

# ACTAR TPC:

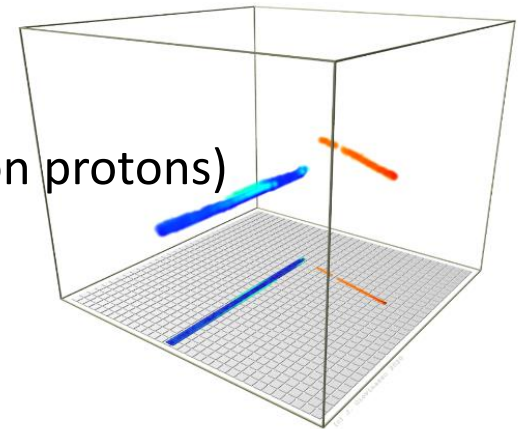
## développements, tests, exploitation

*J. Giovinazzo – groupe Noyaux Exotiques*

*J. Pibernat – service Electronique & Acquisition*

### besoin scientifique

- reconstruction **3D** de trajectoires de particules chargées
  - réactions nucléaires (mode cible active, GANIL)
  - décroissances exotiques (**CENBG / NEX** → émission protons)



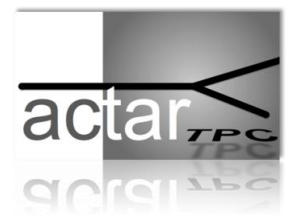
### réponse technique / instrumentale

- développement d'une TPC
  - plan de pads pixelisé (**X,Y**)
  - échantillonnage temps de la dérive (**T** ↔ **Z**)
  - « voxélisation » (3D) de la charge d'ionisation dans le volume actif

collaboration GANIL / CENBG + électronique GET



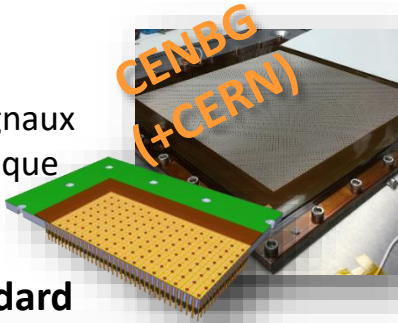
Journée Technique – 15 décembre 2021



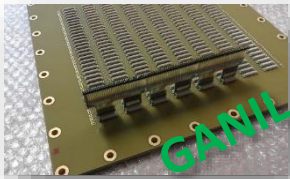
# description fonctionnelle

## PCB métal

- densité de signaux
- tenue mécanique (pression)



## PCB standard



plan de  
collection

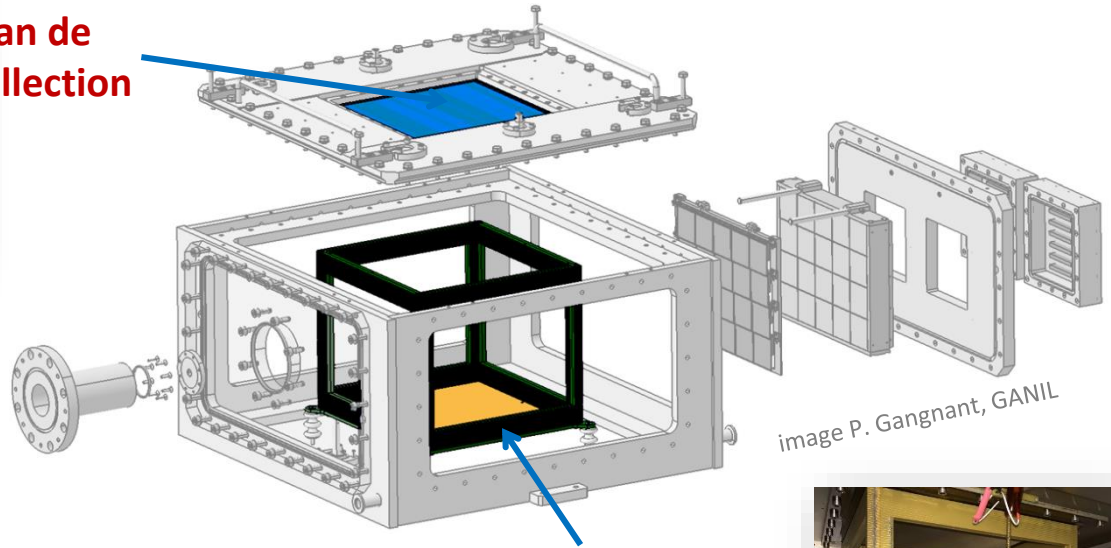


image P. Gangnant, GANIL

cage de dérive

- uniformité champ
- transparence

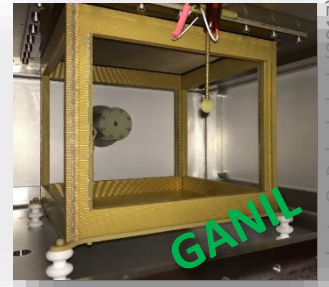
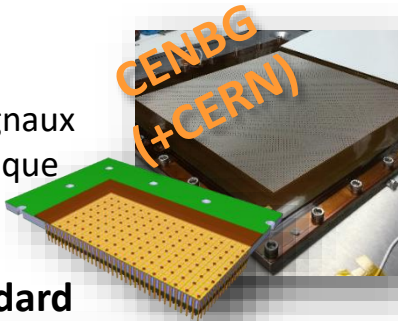


photo O. Poleshchuk (2017)

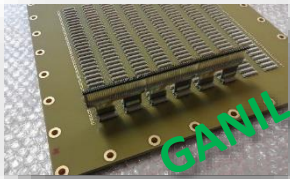
# description fonctionnelle

## PCB métal

- densité de signaux
- tenue mécanique (pression)



## PCB standard



plan de  
collection

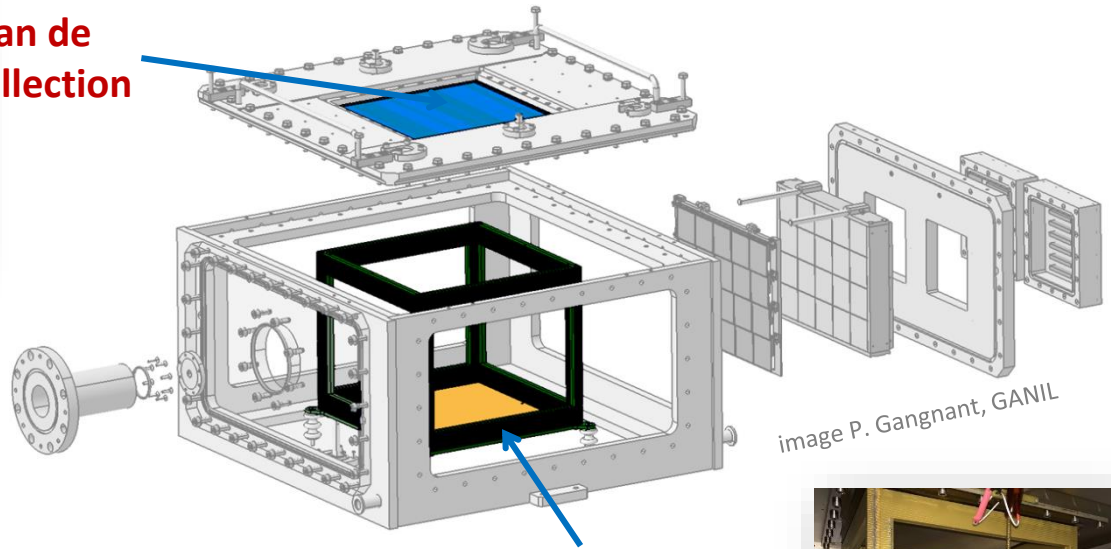


image P. Gangnant, GANIL

cage de dérive

- uniformité champ
- transparence

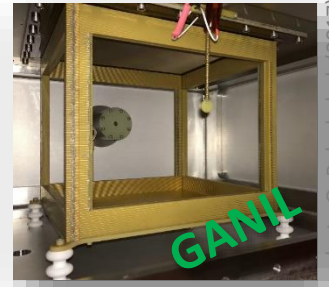


photo O. Poleshchuk (2017)

électronique

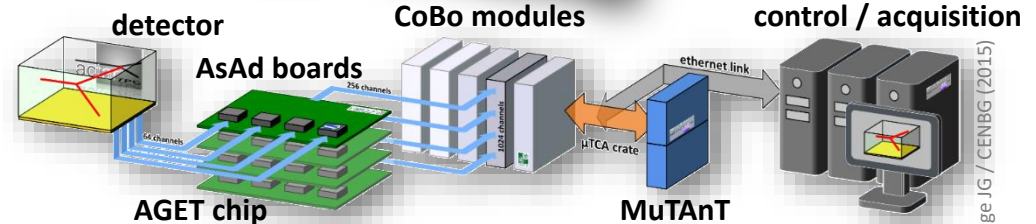
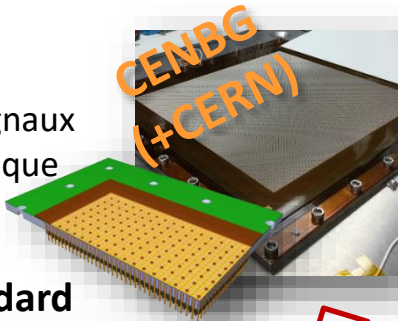


image JG / CENBG (2015)

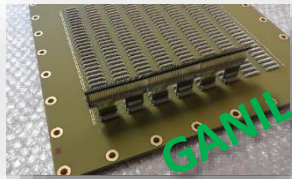
# description fonctionnelle

## PCB métal

- densité de signaux
- tenue mécanique (pression)



