

# Bilan Hadronthérapie\*



\* Uniquement dans le domaine de l'instrumentation, hors manip radiobiologie

AG GDR MI2B Marseille 04 09 2015

# Les diverses actions au sein du pôle

- Expériences de Fragmentation du carbone pour la hadronthérapie (GANIL)



- Moniteurs faisceau pour le contrôle et le monitoring d'un faisceau de proton de haute énergie



- Contrôle balistique de la dose en ligne par émission secondaire



+



# Les diverses actions au sein du pôle

- Dosimétrie "en ligne" à l'aide des  $\gamma$  prompts



- Dispositifs de positionnement du patient prenant en compte le mouvement des organes



- Mesure de la contamination neutron



# Les diverses actions au sein du pôle

- **Tomographie proton (pCT)** (voir présentations R Rescigno, I Rinaldi)



+

(



)

- **Radiothérapie par mini-faisceaux** (voir présentation Y Presado)



# Développements conditionnés par temps faisceau

## → Bilan temps faisceau 2015

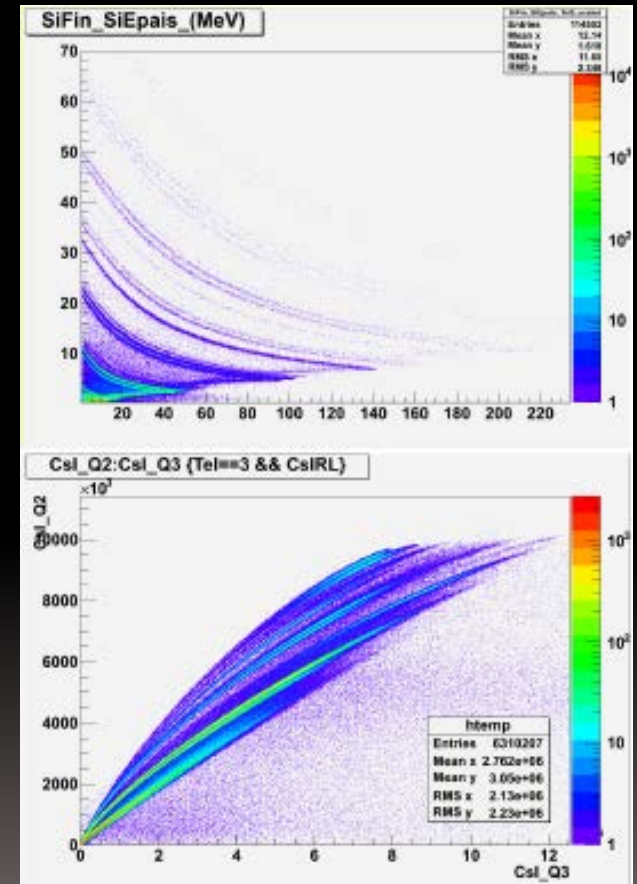
*Faisceau de **carbone** au GANIL 34 UT demandées, 24 UT (104 heures) obtenues dont 13 pour la physique : LPC Caen, IPNL*

*Faisceau de **Proton** au CP Orsay et au CAL Nice*

- *4 UT au CPO (Y Presado)*
- *4UT au CAL (IPNL +LPC Clermont)*

# Données physiques & Modèles : Mesures des sections efficaces

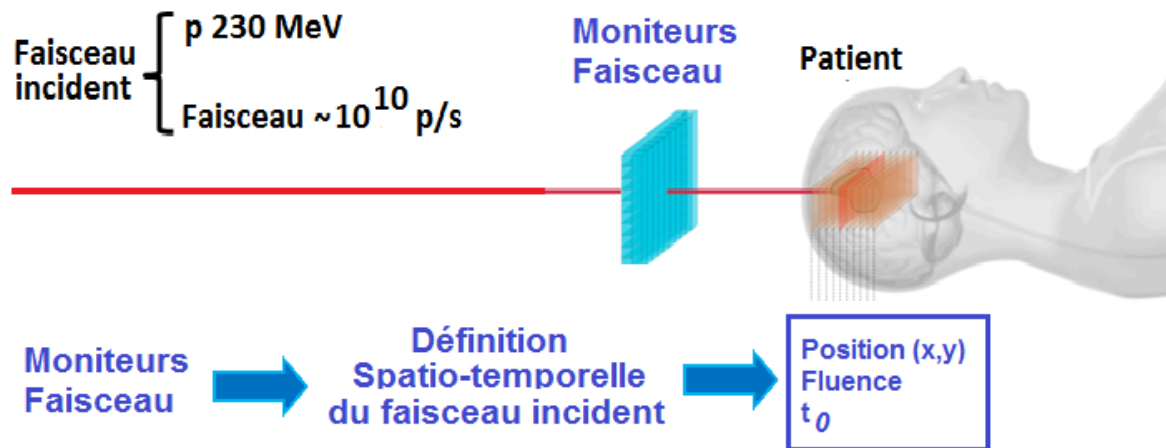
Ganil 2008 2011 2013 2015  
12C fragmentation C-H-O-Ti(Ca)-PMMA C5H8O2 targets



