHCAL

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



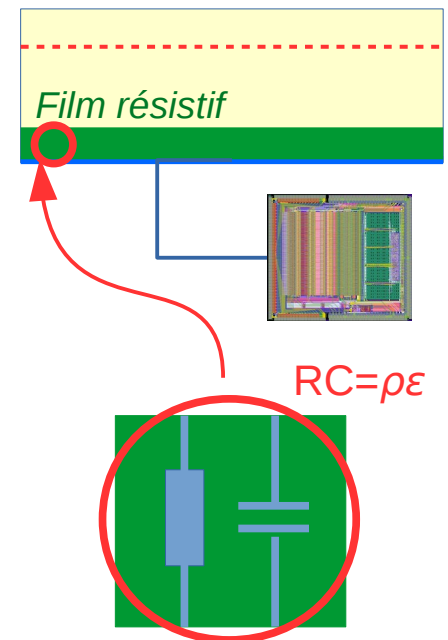
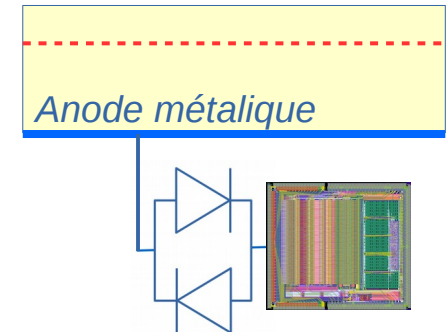
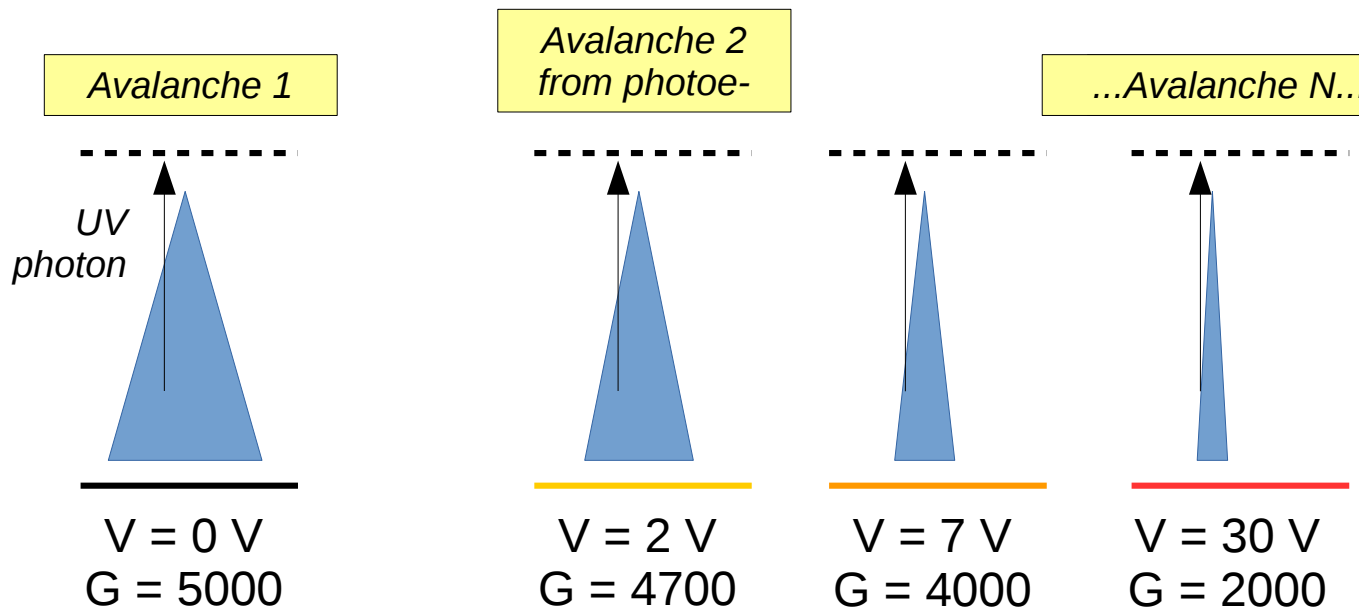
# Suppression des étincelles

