

HARPO

- Phase sol :

- Réalisations : D. Bernard.

focus > CS du 7 Jan 2013

- Analyse et résultats : P. Gros

- Phase vol : D. Horan

liens à <http://llr.in2p3.fr/~dbernard/polar/harpo-t-p.html>

Le projet HARPO (Hermetic ARgon POLarimeter) : *Liste de signataires “Japon” (Nov. 2014)*

- FRANCE: the detector

Denis Bernard, Philippe Bruel, Mickael Frotin, Yannick Geerebaert, Berrie Giebels, Philippe Gros, Deirdre Horan, Marc Louzir, Patrick Poilleux, Igor Semeniouk, Shaobo Wang ^a

^aLLR, Ecole Polytechnique and CNRS/IN2P3, France

David Attié, Denis Calvet, Paul Colas, Alain Delbart, Patrick Sizun ^b

^bIRFU, CEA Saclay, France

Diego Götz ^{b,c}

^cAIM, CEA/DSM-CNRS-Université Paris Diderot, IRFU/SAp, CEA Saclay, France

- JAPAN: the beam.

S. Amano, T. Kotaka, S. Hashimoto, Y. Minamiyama, A. Takemoto, M. Yamaguchi,
S. Miyamoto ^e

^e LASTI, University of Hyôgo, Japan

S. Daté, H. Ohkuma ^f

^f JASRI/SPring8, Japan



Objectifs scientifiques

- Présentés à la fin de la décennie précédente en CS
- Astrophysique :
 - exploration du “trou” de sensibilité $1 < E < 100 \text{ MeV}$
 - polarimétrie : compréhension du fonctionnement de sources cosmiques émettrices de rayons γ (AGN, GRB, pulsars ..)
- Science fondamentale
 - recherche de physique au delà du modèle standard : violation de l’invariance de Lorentz (LIV)
 - recherche de l’axion et autres ALP (en particulier composantes de la matière noire)
- Update aujourd’hui : Deirdre.

Calendrier et financements

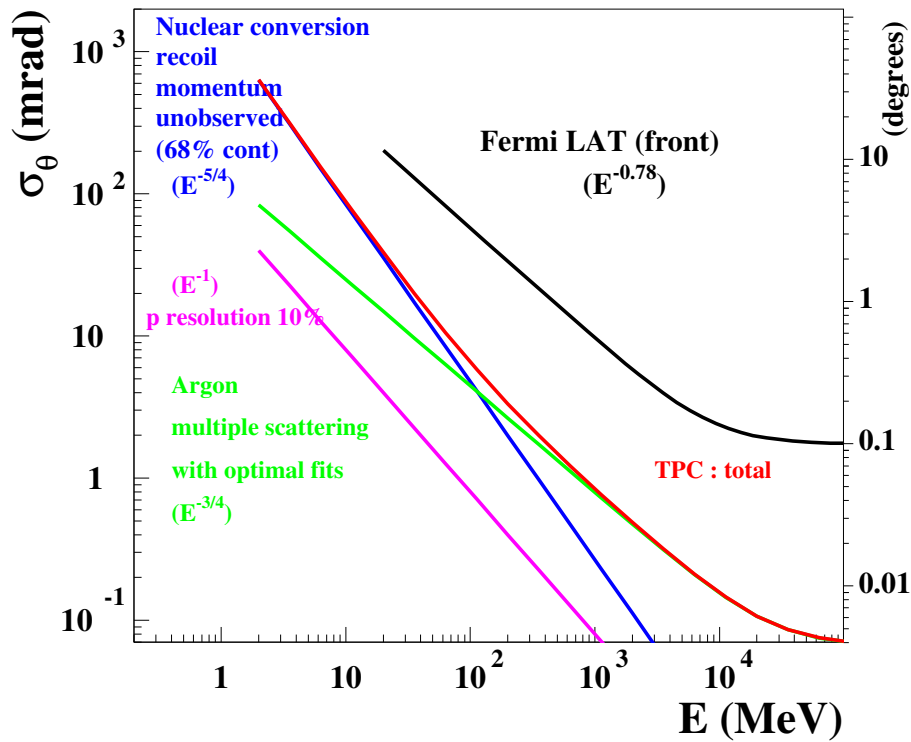
Phase sol uniquement

		financement	k-€	début CDD
2008	bibliographie			
2009	premiers travaux MC, LAr TPC			
2010	résultats MC, design GAr TPC	P-et-U (LLR)	30	
2011	construction proto	IN2P3 (LLR)	11	
2012	test cosmiques et publi	P2IO (LLR + CEA)	81	thèse Shaobo CNES/CNRS
2013	2 publi "théoriques", fabrication GEM			Philippe (P2IO)
2014	tests, publi GEM conception, réalisation trigger faisceau MoU, transport, datataking Japon	ANR (LLR + CEA)	403	
2015	analyse 1.0 (Shaobo), 2.0 (Philippe) soutenance Shaobo, étude ASTRE recirculation/purification gaz, test, publi			Philippe, David (ANR)
2016	analyse 3.0, publi SPIE2016 publi trigger, fabrication ASTRE soumission 2 publi Gros+Bernard			Ryo (Dec.)
2017	Japon : publi résultats finaux ASTRE caractérisation, publi (elec, radhard) générateur d'evts dans geant4 caractérisation gaz : le retour (pyrame !)			fin prévue ANR Juin
2018				fin prolongée Juin

Papier TPC

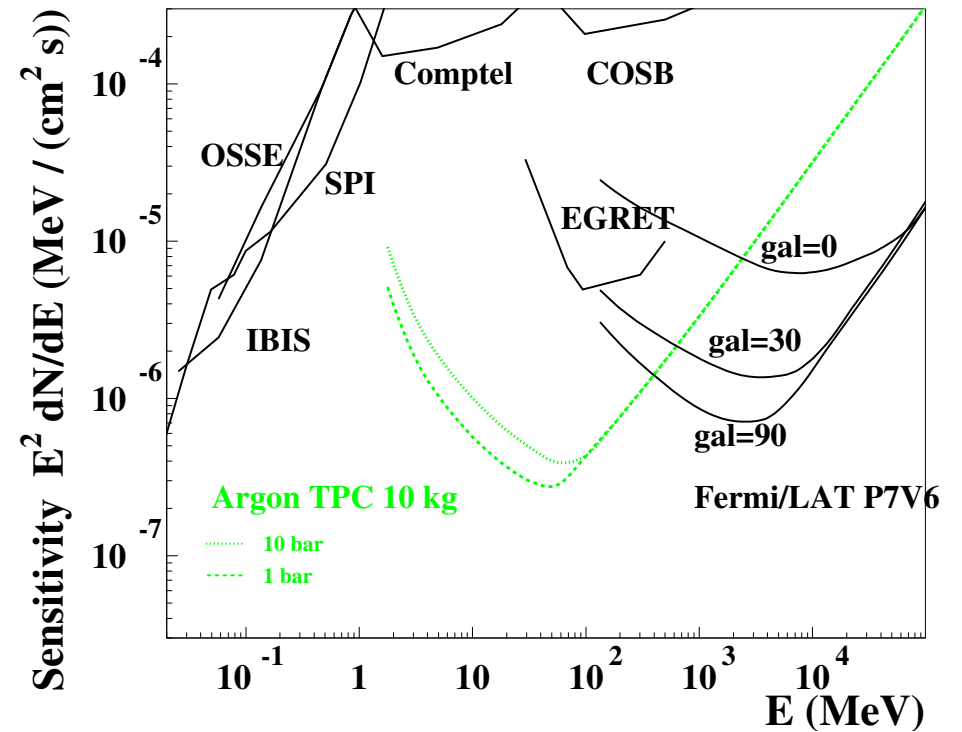
Angular resolution

- nucleus recoil $\propto E^{-5/4}$
- multiple scattering (optimal fits) $\propto E^{-3/4}$