- B. Braunn PhD NIM B 269 (2011) 2676–2684
- J. Dudouet et al., Nucl. Instrum. Methods A 715, 98 (2013)
- J. Dudouet et al., Phys. Rev. C 88, 024606 (2013)
- J. Dudouet PhD thesis
- J. Dudouet et al., Physical Review C 89 (2014) 064615

# Etudes pour le contrôle et le monitoring de faisceau de protons

## Etude pour le contrôle et le monitoring d'un faisceau de proton de haute énergie

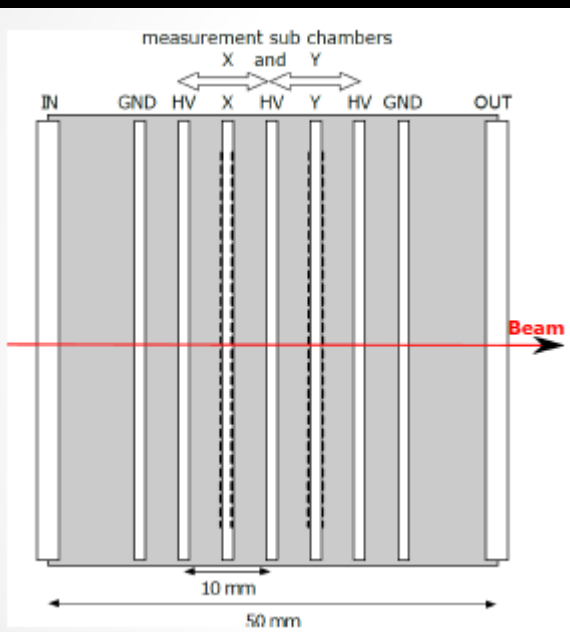


1. Moniteur DOSION (LPC Caen)
2. Moniteur TRaDeRa (LPSC Grenoble)
3. Test de faisabilité d'un moniteur par émission secondaire d'électron (LLR)
4. Test de moniteur au diamant (LPSC Grenoble)

# Moniteur DOSION

Le LPC Caen est en cours de développement d'un système pour le contrôle des irradiations biologiques (**système DOSION**) dont l'efficacité a déjà été démontré par des expériences au GANIL  
(Thèse G. Boissonnat)

## DOSION – Moniteur faisceau pour la radiobiologie



- Dosion mesure le nombre d'ionisations produites par le faisceau.

$$Q_{IC} \propto N_{particules} \Rightarrow \Phi$$

calibration

- En connaissant le TEL on peut alors remonter à la dose.

$$D(Gy) \propto TEL * \Phi$$

calibration

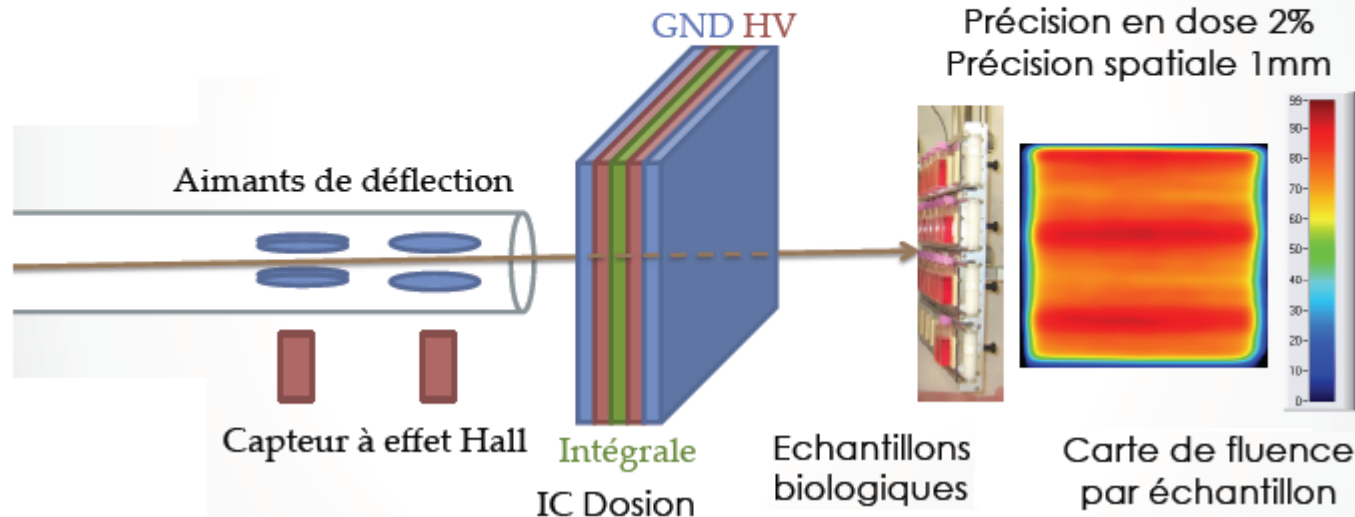


# Moniteur DOSION

**DOSION utilisé avec succès pour reconstruire les cartes de dose lors des irradiations de cellules sur la ligne D1 du GANIL**