## PCB standard



## plan de collection

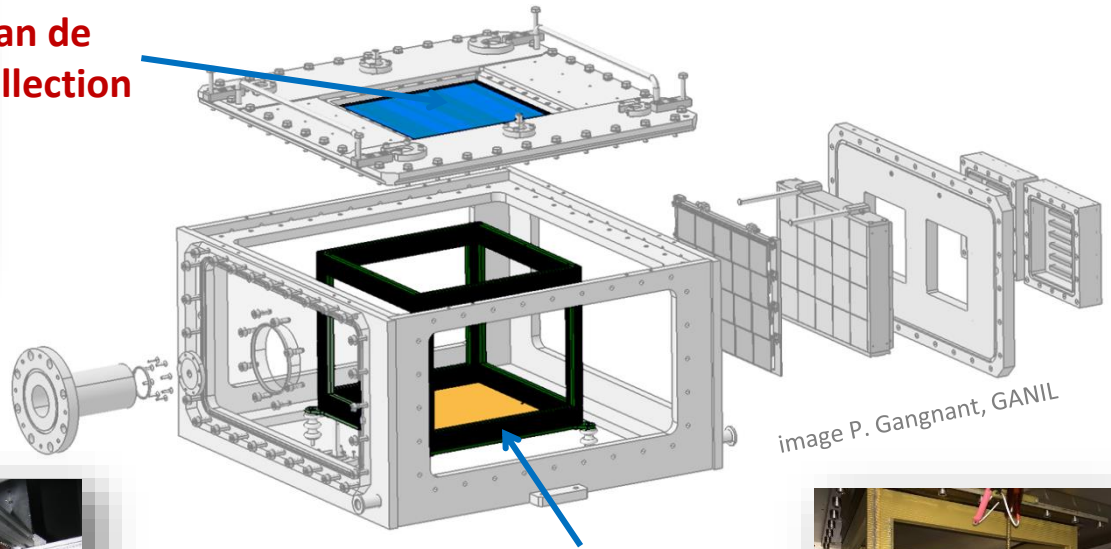
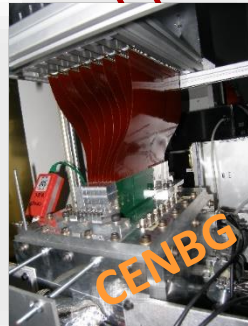


image P. Gangnant, GANIL

## connexion PCB flex.

- encombrement
- capacité (bruit)
- protection



## cage de dérive

- uniformité champ
- transparence

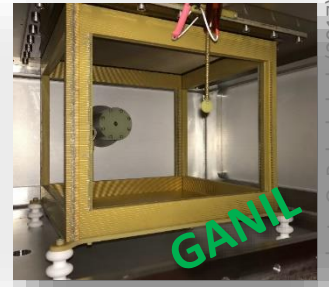


photo O. Poleshnchuk (2017)

## électronique

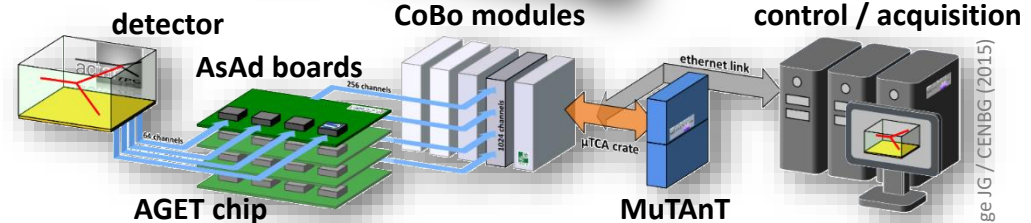


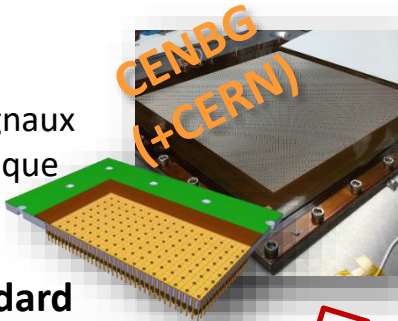
image JG / CENBG (2015)



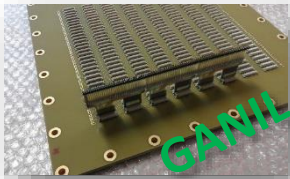
# description fonctionnelle

## PCB métal

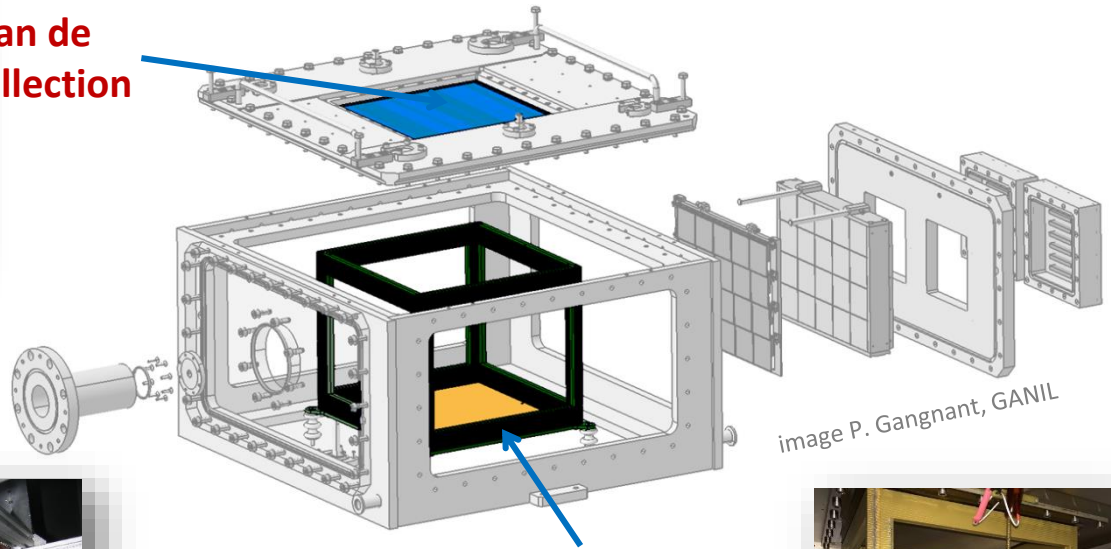
- densité de signaux
- tenue mécanique (pression)



## PCB standard

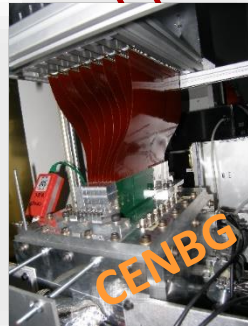


## plan de collection



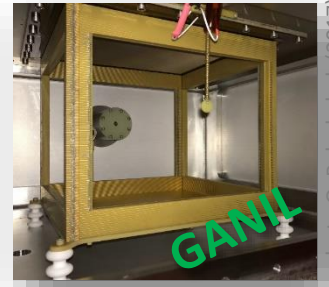
## connexion PCB flex.

- encombrement
- capacité (bruit)
- protection



## cage de dérive

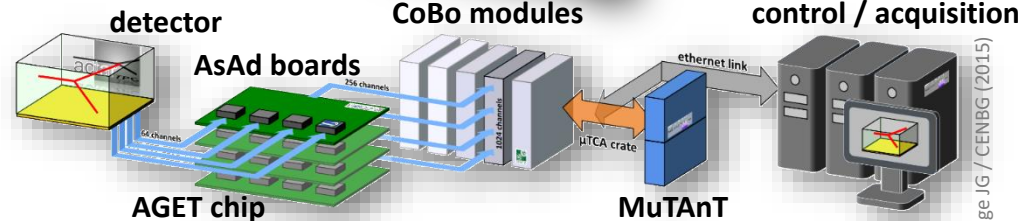
- uniformité champ
- transparence



## réalisation détecteurs

- **2 démonstrateurs** (2k voies)
  - tests choix techno
  - caractérisation
- **2 détecteurs** (16k voies)
  - 2 géométries
  - 1 exploitée,
  - 1 en test (au GANIL)

## électronique



# Technologie micromégas sur cœur métallique (1/2)

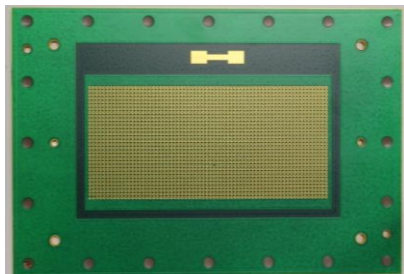
MICRO MESH Gaseous Structure: Détecteur pixels 2D + grille amplification à qqs 100µm OK en 2011

- Pitch 2mm
- Pression +/- 1 atm. } R & D détecteur

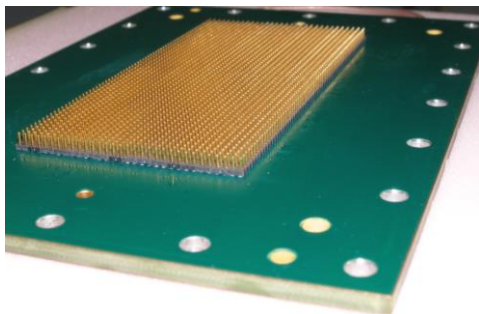
Etape 0: Plaque métal usinée (proto 2014)



Etape 8: PCB top view (proto 2014)



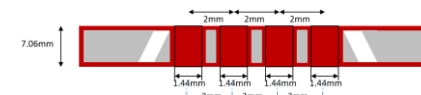
Etape 10 Dessous du Micromegas (proto 2014)



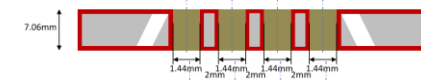
Principe: Le pixel c'est directement le contact d'extraction

1% de pixels « morts » -> mauvais contact + risque de fuite  
Brasage manuel en complément