point-source differential sensitivity

limit detectable $E^2 dN/dE$, à la Fermi: 4 bins/decade, 5σ detection, $T = 3$ years, $\eta = 0.17$ exposure fraction, $\geq 10\gamma$. "against" extragalactic background



NIM A 701 (2013) 225

Papier polarimétrie

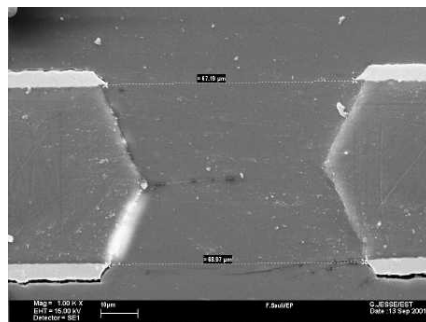
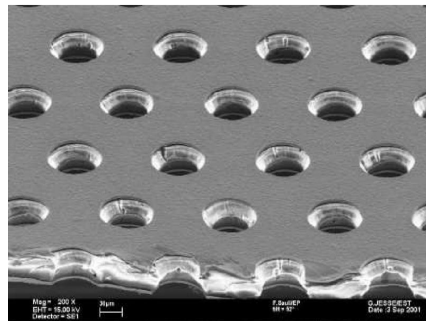
- Publication du 1er générateur d'événements 5D, polarisé, exact jusqu'au seuil.
- Utilisation de "variables optimales" à la Verderi. 1D \rightarrow 5D : gain en précision / 2.
- Etude de la dilution de l'asymétrie de polarisation en diffusion multiple avec détecteur homogène et fits optimal (à la Kalman)
- Pulsar du Crabe, $T = 1$ year, $V = 1 \text{ m}^3$, argon 5 bar, ($\eta = \epsilon = 1$) $\sigma_P \approx 1.0\%$
 η "exposure fraction", ϵ efficacité.
- Coupes expérimentales, $\epsilon = 45\%$, $\sigma_P \approx 1.4\%$ 5σ MDP of $7\% / \sqrt{\text{Flux}/\text{Crab}}$
- For $B \ll S$, **argon**, P "pas trop élevée" :

$$\sigma_P \approx 1.4\% \sqrt{\left(\frac{\text{Crab}}{F}\right) \left(\frac{1 \text{ year}}{T}\right) \left(\frac{1 \text{ m}^3}{V}\right) \left(\frac{5 \text{ bar}}{P}\right) \left(\frac{1}{\eta\epsilon}\right)}$$

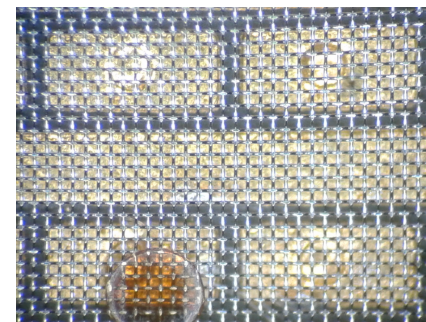
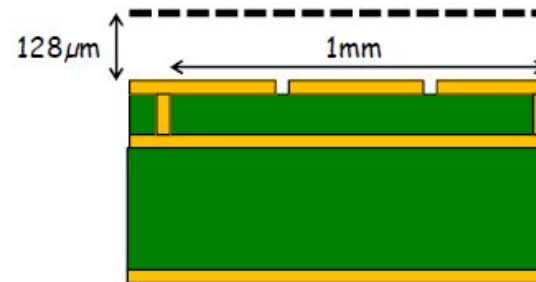
NIM A 729 (2013) 765

Préparation du prototype TPC HARPO

Gas Electron Multiplier
50 μm Kapton, copper clad,
pitch 140 μm , $\Phi 70 \mu\text{m}$