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

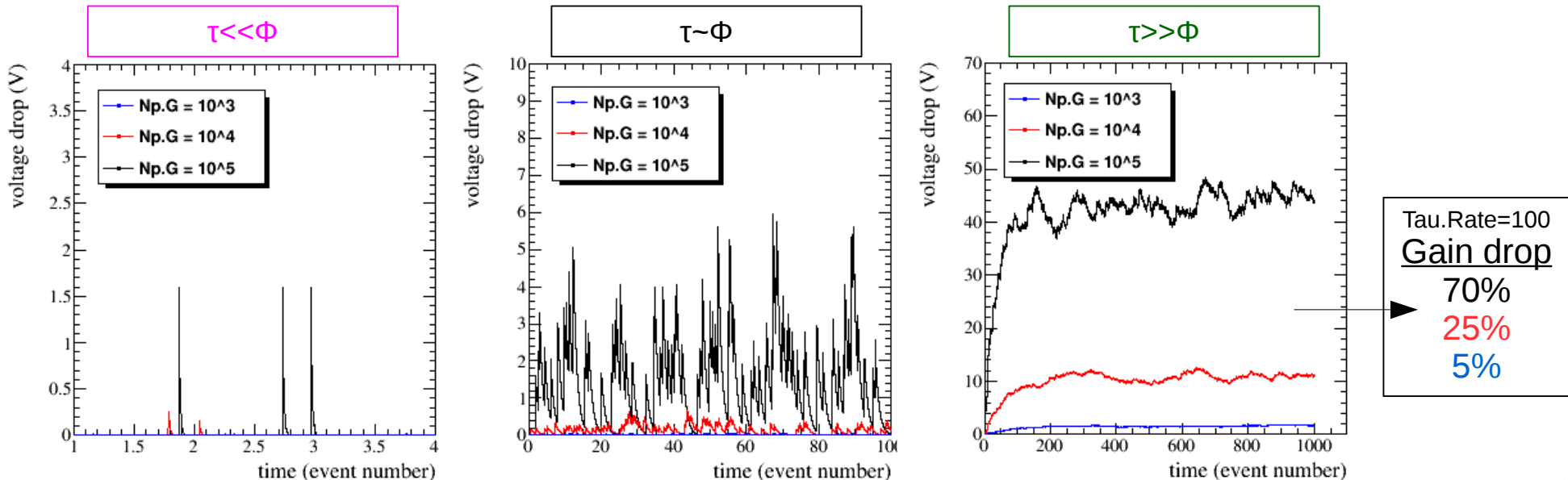
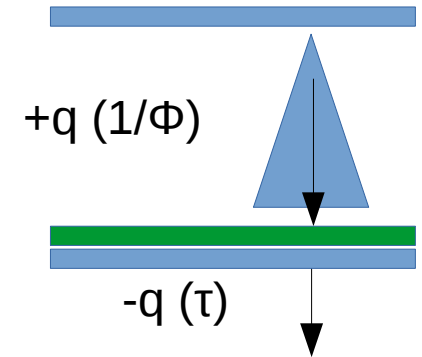
Compétition entre la charge (ionisation rate  $\Phi$ ) et la décharge (constante de temps  $\tau=RC$ )