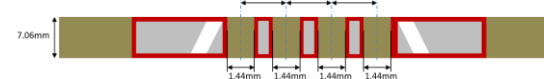
1) Plaquage Cu



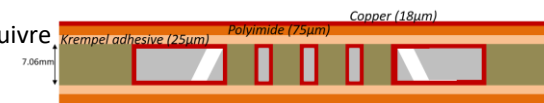
2) Bouchage Epoxy



3) Cadrage Epoxy



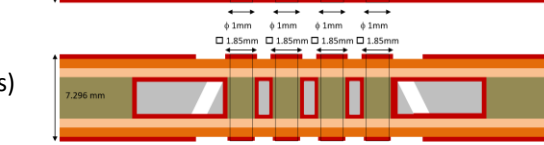
4) Collage Kapton/Cuivre



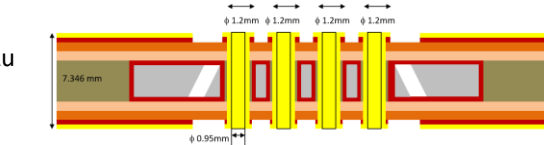
5) Perçage Epoxy



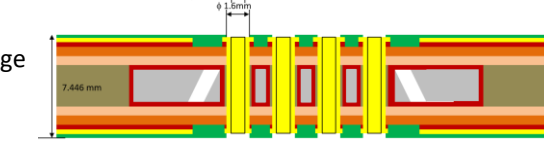
6) Gravure Cu (pads)



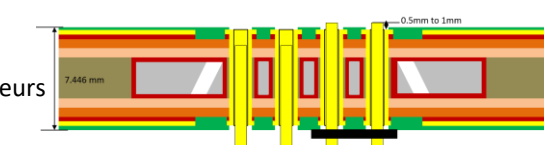
7) Métallisation NiAu



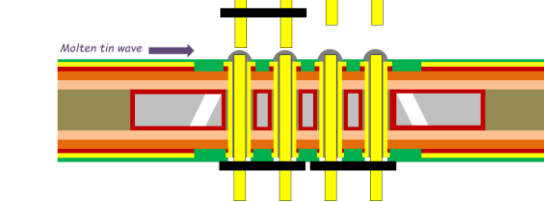
8) Masque de brasage



9) Insertion connecteurs



10) Brasage vague

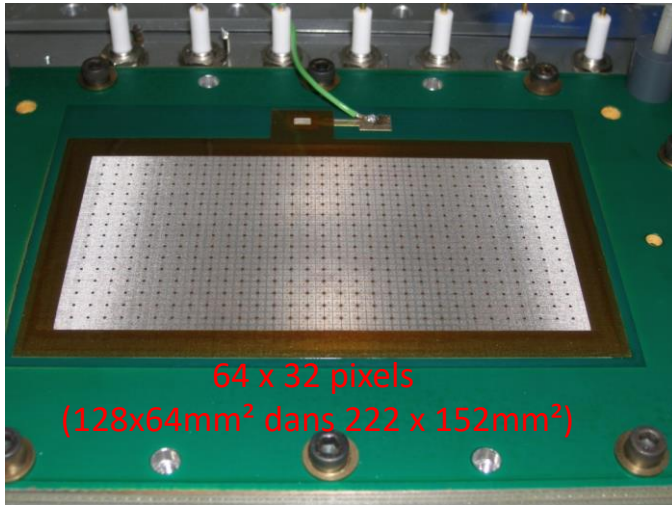


Gamme CERN

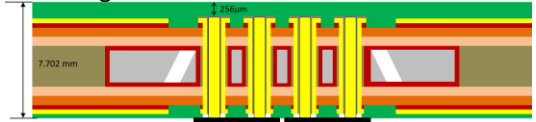
Gamme FEDD

# Technologie micromégas sur cœur métallique (2/2)

## Etape 16 Dessus du Micromegas (proto 2014)



13) Laminage Kapton & insolage



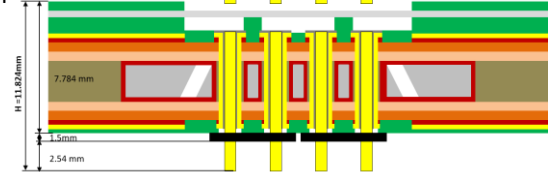
14) Laminage Grille



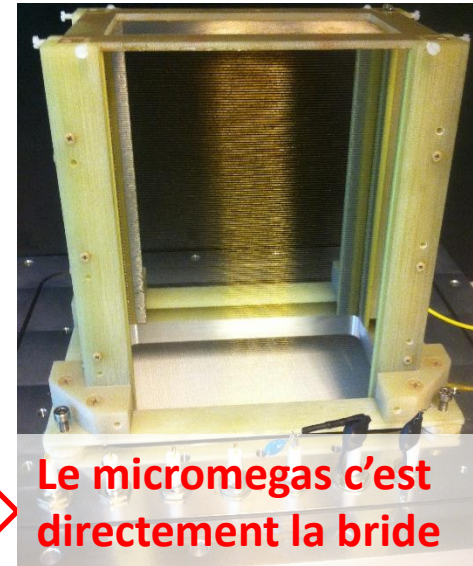
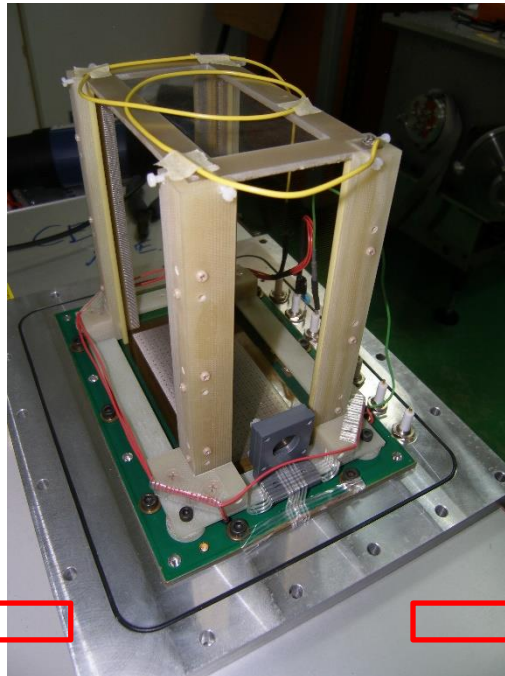
15) Laminage Kapton & insolage



16) Gravure chimique

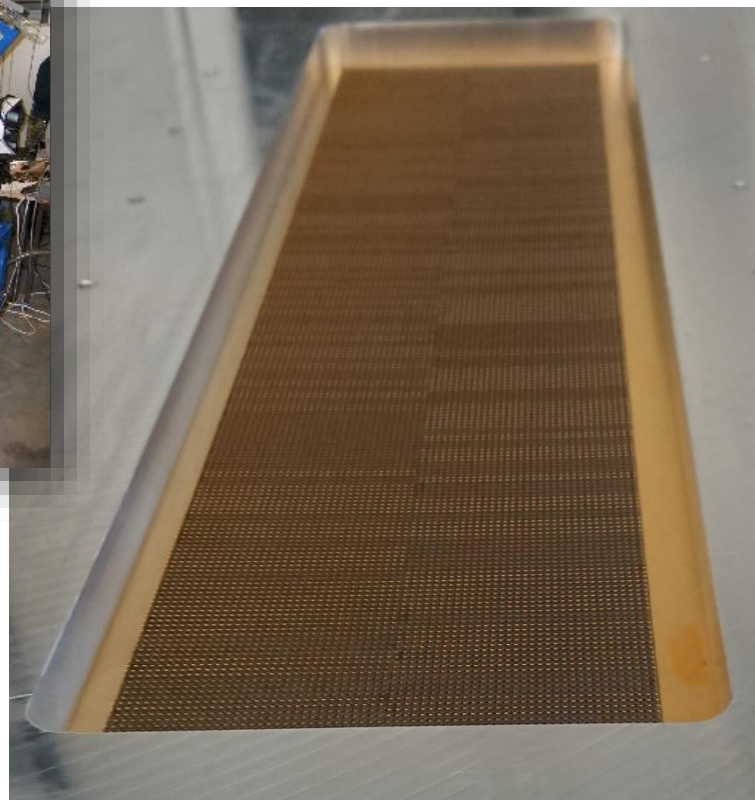
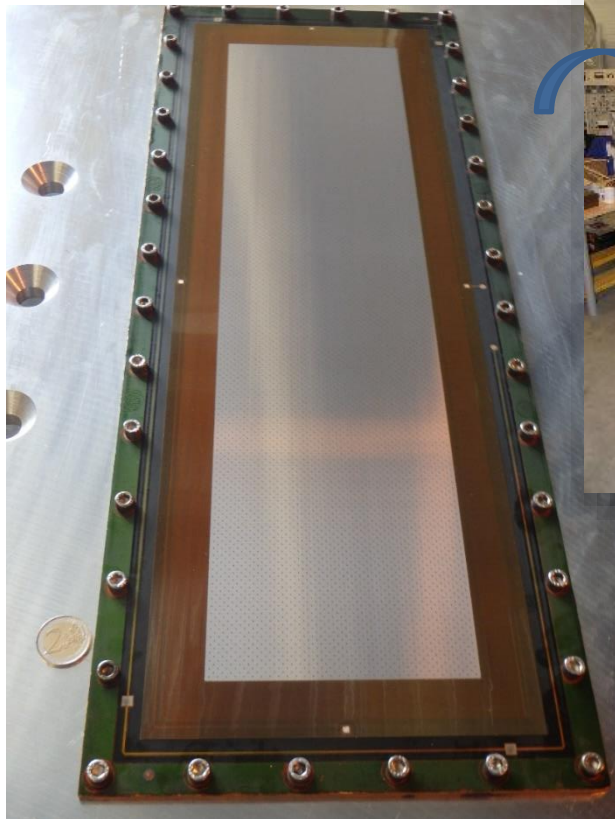


Gamme CERN

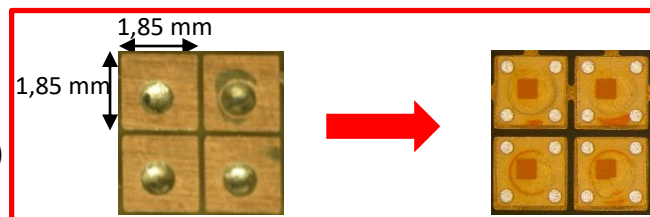




# Micromegas L-ACTAR: 16384 pixels (64x256)

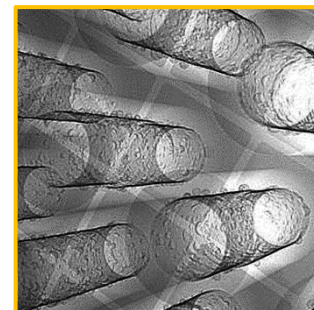


- Commandé en 2018, livré en... 2020!
- Changement d'échelle + changement métal (alu vers inox)
- Changement machine -> modification gamme FEDD
- Modification du process CERN ajout « 13-bis » (couche résistive)
- Suppression « gamme FEDD » en 2021 (pour 2<sup>e</sup> exemplaire)
  - Pb soudure difficile à inspecter dans inox
  - Remplacement par polymérisation des contacts