“bulk” micromegas
gap 128 μm



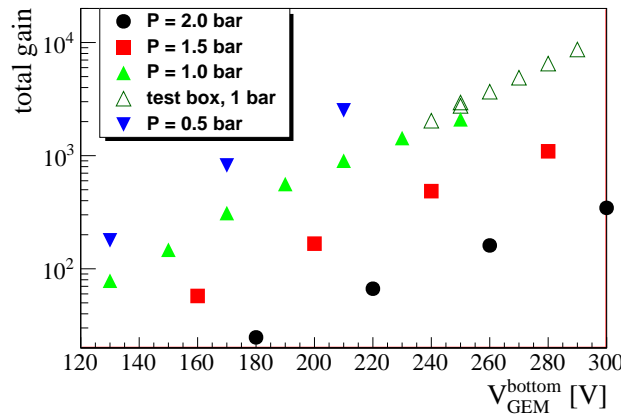
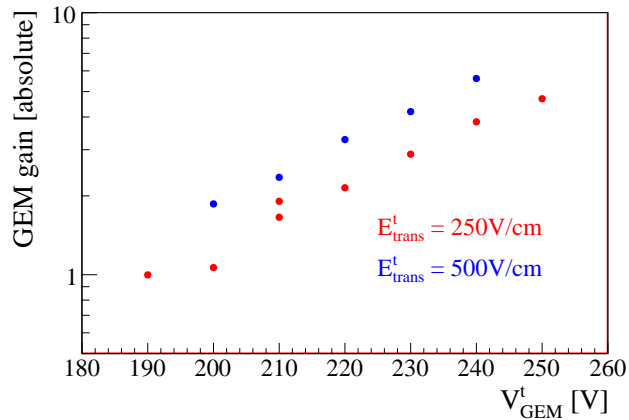
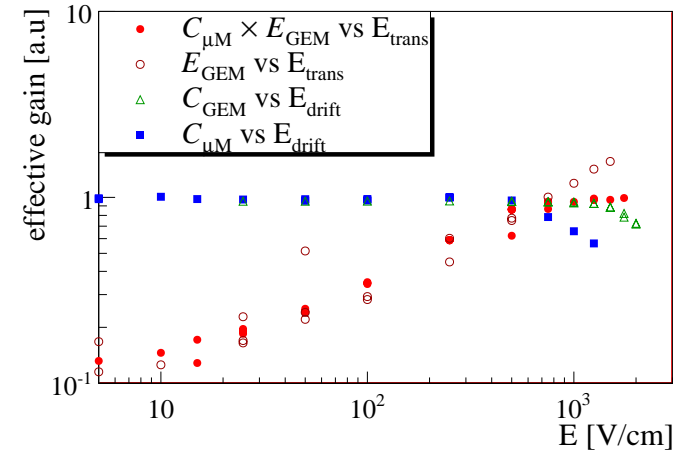
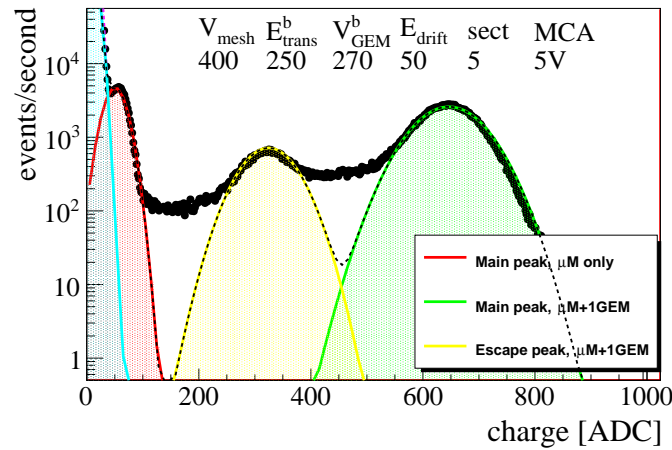
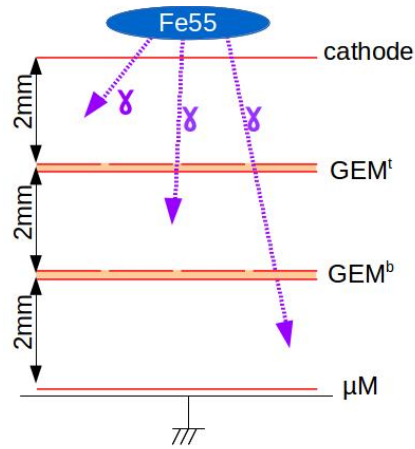
F. Sauli, NIM A 386, 531 (1997)

I. Giomataris *et al.*, NIM A 560, 405 (2006)

Réalisation au CERN et montage de la structure hybride par nous à l'atelier RD51

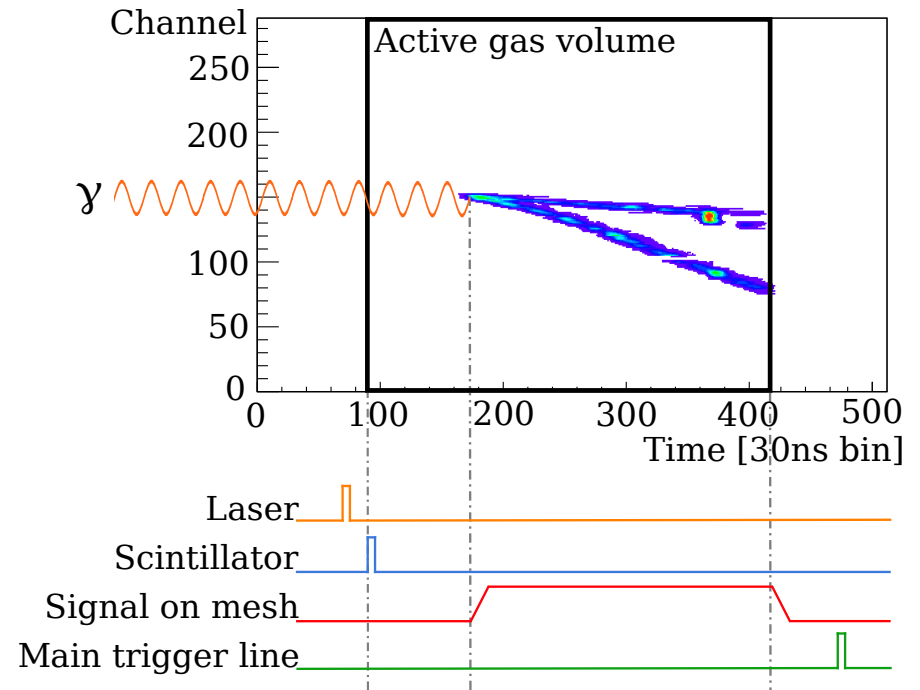
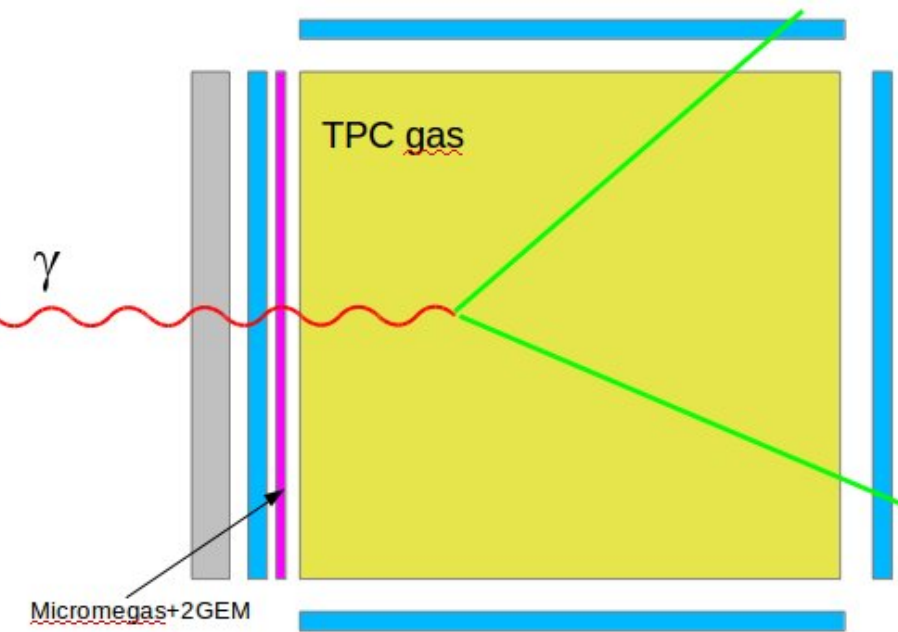
Amplification par système hybride 2 GEM + μM

^{55}Fe (dedicated test bench) and cosmic-rays (in TPC)



Ph. Gros et al., TIPP2014, PoS(TIPP2014)133

“Beam” trigger system



- S_{up} upstream scintillator
- O one of the 5 other scintillators
- M_{slow} : a delayed ($> 1\mu s$) signal on the micromegas mesh
- L laser trigger pulse