## 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



# RPC VS Micromegas résistifs

Micromegas résistifs financés par l'ANR de 2011 à 2013

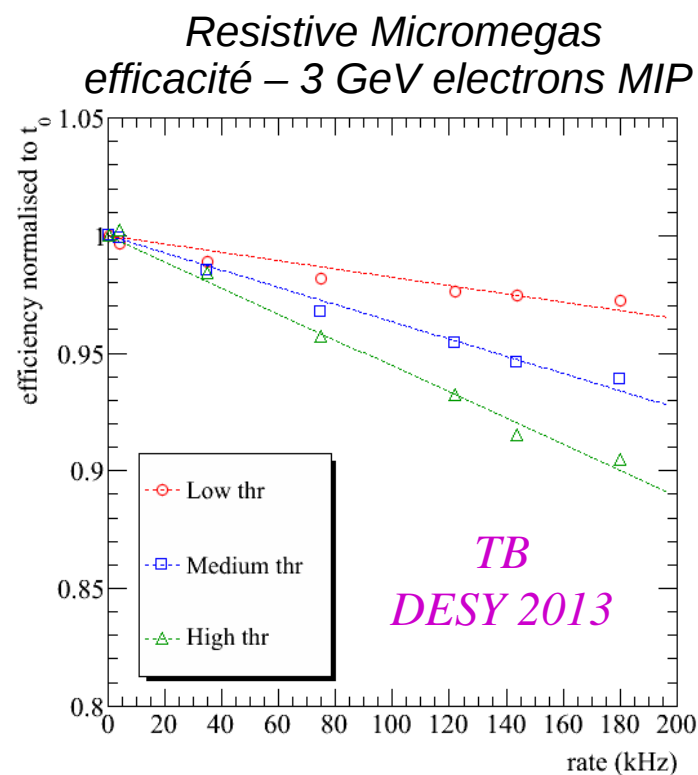
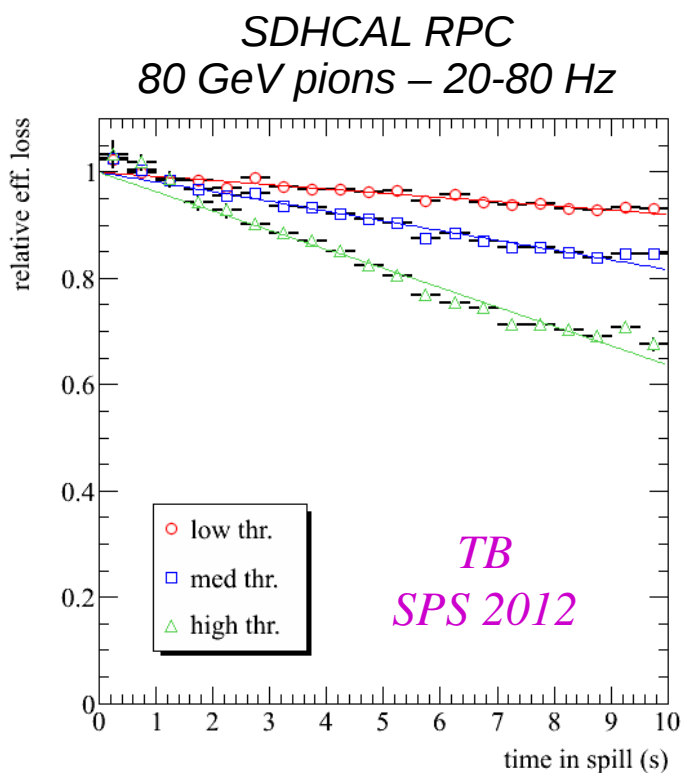
→ 3 prototypes de  $16 \times 16 \text{ cm}^2$  utilisant différents dessins résistifs

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)

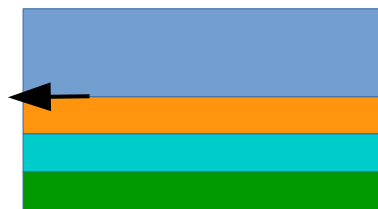
Depuis 2014, nous nous concentrons sur le dessin de « résistance enterrée » qui permet de contrôler facilement la constante de temps (via la résistivité et la forme du motif enterré).  
 → Quelle résistivité (ou RC) pour supprimer les étincelles ?



À la RPC :

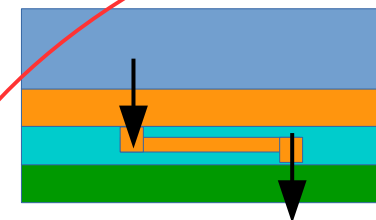
$$RC = \rho \epsilon$$

Peu de marge de manoeuvre pour changer le RC



À la TPC :

Evacuation horizontale  
 R dépend de la taille du proto.