13 bis: Ajout couche résistive

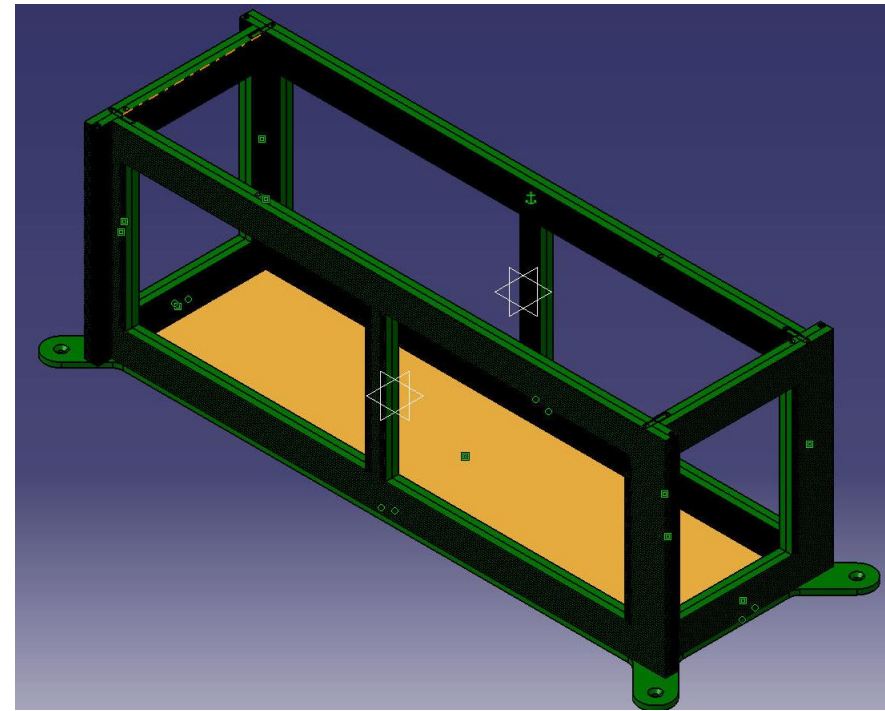
Inspection Rx soudures sur proto cœur  
Alu  
Impossible sur cœur inox





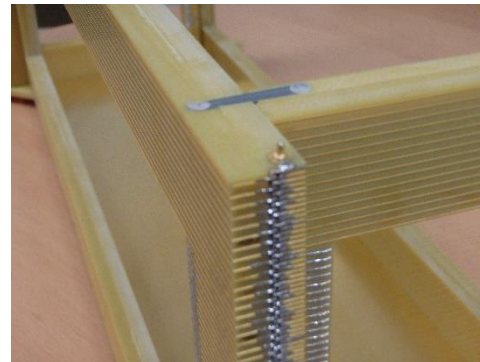
# Cage de dérivation L-ACTAR

- Assemblage de cadres époxy
- Fils diamètre  $100\mu\text{m}$  tous les mm (tendus/soudés)
- Potentiel fixe par fil entre 0,5kV et 5 kV
- Pont diviseur de tension par résistances 0402



Cage de dérivation L-ACTAR (image S. List)

- Conception générale: BE mécanique GANIL
- Conception spécifique: Meca/SEA CENBG
- Fabrication des cadres: CIBEL
- Fabrication des cadres tissés: GANIL



# Extraction des signaux

- *Trop fastoche! Y'a pas faire des câbles*

# Extraction des signaux

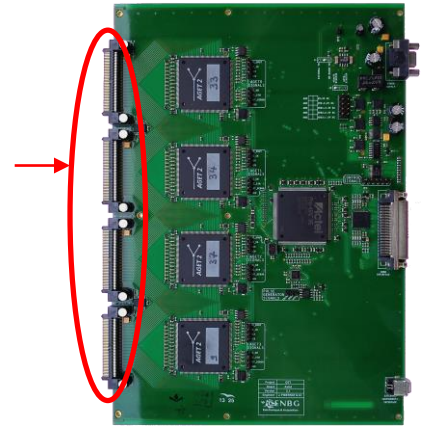
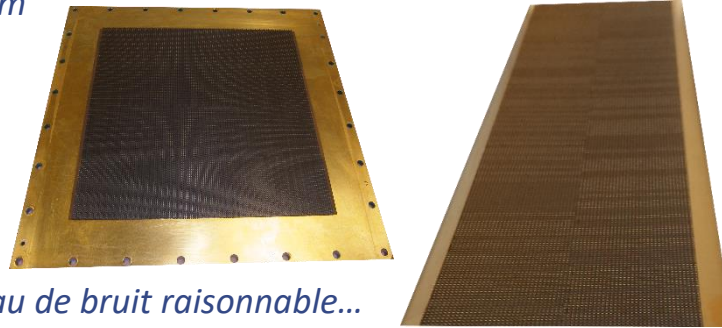
- *Trop fastoche! Y'a pas faire des câbles*
- *Rappel cahier des charges:*

✓ *Electronique de lecture existante (AsAd = GET front-end, 256 entrées //, pitch  $\sim 0,8\text{mm}$ )* →

- *Epaisseur AsAd sans blindage  $\sim 8\text{mm}$*

✓ *2 géométries de détecteur:*

- *128x128 pads (GANIL), pitch 2mm*
- *256x64 pads (CENBG), pitch 2mm*



✓ *Il faudrait quand même garder un niveau de bruit raisonnable...*

- ⇒ *Possibilité d'ajuster la longueur fonction de la capacité linéique des lignes de transmission du signal*
- ⇒ *Ou bien d'ajuster la capacité linéique des lignes en fonction de la longueur!*

✓ *Et quand il y aura des claquages...?*

- ⇒ *Inclusion de protections pour l'électronique de lecture de chaque canal*

✓ *Et puis, en 2016, ce serait bien si on pouvait réduire le gain dans les zones sous faisceau...*

- ⇒ *Possibilité de polarisation par zone et configurable*



# Extraction des signaux

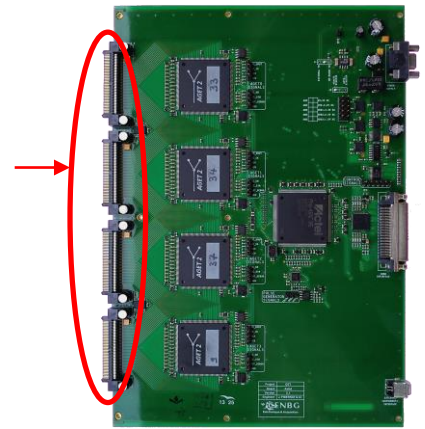
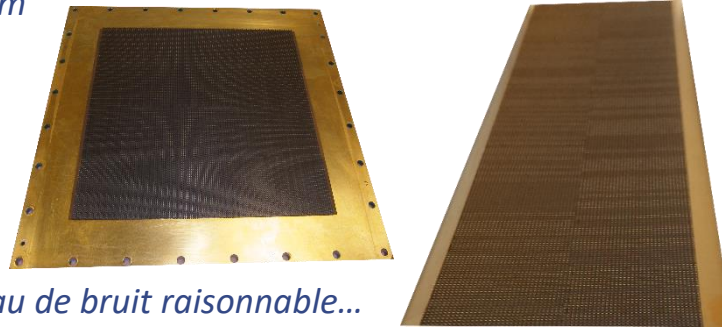
- *Trop fastoche! Y'a pas faire des câbles*
- *Rappel cahier des charges:*

✓ *Electronique de lecture existante (AsAd = GET front-end, 256 entrées //, pitch  $\sim 0,8\text{mm}$ )*

- *Epaisseur AsAd sans blindage  $\sim 8\text{mm}$*

✓ *2 géométries de détecteur:*

- *128x128pads (GANIL), pitch 2mm*
- *256x64 pads (CENBG), pitch 2mm*



✓ *Il faudrait quand même garder un niveau de bruit raisonnable...*

- ⇒ *Possibilité d'ajuster la longueur fonction de la capacité linéique des lignes de transmission du signal*
- ⇒ *Ou bien d'ajuster la capacité linéique des lignes en fonction de la longueur!*

✓ *Et quand il y aura des claquages...?*

- ⇒ *Inclusion de protections pour l'électronique de lecture de chaque canal*

✓ *Et puis, en 2016, ce serait bien si on pouvait réduire le gain dans les zones sous faisceau...*

- ⇒ *Possibilité de polarisation par zone et configurable*

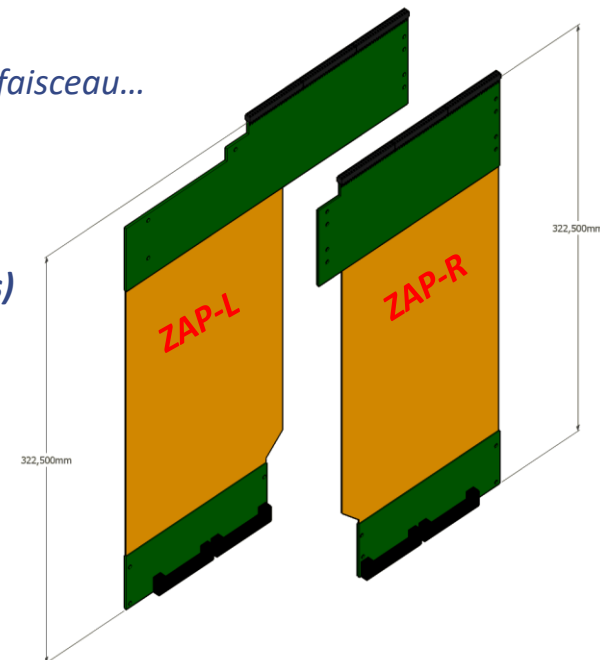
• ***Solution proto: 2 circuits flex-rigide ZAP-L et ZAP-R pour ACTAR***