“Main line”: $T_{\gamma,laser} = \bar{S}_{up} \cap O \cap M_{slow} \cap L$

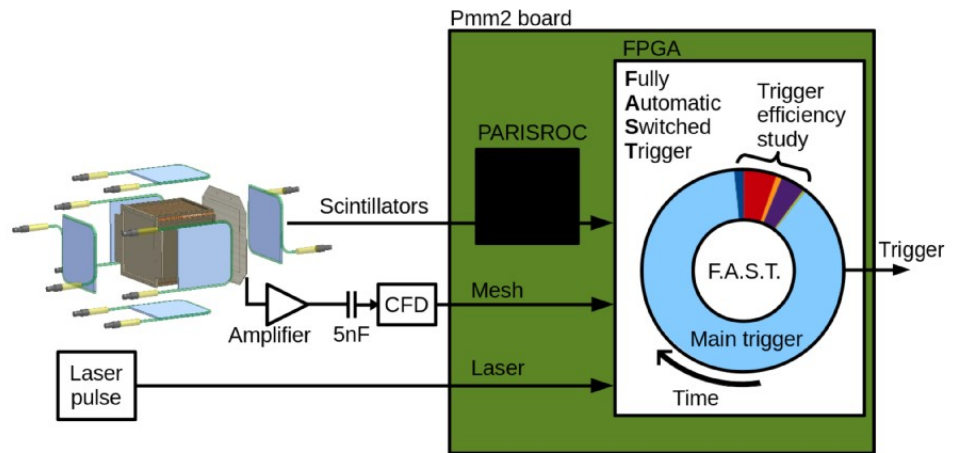
Y. Geerebaert *et al.*, (VCI2016 NIM A (arXiv:1603.06817) and Real Time Conference (RT), 2016 IEEE-NPSS)

“Beam” trigger system: additional lines

- Trigger lines:

7	$T_{\gamma,laser}$	$\overline{S}_{up} \cap O \cap M_{slow} \cap L$
8	$T_{noMesh,laser}$	$\overline{S}_{up} \cap O \cap L$
9	$T_{invMesh,laser}$	$\overline{S}_{up} \cap O \cap M_{quick} \cap L$
10	$T_{noUp,laser}$	$O \cap M_{slow} \cap L$
11	$T_{noPM,laser}$	$\overline{S}_{up} \cap M_{slow} \cap L$
12	$T_{noLaser}$	$\overline{S}_{up} \cap O \cap M_{slow} \cap \overline{L}$

- Designed to characterize the performance (signal efficiency, background rejection) of each component of main trigger line

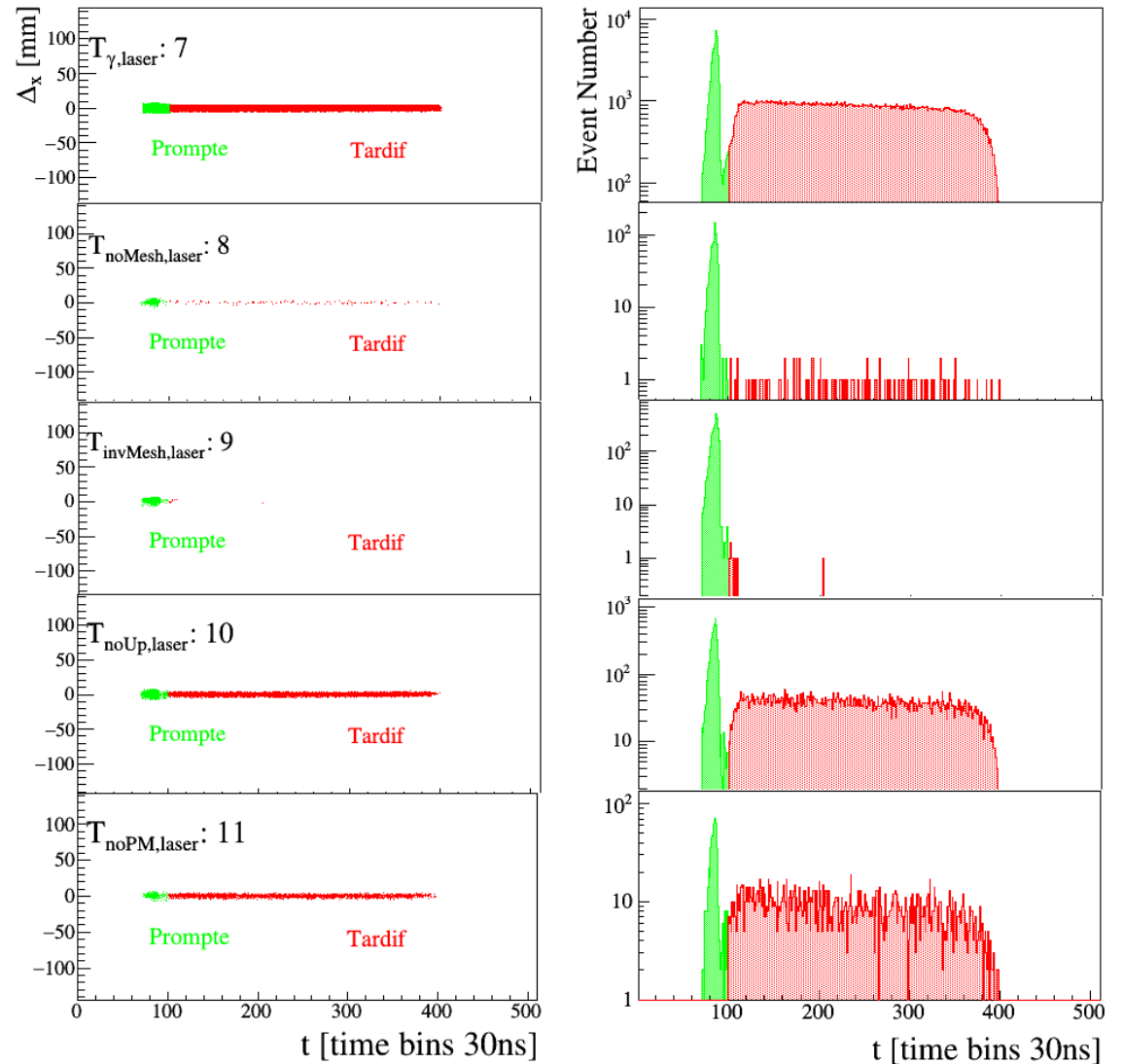


Y. Geerebaert *et al.*, (VCI2016 NIM A (arXiv:1603.06817)

and Real Time Conference (RT), 2016 IEEE-NPSS)

“Beam” trigger system: conversion point distributions

- signal efficiency 51 %
- background rejection 99.3 %
- incident rate 2 kHz
- signal on disk 50 Hz