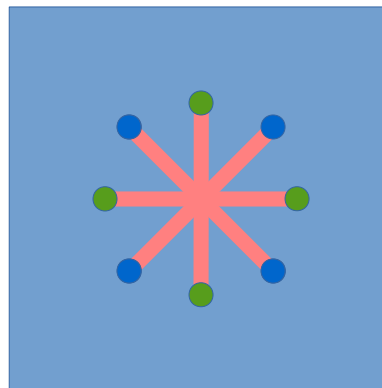


Gaz  
 Résistif  
 Isolant  
 Anode

R-enterrée:  
 Evacuation verticale  
 R réglable

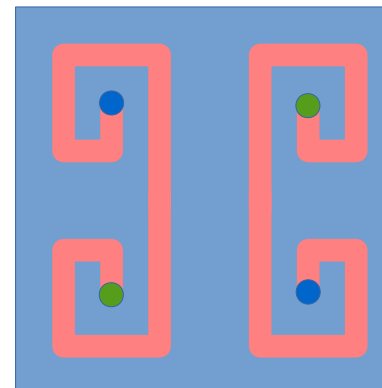


'Star' pattern



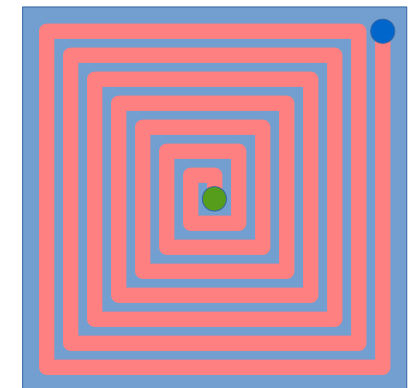
R = 400 kOhm  
 @ 100 kOhm/sq

'Mirror' pattern



R = 4 MOhm

'Snake' pattern



R = 40 MOhm



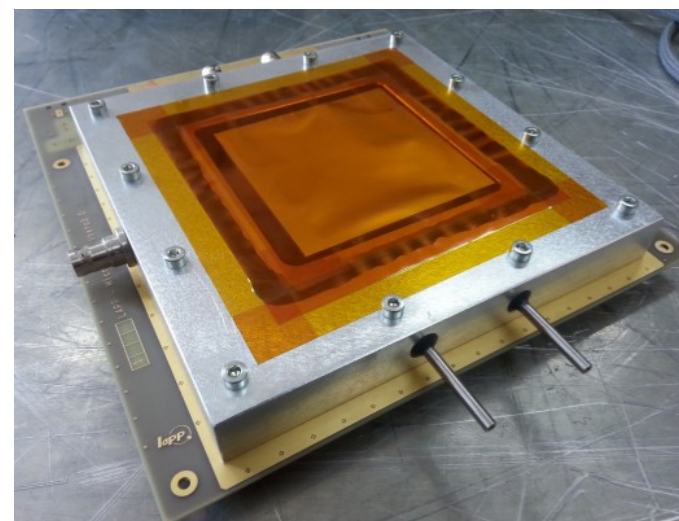
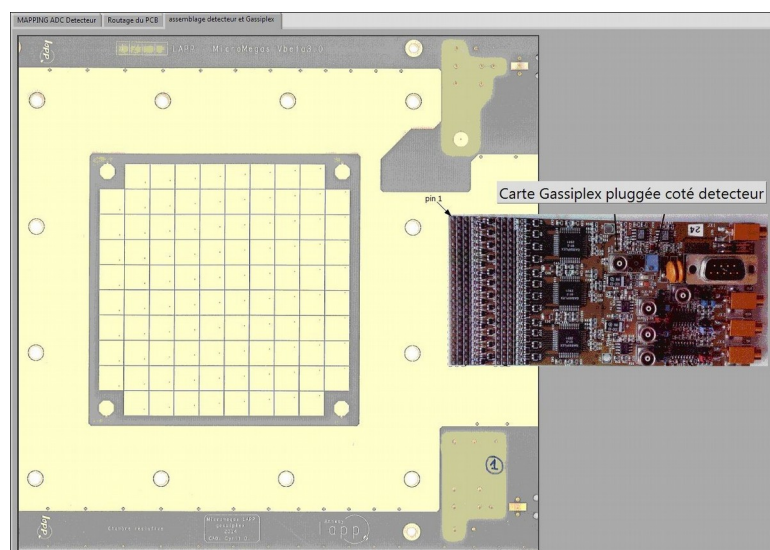
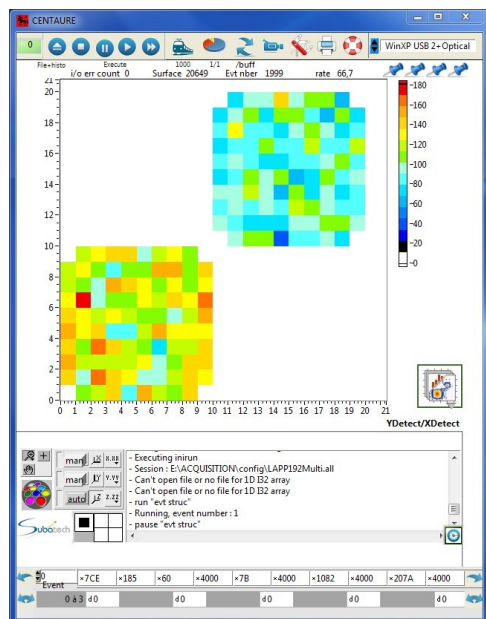
# Prototypes résistifs