- *128 canaux chacun*
- *Connecteurs au pas de 2mm soudés sur la tranche côté détecteur (2x64 cts)*
- *Longueur totale  $\sim 320\text{mm}$ , 2+2 plans cuivre*
- *Impédance contrôlée -> capacité équivalente  $\sim 30\text{pF}$*
- *Circuit générique ZAP pour absorption des décharges électrostatiques*
- *Connexion directe vers 1 AsAd par assemblage mécanique des 2 circuits*

• *Ajout 2016*

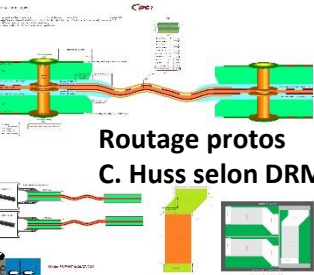
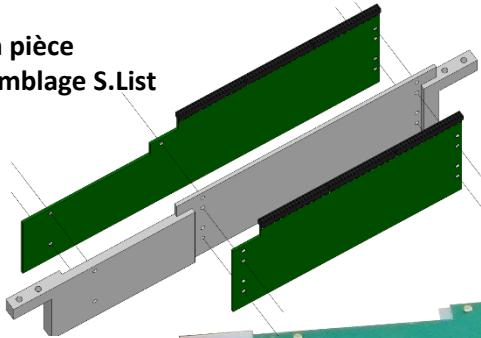
- *Polarisation jusqu'à 200V de 4 groupes de pads configurables*

• *Coût final  $< 5\text{€}/\text{voie}$*

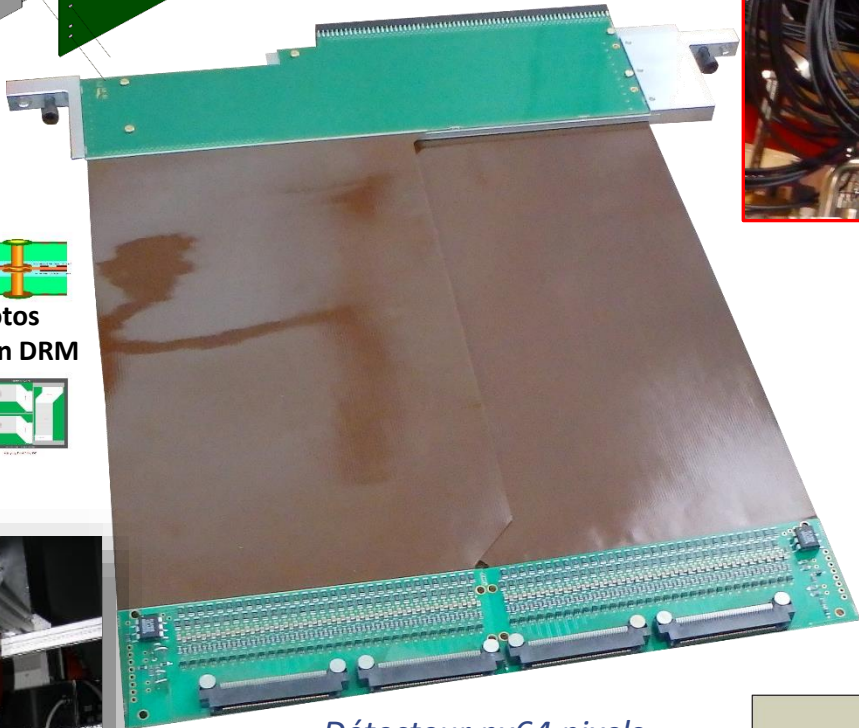
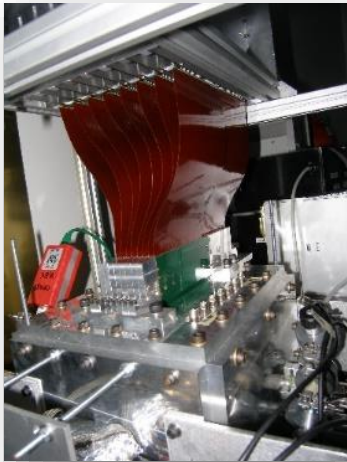


# ZAP-L et ZAP-R proto

Design pièce  
d'assemblage S.List

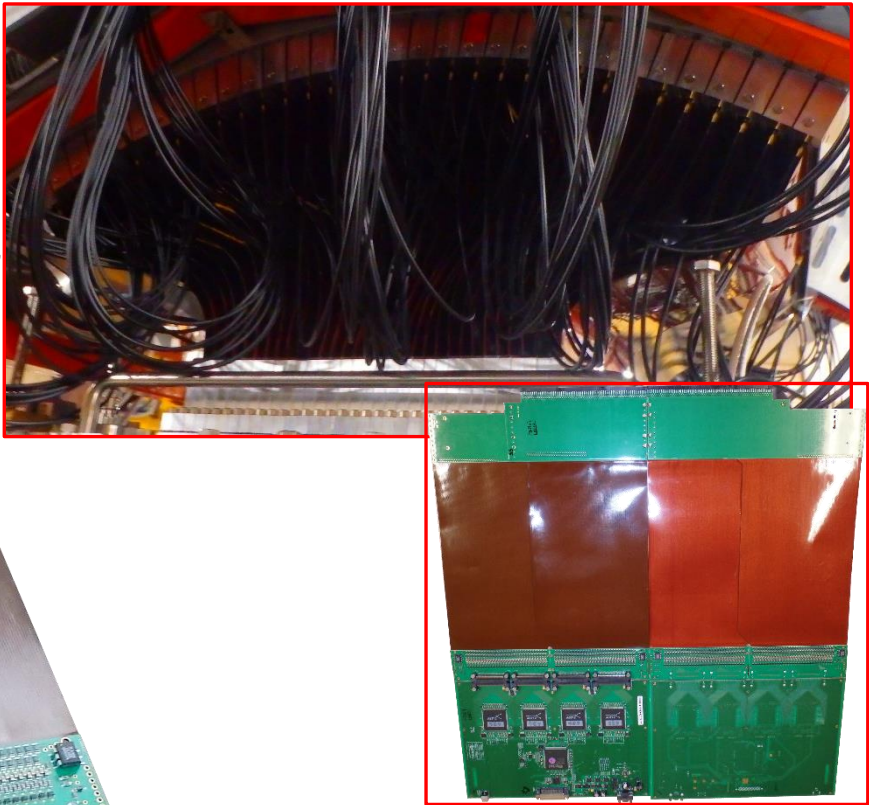


Routage protos  
C. Huss selon DRM

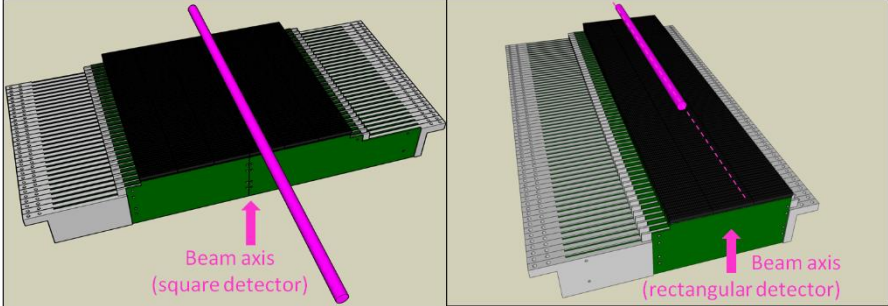


Détecteur nx64 pixels

Détecteur n x 128 pixels



Orientation par rapport au faisceau  
(polarisation pads par groupe)



# Electronique de lecture

## GET (ANR 2009-2014)

- Objectif: Fournir une solution générique pour la lecture de signaux de TPC
- Collaboration CEA/IRFU - GANIL- CENBG– NSCL (USA)
- Financement ANR pour la partie française
- Architecture hardware du système:



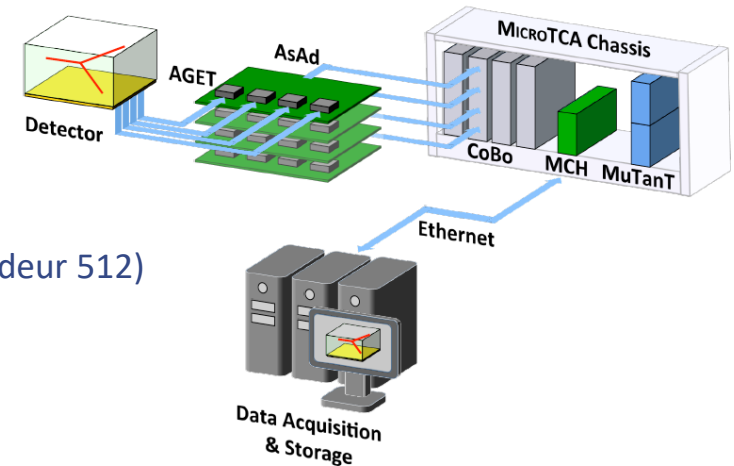
- 1 ASIC AGET pour la lecture de 64 voies; par voie:
  - préampli de charge (4 gammes au choix)
  - mise en forme par filtrage (16 cst de temps)
  - échantillonnage et mémoire analogique (profondeur 512)
  - discriminateur à seuil fixé par DAC



- 4 ASICs par carte AsAd (256 voies); par AsAd:
  - numérisation des échantillons
  - générateur de test et calibration des ASICs
  - monitoring de consommation et protection continue
- 4 cartes AsAd contrôlées par une carte  $\mu$ TCA CoBo(1024voie); par CoBo:
  - concentration des données numérisées
  - contrôle de la configuration front-end
  - contrôle des cycles échantillonnage/lecture



- 11 cartes CoBo contrôlées par une carte  $\mu$ TCA MuTanT (11264 voies); par MuTanT:
  - synchronisation du système
  - décision de fin d'échantillonnage/début de lecture
- Jusqu'à 33792 voies de mesures en chaînant 3 châssis  $\mu$ TCA