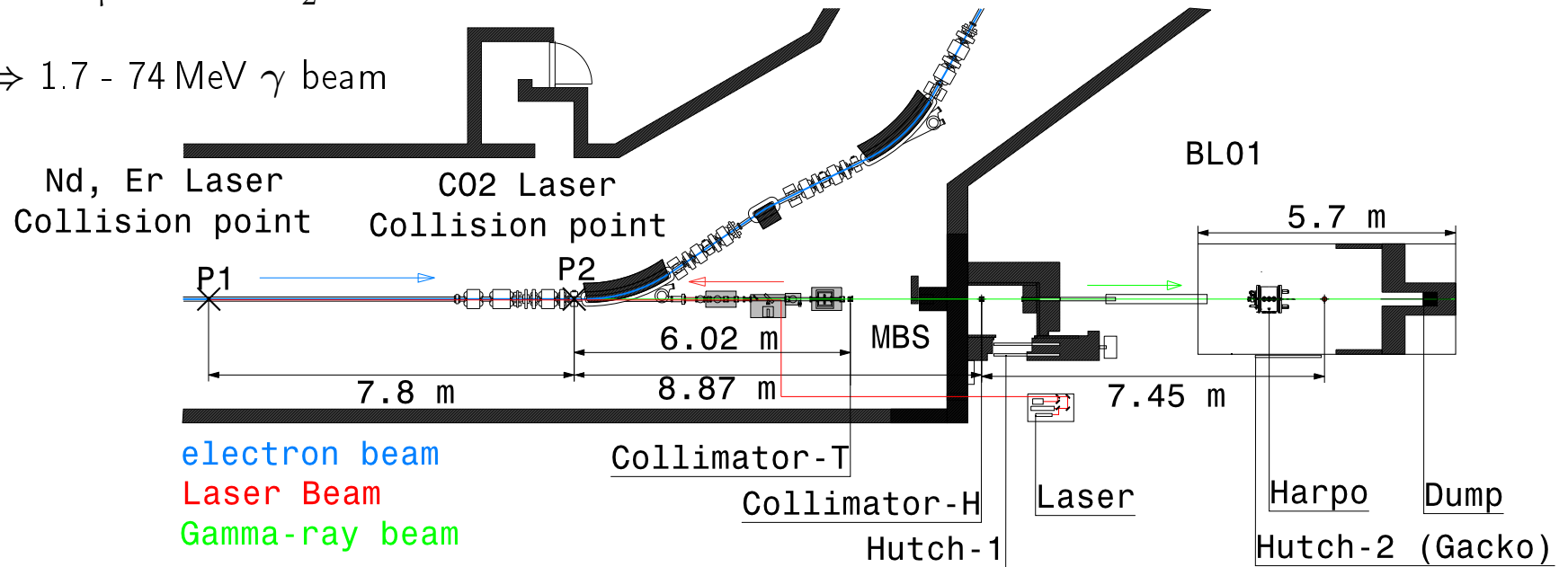
Y. Geerebaert *et al.*, (VCI2016 NIM A (arXiv:1603.06817) and Real Time Conference (RT), 2016 IEEE-NPSS)

Préparation de la prise de données

- Logiciel de monitoring (Igor, Philippe, Yannick) : on-line et off-line.
- Memorandum-of-Understanding (Denis, Alain, Shuji et DR5, “cellule”, et U. of Hyôgo)
- Empaquetage Mickaël et al. et transport (Ulisse)

Data Taking Nov. 2014 NewSUBARU, LASTI, Japan

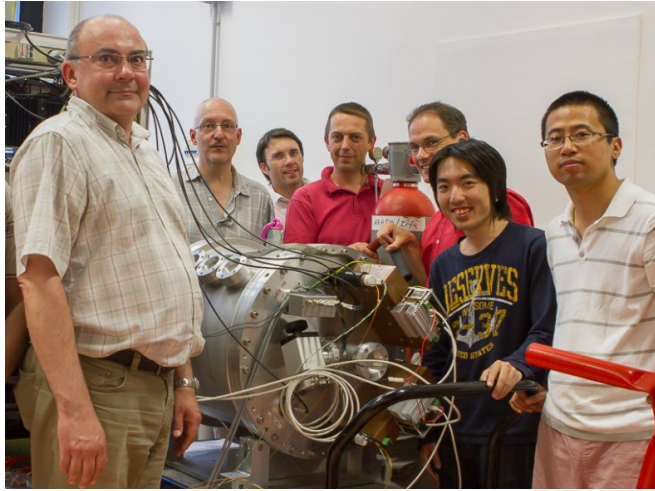
- Linearly polarized γ beam from Laser inverse Compton scattering, e^- beam 0.6 – 1.5 GeV.
- 0.532 μm and 1.064 μm 20 kHz pulsed Nd:YVO₄ (2ω and 1ω), 1.540 μm 200 kHz pulsed Er (fibre) and 10.55 μm CW CO₂ lasers
- \Rightarrow 1.7 - 74 MeV γ beam



- Monochromaticity by collimation on axis
- Fully polarized or random polarization beams ($P = 0$, $P = 1$)
- 2.1 bar Ar:isoC₄H₁₀ 95:5 (+ a 1-4 bar scan).