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

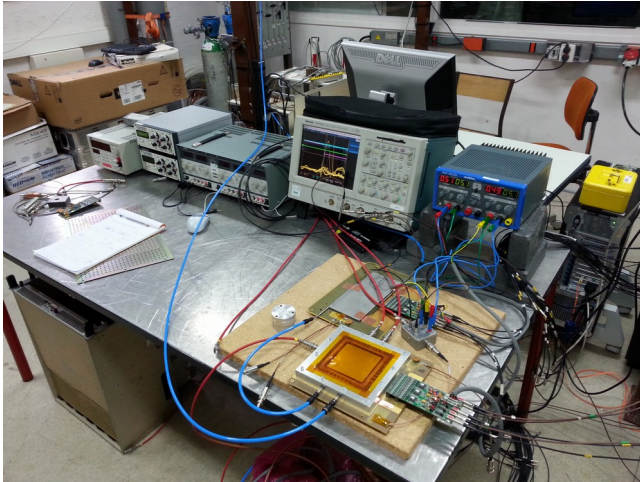
Réalisés en 2 fois sur 2014 ( $R_s = 100 \text{ k}\Omega/\square$ ) et 2015 ( $R_s = 1 \text{ k}\Omega/\square$ ) car financements critiques :

Réduction et partage des coûts :

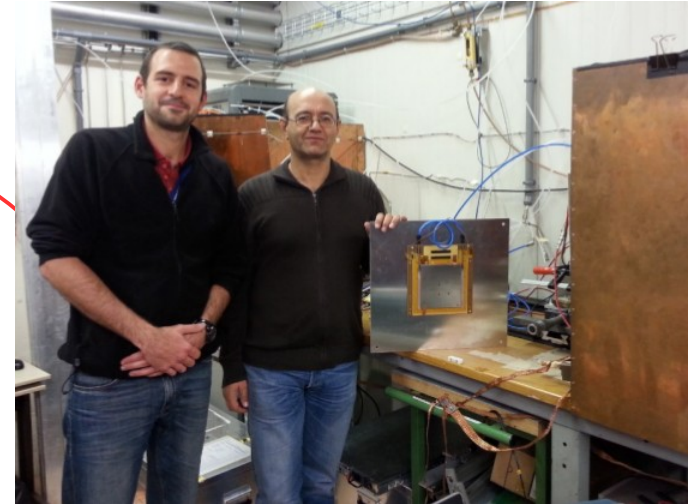
- PCB simples avec électronique externe (Gassiplex, CAO des premiers prototypes de 2006)
- Location magasin CERN (module ADC, carte PC et fibre optique)
- Mise à jour du premier Labview de 2008 (Subatech, windows XP → 7)
- Collaboration LAPP (dessin, assemblage, test) – Demokritos (DAQ, test) – Saclay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