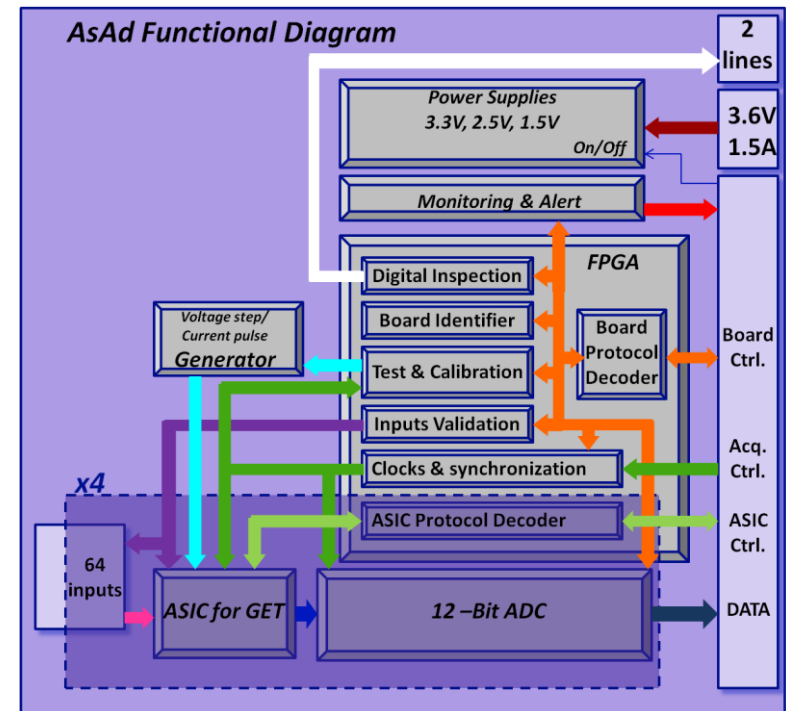




# Développement AsAd au CENBG

- Le CENBG/SEA a eu la responsabilité de la conception à la production de la carte AsAd
- La carte exploite les fonctionnalités de l'**ASIC AGET** couplé à un **ADC 12-bits**, elle permet:
  - La mise en forme et l'échantillonnage de signaux analogiques sur 256 voies en parallèle
  - La conversion en données 12 bits de près de 140 k-échantillons, transmis sur 4 sorties en parallèle (1,2 Gbit/s)
- Contrôle à distance ; 2 protocoles séries spécifiques ( ASICs et autres périphériques)

- A travers un FPGA, le protocole de la carte permet :
  - de tester et calibrer chaque canal au moyen d'un générateur embarqué
  - d'ajuster les horloges d'échantillonnage et de lecture à travers 2 cœurs de PLL
  - d'aiguiller les signaux numériques d'intérêt vers 2 lignes d'inspection
  - de fixer un identifiant pour la carte ou de retrouver son n° de série
  - de monitorer en continu la tension, le courant consommé et la température de la carte
  - de définir des valeurs limites pour ses grandeurs monitorées afin de protéger la carte en fonctionnement



- La carte est alimentée sous une unique tension de 3,6V et consomme 1,5 A

Architecture: J.L. Pedroza/J. Pibernat

Blocks logiques: A. Rebii

Blocks mixtes: P. Hellmuth

Blocks alimentation: A. Tizon

CAO: J. Pibernat/C. Huss

Documentation: J. Pibernat/P. Hellmuth

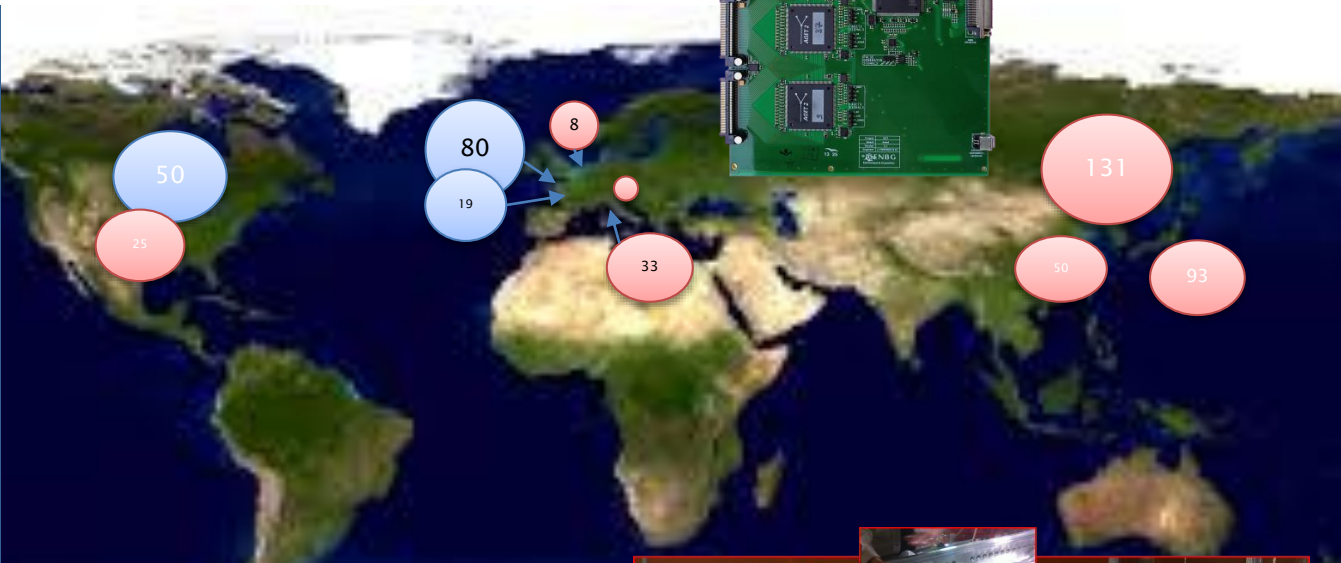
# Distribution AsAd dans le monde

➔ 20 Cartes/an

## Carte AsAd dans le monde

Liste des laboratoires utilisateurs      nbre de cartes

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| RIKEN – JAPAN                 | 55  |
| J-PARC – JAPAN                | 32  |
| CNS – JAPAN                   | 6   |
| INFN CATANIA – ITALY          | 24  |
| INFN PADOVA – ITALY           | 1   |
| IBS – KOREA                   | 131 |
| TEXAS A&M – USA               | 8   |
| NSCL – USA                    | 50  |
| ASU – USA                     | 1   |
| UNIVERSITY NOTRE DAME – USA   | 4   |
| IMP – CHINA                   | 23  |
| INPAC – CHINA                 | 8   |
| SINAP – CHINA                 | 1   |
| UCAS – CHINA                  | 4   |
| GANIL – FRANCE                | 80  |
| IPNO – FRANCE                 | 1   |
| IRFU – FRANCE                 | 17  |
| LPC CAEN – France             | 1   |
| UNIVERSIDAD ZARAGOZA – ESPANA | 2   |
| IFIN-HH – ROMANIA             | 2   |
| LMU – DEUTSCHLAND             | 1   |
| HONG KONG UNIVERSITY          | 2   |
| KU LEUVEN – BELGIUM           | 8   |
| LEGNARO -- ITALIE             | 8   |
| ELI-NP – ROUMANIE             | 5   |

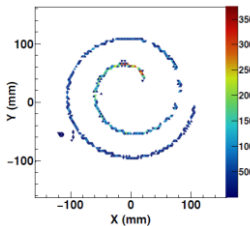


A suivre:

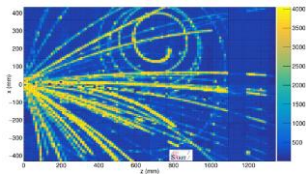
- SAM
- GARETS



AT-TPC@NSCL  
– Lansing - USA



Samurai TPC@Riken  
– Wako -Japan



# ***ACTAR TPC: résultats validés***

**adéquation entre les solutions envisagées  
et le besoin pour les expériences**

**à chaque niveau du développement**





## Technical notes

## GET electronics samples data analysis

J. Giovinazzo<sup>a,\*</sup>, T. Goigoux<sup>a</sup>, S. Anvar<sup>c</sup>, P. Baron<sup>c</sup>, B. Blank<sup>a</sup>, E. Delagnes<sup>c</sup>, G.F. Grinyer<sup>b</sup>,  
J. Pancin<sup>b</sup>, J.L. Pedroza<sup>a</sup>, J. Pibernat<sup>a</sup>, E. Pollacco<sup>c</sup>, A. Rebii<sup>a</sup>, T. Roger<sup>b</sup>, P. Sizun<sup>c</sup>

## traitement / exploitation des données de l'électronique GET

GET test-bench; pulser interne / externe

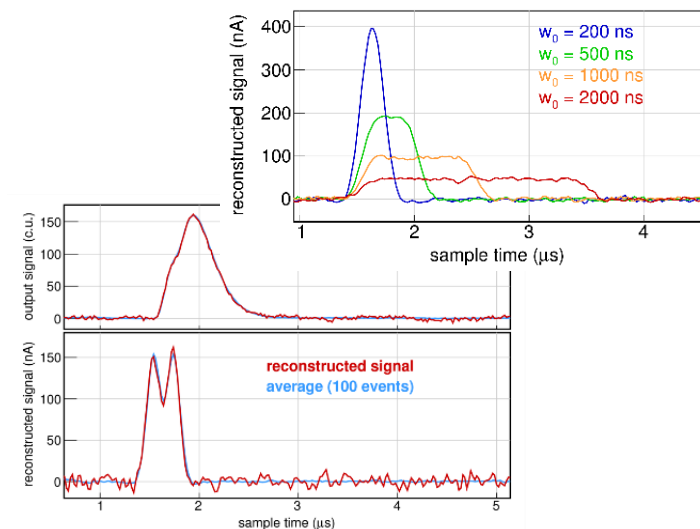
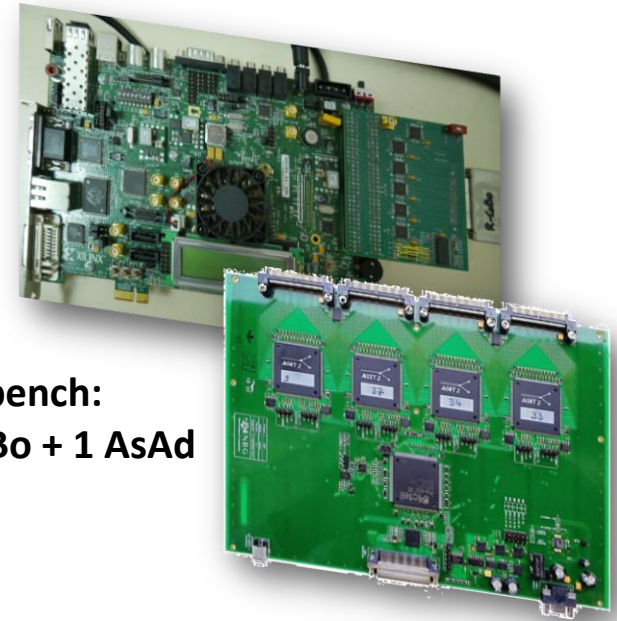
### → traitements de base