A. Delbart *et al.*, ICRC2015 PoS (ICRC2015) 1016.

Pics 2014



le groupe du LLR
LLR
juillet

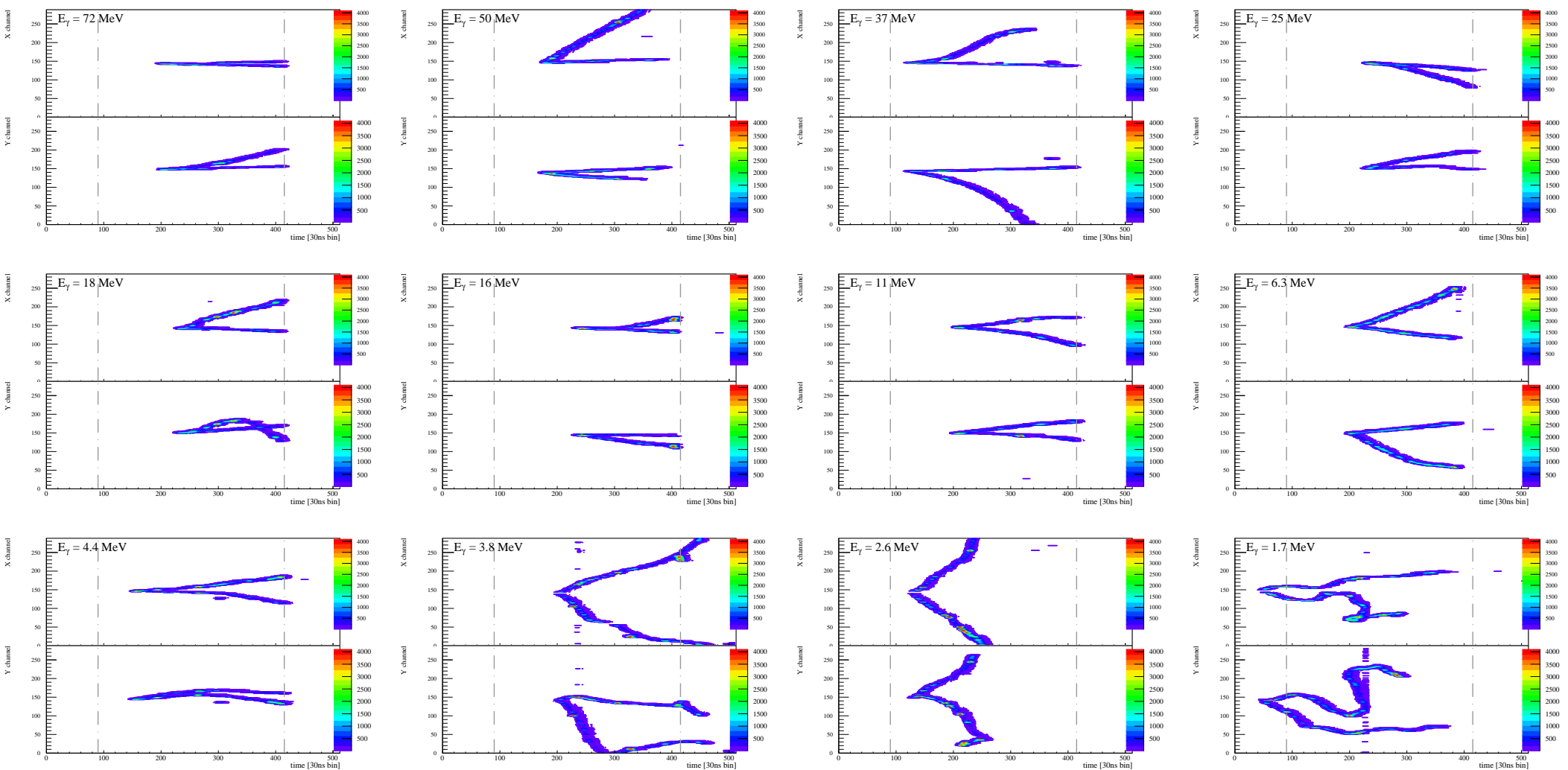


dans la salle de shifts
NewSUBARU
novembre



préparation prise de données
NewSUBARU
novembre

Japan beam Data: gallery



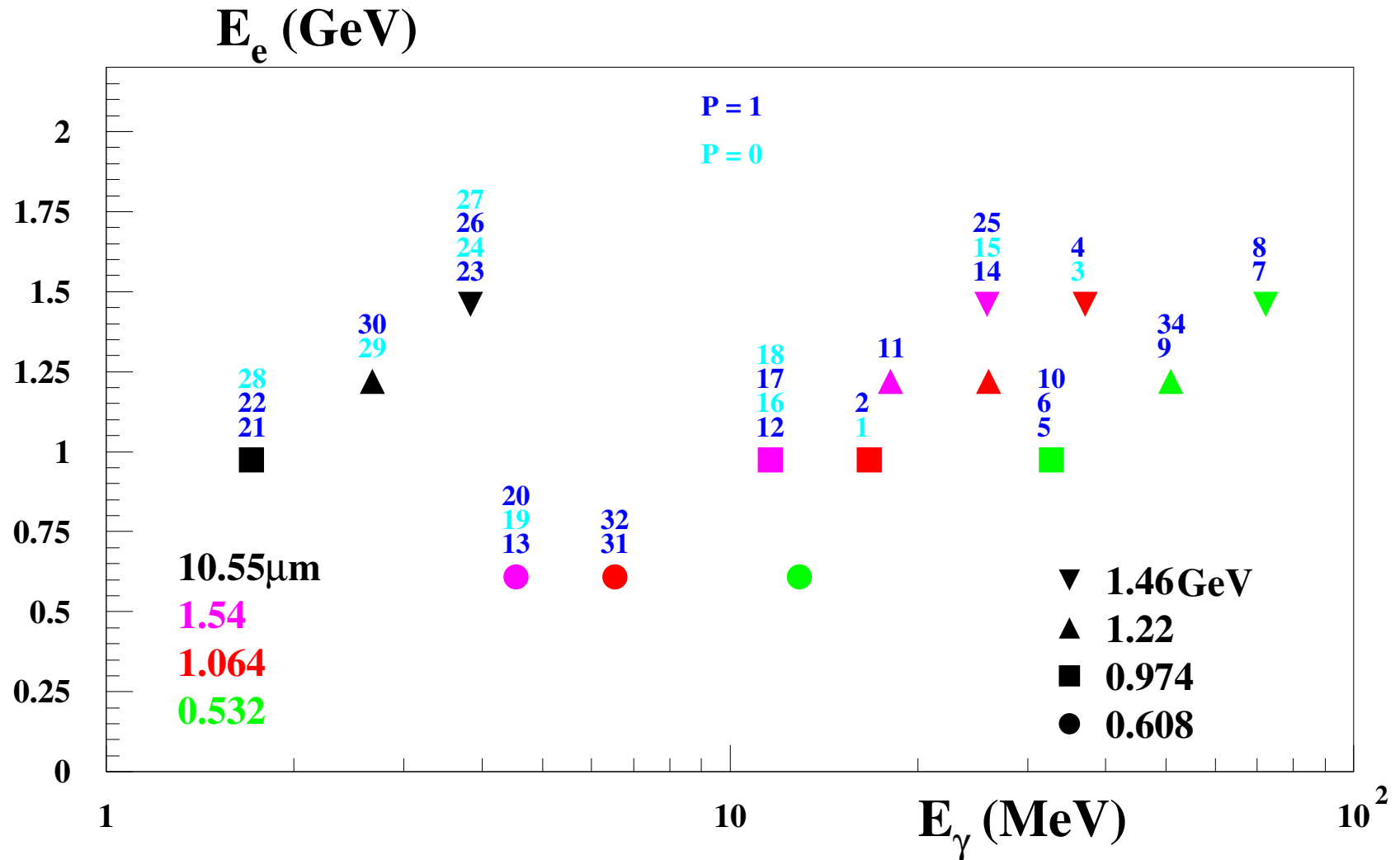
Sample of γ -rays from 74 to 1.7 MeV converting to e^+e^- in 2.1 bar Ar:isobutane 95:5

detected by the HARPO TPC

(pre-beam-calibration γ -ray energy on plots)

D. Bernard, Future Space-based Gamma-ray Observatories Workshop , NASA Goddard Space Flight Center, March 2016.

Japan data : carte des configurations de faisceau(x)