# Tests sur faisceau et en labo.



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



RD51 lab au CERN (canon X)  
Tenue en flux



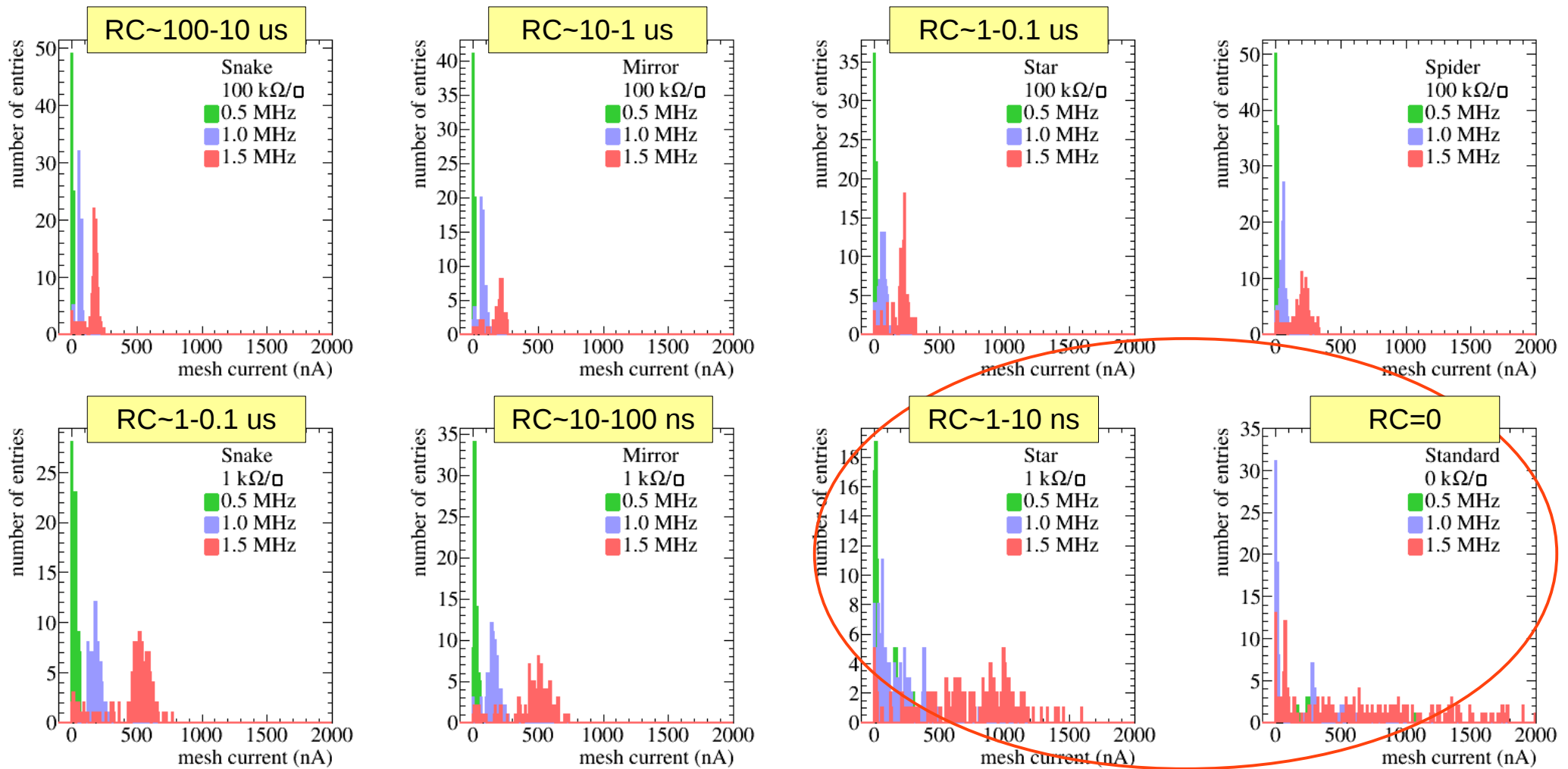
Testbeam CERN/SPS:  
Etincelles dans les gerbes  
+ mini-ECAL