- ligne de base, bruit cohérent...
- effets systématiques
- amélioration de la résol. intrinsèque  $\times 2 \sim 3$

### → reconstruction effective de la charge

- PAC + shaper → perte de la distribution de charge
- possibilité de reconstruction (déconvolution)  
(développement d'une méthode empirique)

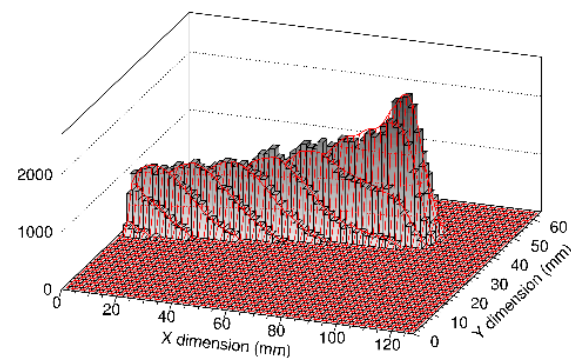
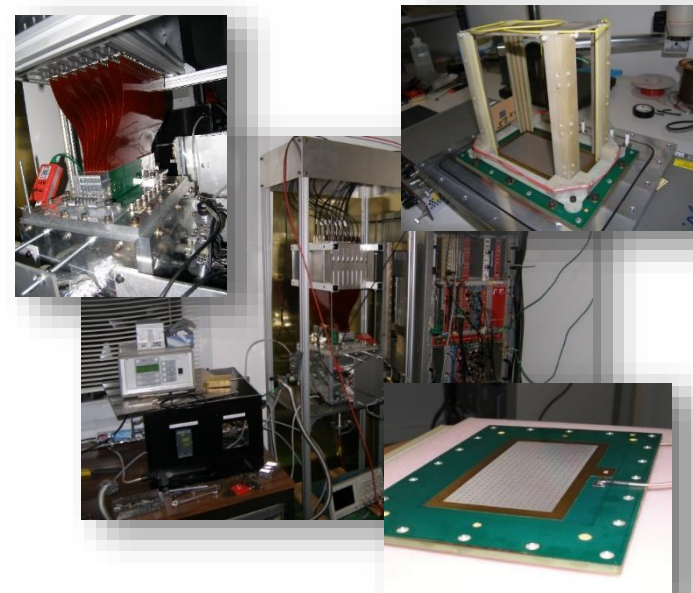
test-bench:  
R-CoBo + 1 AsAd





(2018)

## démonstrateur CENBG



## Metal-core pad-plane development for ACTAR TPC

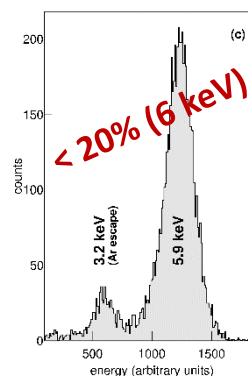
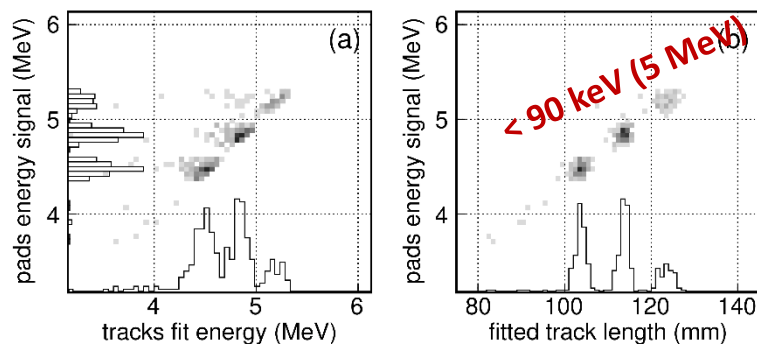
J. Giovinozzo<sup>a,\*</sup>, J. Pibernat<sup>a</sup>, T. Goigoux<sup>a,1</sup>, R. de Oliveira<sup>b</sup>, G.F. Grinyer<sup>c,d</sup>, C. Huss<sup>a</sup>,  
B. Mauss<sup>d</sup>, J. Pancin<sup>d</sup>, J.L. Pedroza<sup>a</sup>, A. Rebii<sup>a</sup>, T. Roger<sup>d</sup>, P. Rosier<sup>e,2</sup>, F. Saillant<sup>d</sup>,  
G. Wittwer<sup>d</sup>

## test des options technologiques

→ validation plan de pad + ZAP + électronique  
(intégration)

→ tests sources 3-alpha et rayons X

- procédures d'étalonnage  
(énergie, dérive)
- résolution en énergie
- reconstruction pic de Bragg





## ACTAR TPC performance with GET electronics

J. Giovinazzo<sup>a,\*</sup>, J. Pancin<sup>b</sup>, J. Pibernat<sup>a</sup>, T. Roger<sup>b</sup>

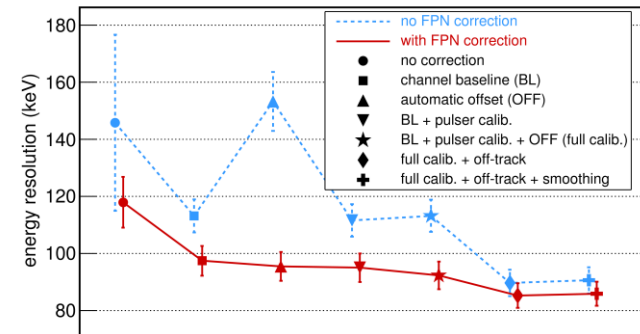
## caractérisation et validation d'ensemble

## → étude systématique

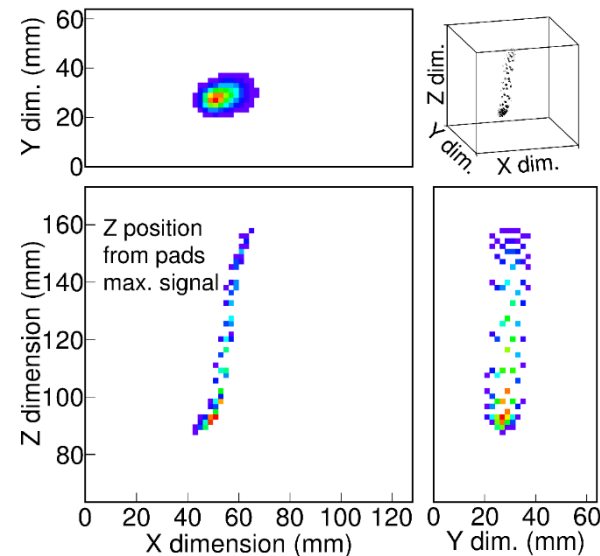
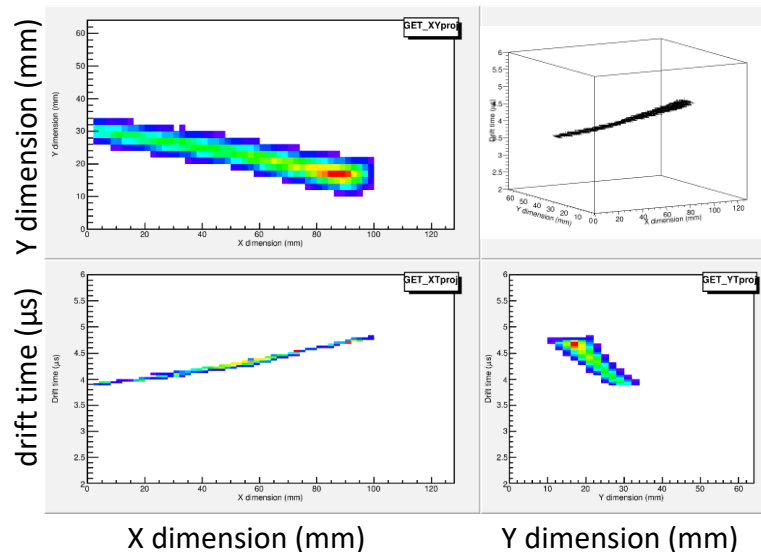
- paramètres GET (shaping, gain, seuils...)
- paramètres détecteur (pression, tension)

## → reconstruction et fit de traces alpha

- application des procédures



data correction





## ACTAR TPC performance with GET electronics

J. Giovinazzo<sup>a,\*</sup>, J. Pancin<sup>b</sup>, J. Pibernat<sup>a</sup>, T. Roger<sup>b</sup>

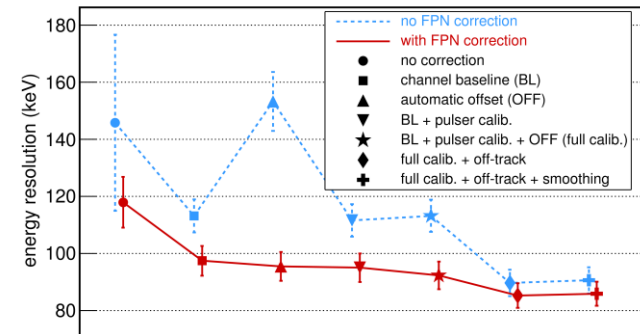
## caractérisation et validation d'ensemble