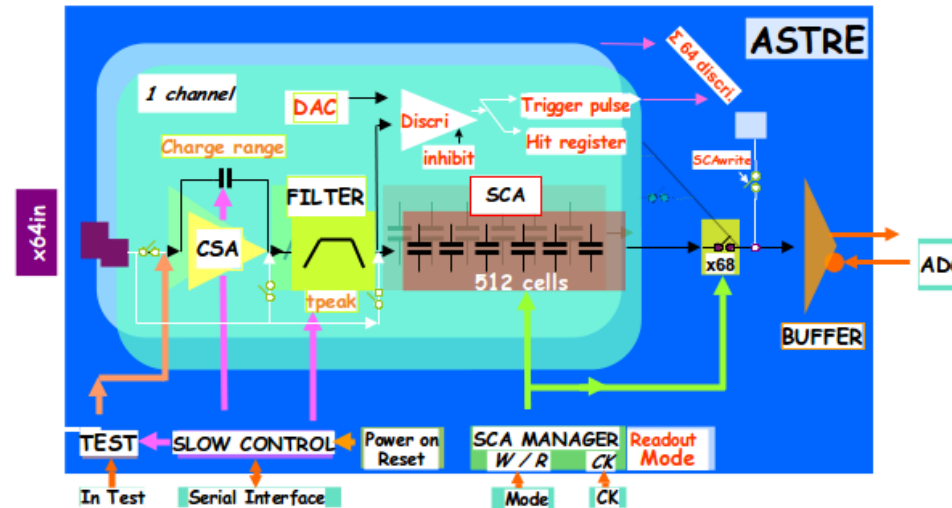
A. Delbart *et al.*, ICRC2015 PoS (ICRC2015) 1016.

ASTRE : chip readout de 3ème génération radhard

- Etude D. Baudin (Irfu) CDD sur financement HARPO-ANR

■ **ASTRE: ASIC with SCA&Trigger for detector Readout Electronics**

- 64 canaux
- 4 Gains / canal:
120 fC; 240 fC; 1pC; 10pC
- 16 valeurs de filtrage:
75 ns à 8 μ s
- 512 cellules mémoires
- Fréquence d'échantillonnage:
1MHz à 100 MHz
- Fréquence de lecture:
25 MHz



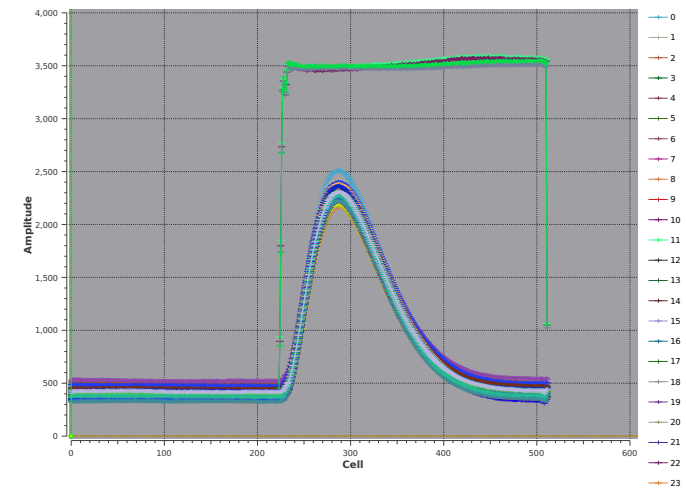
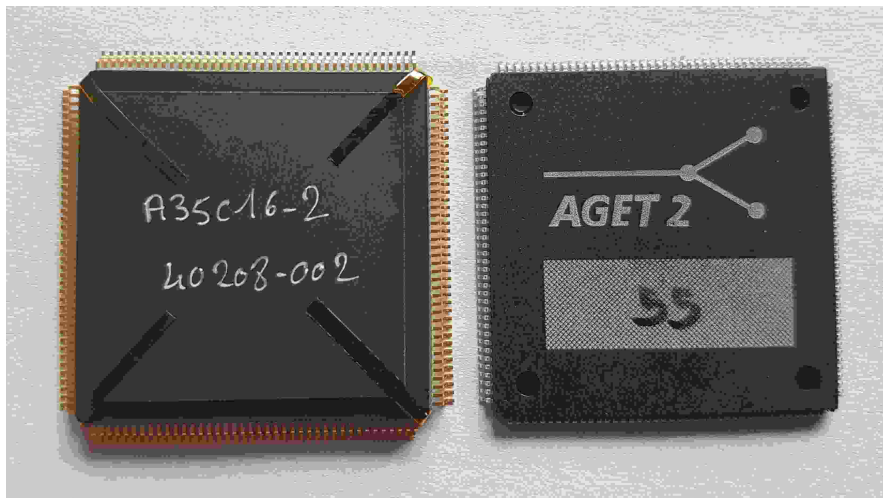
- Auto trigger: discriminateur + seuil réglable (3 bits globaux + 4 bits / canal)
- Information de multiplicité: « OU » analogique des 64 discriminateurs
- Adresse des canaux touchés
- Lecture du SCA: tous; canaux touchés; canaux sélectionnés
- Lecture d'un nombre de cellules prédéfinies (1 à 512) / trigger
- Possibilité de court-circuiter le CSA et d'entrer directement sur le filtre RC2 ou le SCA

- Seuil Linear Energy Transfer (LET) 15 (AGET) \rightarrow $> 120 \text{ MeVcm}^2/\text{mg}$ (ASTRE, prédit)

O. Gevin *et al.*, Journées VLSI-PCB-FPGA 2016, Strasbourg, juin 2016

ASTRE : chip pour TPC de 3ème génération et radhard

- pré-série prototype réalisée cet été
- encapsulée cet automne
- 2016 : caractérisation (électronique) : les tests ont commencé



- 2017 : caractérisation (résistance au rayonnement) : HIF (Ion Irradiation Facility) de Louvain-la-Neuve

Publications, Communications en Conférences, Thèses

- Phase sol uniquement

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total	en cours
articles publiés				2		1		3	
articles soumis							2	2	> 4
conf. sans proc.	2	1	3	2	3	3	4	18	
conf. avec proc.	1	2	1	1	2	2	6	15	
thèses soutenues						1		1	
thèse en cours									2
com.						5		5	
total	3	3	4	5	5	12	12	44	

- participations aux collaborations :

- RD51, development of Micro-Pattern Gas Detectors Technologies, CERN et al.
- e-ASTROGAM, France, Italie, et al.