# 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)

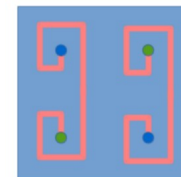
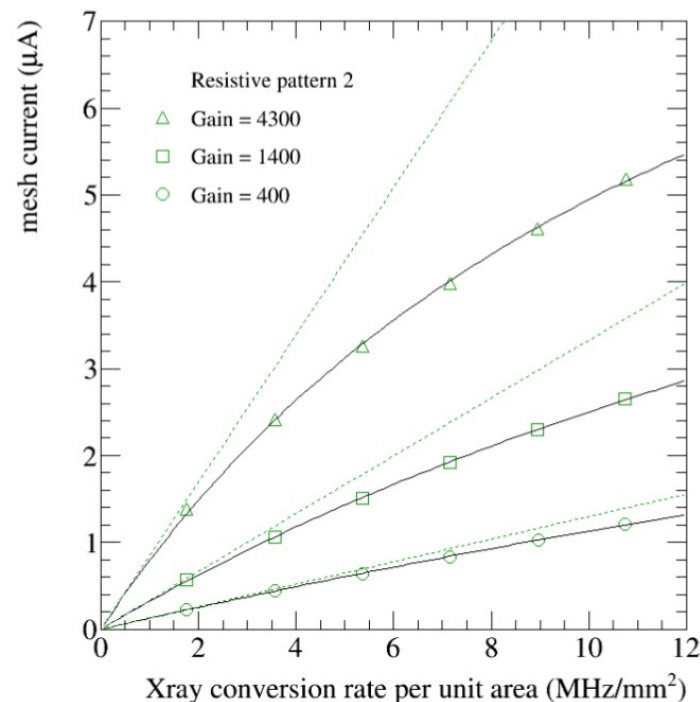
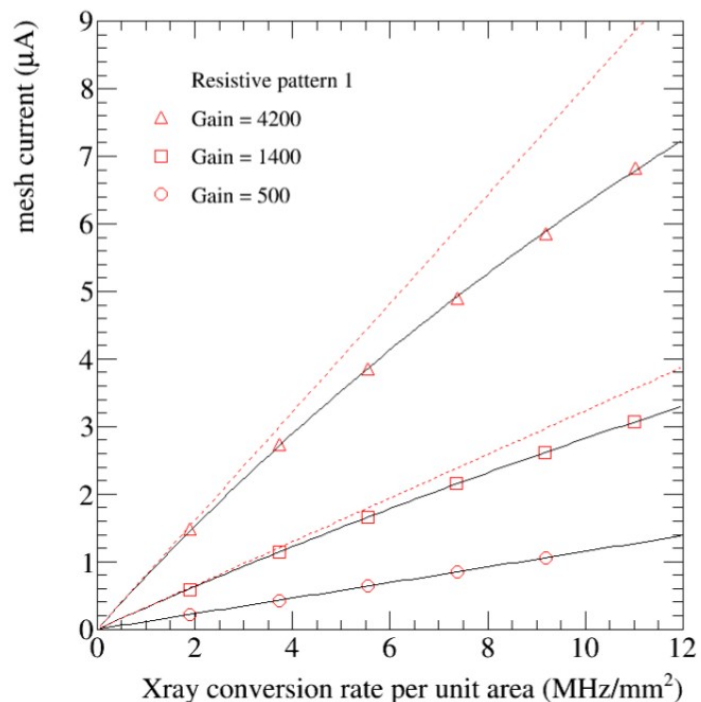
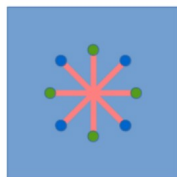
La mesure de la tenue en flux (canon rayons X de 8 keV) consiste à mesurer le courant en fonction du taux de conversion des rayons X dans le gaz. To a good approximation:

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

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

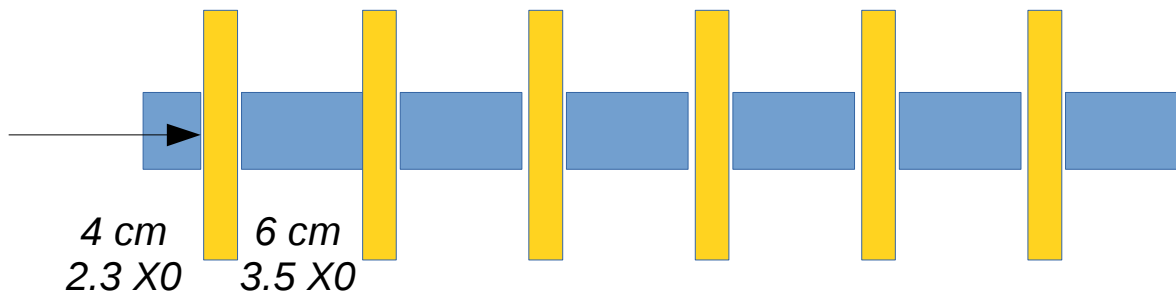
A gain nominal et pour des rayons X,

les effets du chargement sur le gain sont négligeables jusqu'à 1 MHz/mm<sup>2</sup> !