## → étude systématique

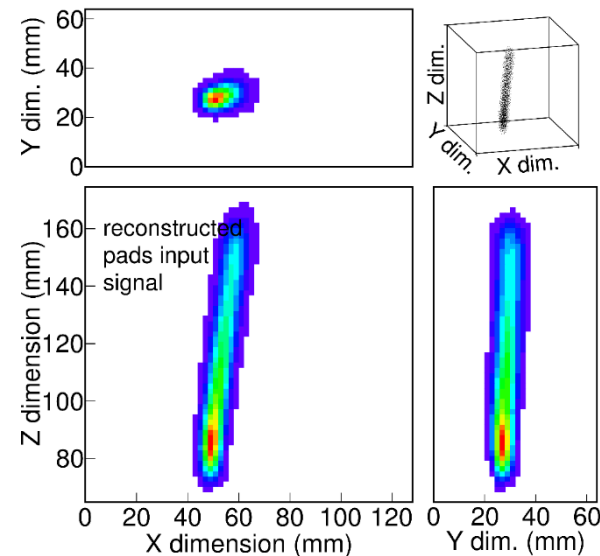
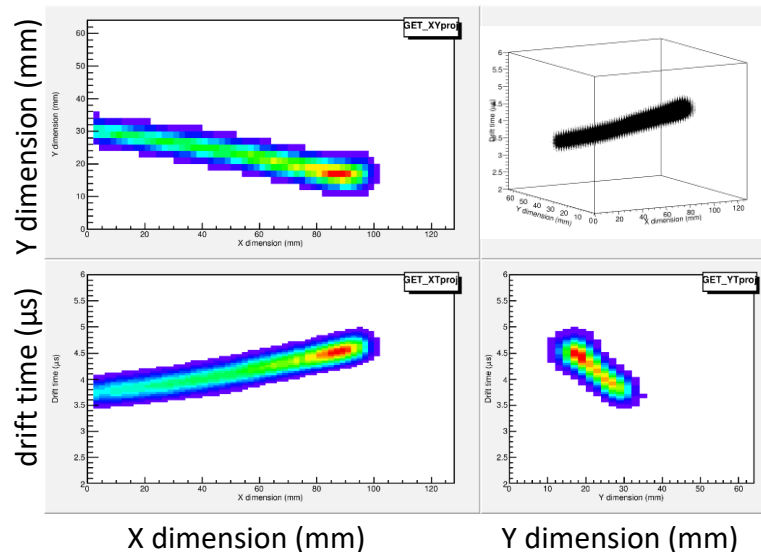
- paramètres GET (shaping, gain, seuils...)
- paramètres détecteur (pression, tension)

## → reconstruction et fit de traces alpha

- application des procédures: **imagerie 3D de la charge déposée**



data correction





ARTICLE

<https://doi.org/10.1038/s41467-021-24920-0>

OPEN

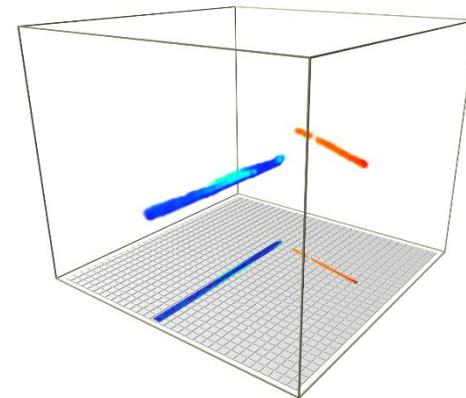
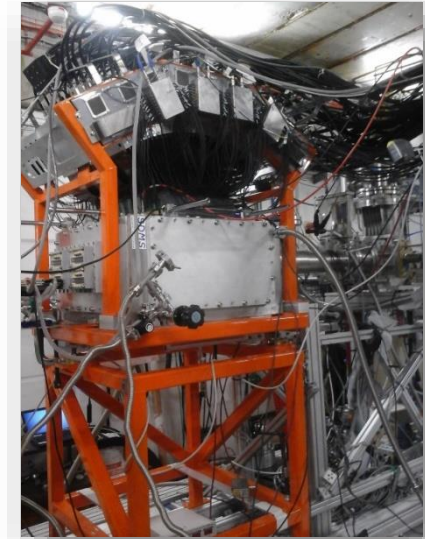
# 4D-imaging of drip-line radioactivity by detecting proton emission from $^{54m}\text{Ni}$ pictured with ACTAR TPC

J. Giovinazzo <sup>1✉</sup>, T. Roger<sup>2</sup>, B. Blank<sup>1</sup>, D. Rudolph <sup>3</sup>, B. A. Brown<sup>4</sup>, H. Alvarez-Pol <sup>5</sup>, A. Arokia Raj<sup>6</sup>, P. Ascher<sup>1</sup>, M. Caamaño-Fresco <sup>5</sup>, L. Caceres<sup>2</sup>, D. M. Cox<sup>3</sup>, B. Fernández-Domínguez<sup>5</sup>, J. Lois-Fuentes<sup>5</sup>, M. Gerbaux<sup>1</sup>, S. Grévy <sup>1</sup>, G. F. Grinyer <sup>7</sup>, O. Kamalou<sup>2</sup>, B. Mauss<sup>8</sup>, A. Mentana<sup>6</sup>, J. Pancin<sup>2</sup>, J. Pibernat<sup>1</sup>, J. Piot<sup>2</sup>, O. Sorlin<sup>2</sup>, C. Stodel <sup>2</sup>, J.-C. Thomas<sup>2</sup> & M. Versteegen <sup>1</sup>

## première campagne expérimentale (GANIL)

- **palier les défaillances CoBo**  
(initialisation, données corrompues)
- **analyses**
  - conditions expérimentales (dégradées)
  - études des méthodes de tracking  
(Hough, clusters,... fits complets)
- **simulations**
  - Geant4 + bruits + fluctuations/dispersion

**des développements encore en cours pour les analyses**



## publications depuis 5 ans:

- **GET electronics samples data analysis**, J. Giovinazzo et *al.*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 840 (2016) 15–27
- **GET: A generic and comprehensive electronics system for nuclear physics experiments**, E.C. Pollacco et *al.*, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 887 (2018) 81–93
- **Demonstrator Detection System for the Active Target and Time Projection Chamber (ACTAR TPC) Project**, T. Roger et *al.*, Nucl. Instr. And Methods A 895, 126 (2018)
- **Metal-core pad-plane development for ACTAR TPC**, J. Giovinazzo et *al.*, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 892 (2018) 114–121
- **Commissioning of the ACTive TARget and Time Projection Chamber (ACTAR TPC)**, B. Mauss, P. Morfouace, T. Roger, J. Pancin, G.F. Grinyer, J. Giovinazzo, V. Alcindor, H. Álvarez-Pol, A. Arokiaraj, M. Babo, B. Bastin, C. Borcea, M. Caamaño, S. Ceruti, B. Fernández-Domínguez, E. Foulon-Moret, P. Gangnant, S. Giraud, A. Laffoley, G. Mantovani, T. Marchi, B. Monteagudo, J. Pibernat, O. Poleshchuk, R. Raabe, J. Refsgaard, A. Revel, F. Saillant, M. Stanoiu, G. Wittwer, J. Yang, **Nuclear Inst. and Methods ET in Physics Research, A 940 (2019) 498–504**
- **Validation of the energy-loss response of a particles in iC4H10 with ACTARSim**, P. Konczykowski, B. Fernández-Dominguez, H. Alvarez-Pol, M. Caamaño, G.F. Grinyer, A.T. Laffoley, B. Mauss, J. Pancin, D. Pérez-Loureiro, and T. Roger, **Nucl. Instr. And Methods A 927, 125 (2019)**, DOI: 10.1016/j.nima.2019.02.013
- **ACTAR TPC performance with GET electronics**, J. Giovinazzo, J. Pancin, J. Pibernat, T. Roger, **Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 953 (2020) 163184**
- **4D-imaging of drip-line radioactivity by detecting proton emission from  $^{54}\text{mNi}$  pictured with ACTAR TPC**, J. Giovinazzo, T. Roger, B. Blank, D. Rudolph, B. A. Brown, H. Alvarez-Pol, A. Arokia Raj, P. Ascher, M. Caamaño-Fresco, L. Caceres, D. M. Cox, B. Fernández-Domínguez, J. Lois-Fuentes, M. Gerbaux, S. Grévy, G. F. Grinyer, O. Kamalou, B. Mauss, A. Mentana, J. Pancin, J. Pibernat, J. Piot, O. Sorlin, C. Stodel, J.-C. Thomas & M. Versteegen, **Nat. Commun 12, 4805 (2021)**, <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24920-0>

# principales contributions (hors projet GET)

## développements techno

### plan de pads

|              |                                         |
|--------------|-----------------------------------------|
| conception:  | service électronique CENBG (J.Pibernat) |
| réalisation: | électronique + CERN (+ FeDD)            |
| tests:       | JP & JG                                 |

### ZAP

|              |                                         |
|--------------|-----------------------------------------|
| conception:  | service électronique CENBG (J.Pibernat) |
| réalisation: | électronique + FeDD                     |
| tests:       | JP & JG                                 |

## démonstrateur

|                   |                                |
|-------------------|--------------------------------|
| chambre:          | bureau d'étude / atelier CENBG |
| cage de dérive:   | GANIL                          |
| usine à gaz:      | soutien instru (S. Leblanc)    |
| acquisition:      | GANIL                          |
| tests et mesures: | JG & JP                        |

## détecteur final géométrie CENBG

|                     |                                                            |
|---------------------|------------------------------------------------------------|
| chambre:            | bureau d'étude (S. List) / atelier CENBG / externalisation |
|                     | tests d'étanchéité (soutien instru, P. Alfaut)             |
| tests plan de pads: | étanchéité (JG) + test élec (P. Helmutt)                   |
| validation finale:  | GANIL + JG (mesures au GANIL avec équipement)              |