<http://llr.in2p3.fr/~dbernard/polar/harpo-t-p.html>

Communications grand public



<http://llr.in2p3.fr/~dbernard/polar/harpo-t-p.html>

Our competitors

- All-silicon :
 - $1 - 2^\circ @ 100 \text{ MeV}$ (MC), plus de masse qu'HARPO, sensibilité semblable $10 - 100 \text{ MeV}$.
 - Capacité à observer le Compton avec le même détecteur jusqu'à 0.1 MeV
 - Nombreux projets (survivants e-ASTROGAM (Fr-It et al.) et ComPair (US et al.), wafers "épais" ($500 \mu\text{m}$).
 - *Aucune démonstration de polarimétrie (même MC).*
- Emulsions (GRAINE) :
 - $1.2^\circ @ 100 \text{ MeV}$, MC et beam test.
 - polarisation vue à 3σ en faisceau $0.8-2.4 \text{ GeV}$, mais *"ability to get down below 100 MeV an issue", death by stats.*
- TPC gaz :
 - SMILE (Kyôto) : semblable à HARPO mais focus Compton.
 - ADept (US) : développent l'amplification dans le gaz ..
TPC CS_2^- , $v_{\text{drift}} \times 1000$, $t_{\text{drift}} = 50 \text{ ms}$, protons 20 kHz/m^2 , *pile-up $1\text{k}/(\text{evt} \times \text{m}^2)$*

Conclusion

- Nous sommes en train d'inventer une nouvelle façon de faire de l'astronomie γ de très haute performance.
 - Astro γ non polarisée :
 - MC : Nous sommes les meilleurs sous 100 MeV;
 - validation faisceau faite : **nous sommes les seuls sous 100 MeV;**
 - Polarimétrie γ :
 - MC : Nous sommes les seuls (et les meilleurs donc) sous 100 MeV;
 - Polarimétrie impossible au dessus de 100 MeV avec un budget décent :
 - *death by stats*
 - angle d'ouverture
 - Donc : MC : Nous sommes les seuls
 - Validation en faisceau faite : **don't miss Philippe's talk !**
 - **Donc : Nous sommes les seuls.**
 - Qualité des personnels français et japonais, efforts des contribuables
- Nous sommes leaders dans la gamme en énergie critique. **don't miss Deirdre's talk !**

Planches supplétives

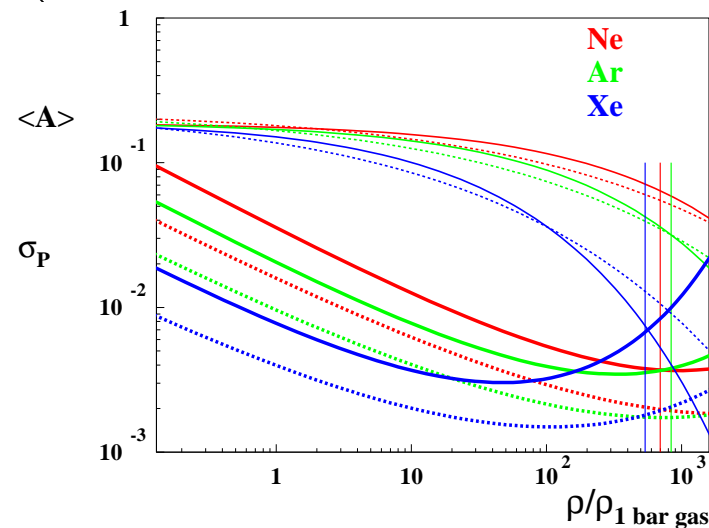
Précision mesure de P

- Pour $B \ll S$, argon, P “pas trop élevée” :

$$\sigma_P \approx 1.4\% \sqrt{\left(\frac{\text{Crab}}{F}\right) \left(\frac{1 \text{ year}}{T}\right) \left(\frac{1 \text{ m}^3}{V}\right) \left(\frac{5 \text{ bar}}{P}\right) \left(\frac{1}{\eta\epsilon}\right)}$$

- Variation gaz, densité (Achtung Achtung : plot sans les coupes expérimentales ..)

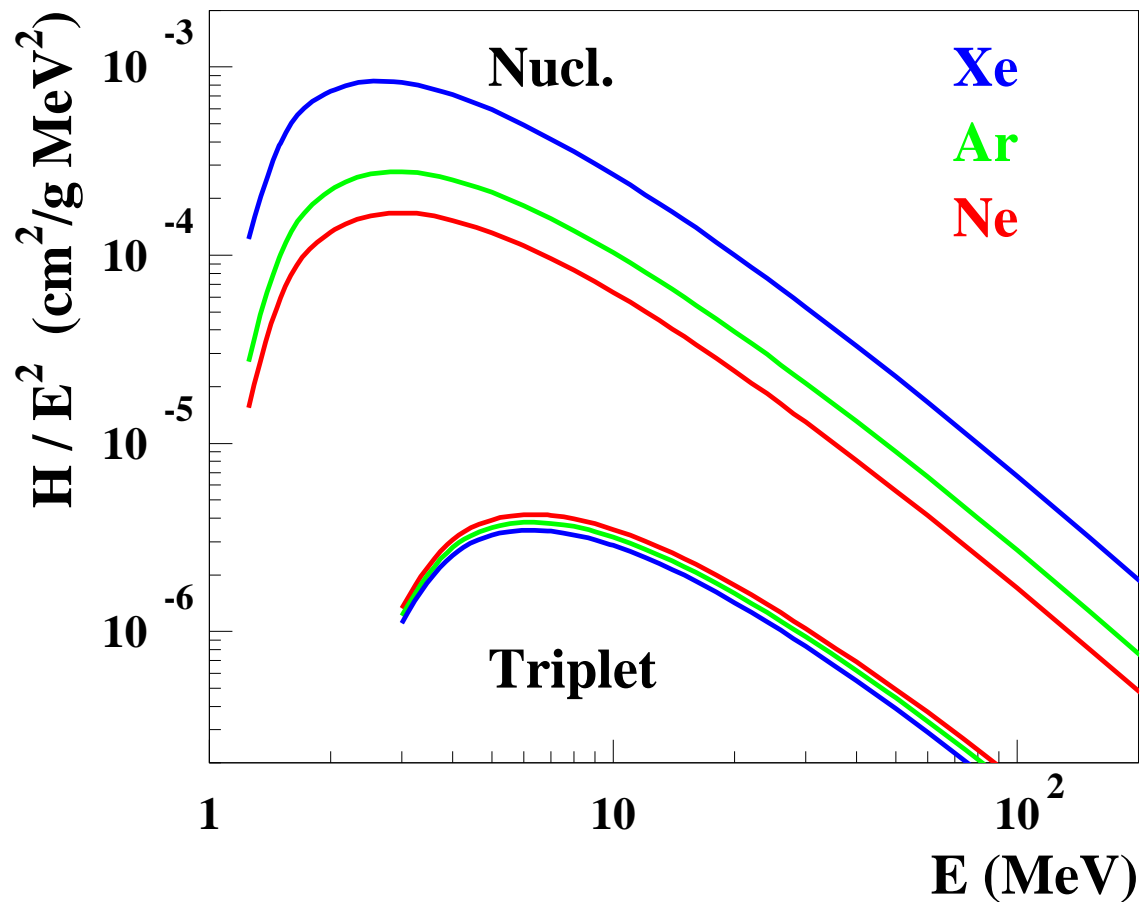
- continu : 1D
- pointillé : 5D



- B non négligeable, dégradation $\propto \sqrt{\frac{S+B}{S}}$

NIM A 729 (2013) 765

Depth by Stats ?



- Product of the attenuation length H for three noble gases by a typical cosmic-source spectrum $1/E^2$ as a function of photon energy E (H is taken from N.I.S.T.)

NIM A 729 (2013) 765