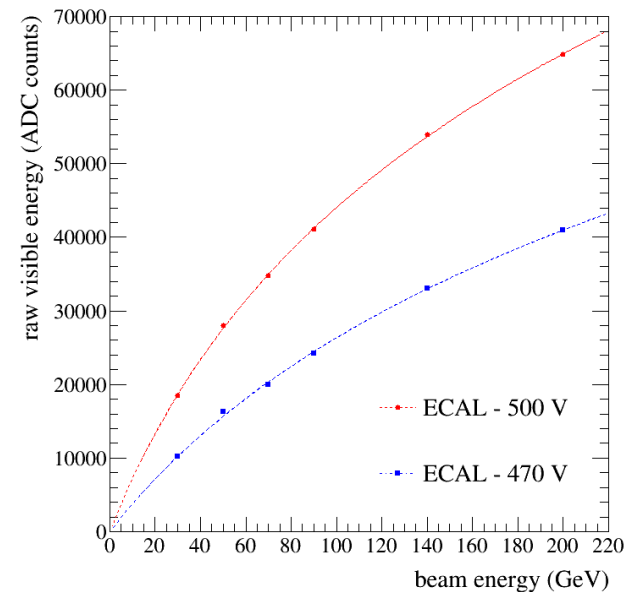
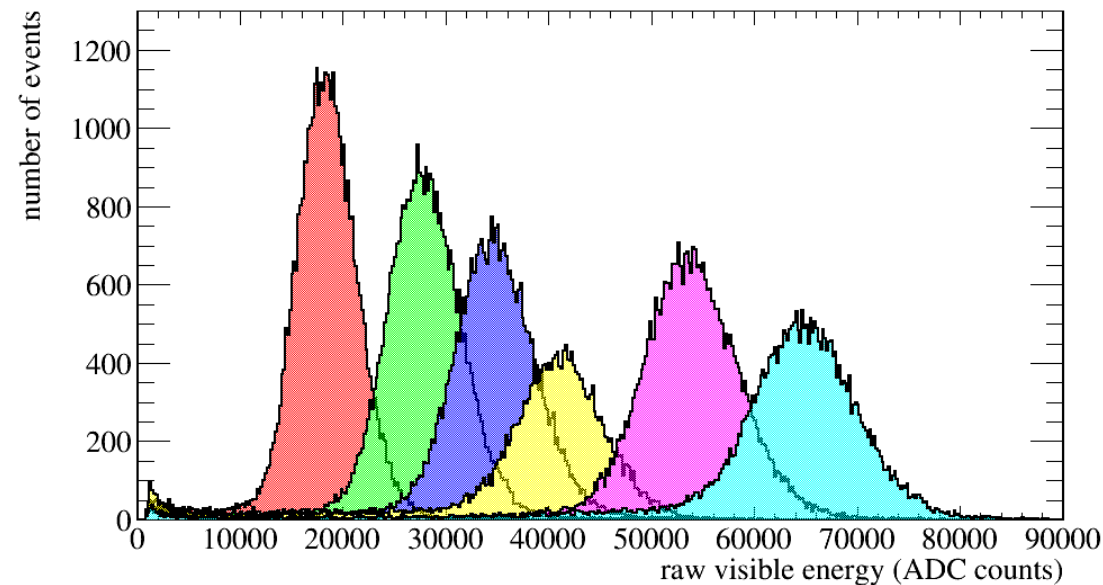
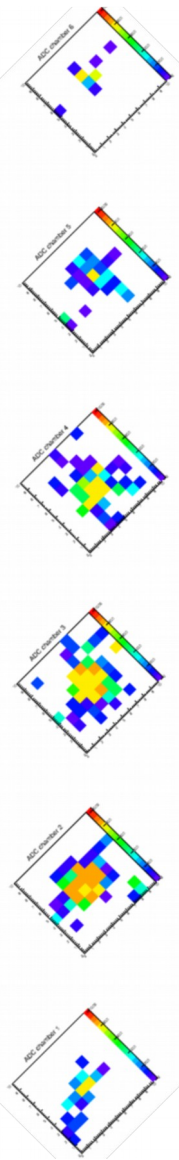


# Mini-ECAL Fe/Ar

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  $48 \times 48 \text{ cm}^2$  à 36 puces, insuffisant pour un prototype HCAL

→ 40 ASU de  $24 \times 24 \text{ cm}^2$  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  $24 \times 24$  (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)