*(Thèse G. Boissonnat)*

**DOSION utilisé pour reconstruire les cartes de dose lors des irradiations de cellules sur la ligne D1 du GANIL**

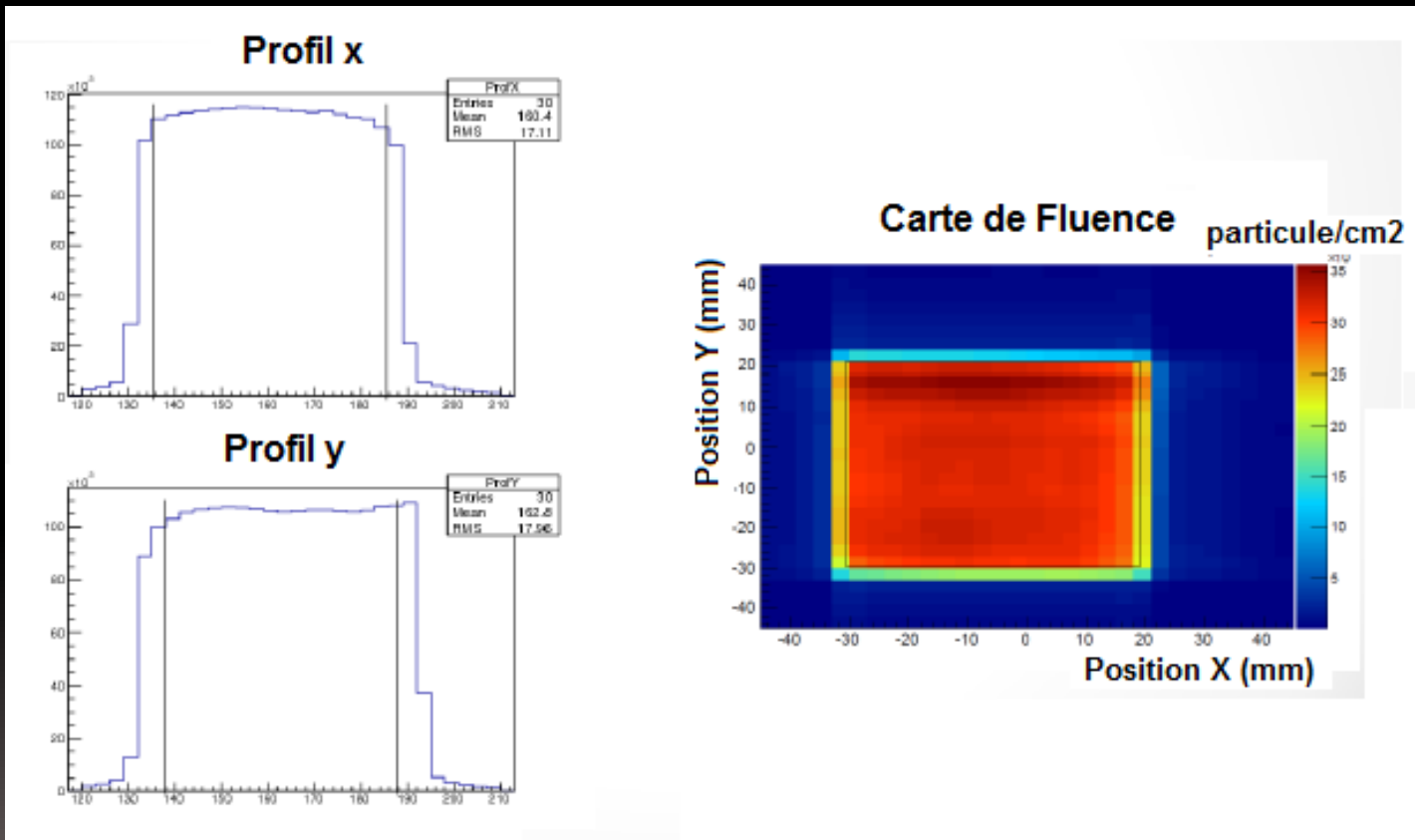


**DOSION testé également sur Arronax**

# Moniteur DOSION

DOSION utilisé avec succès pour reconstruire les cartes de dose lors des irradiations de cellules sur la ligne D1 du GANIL

(Thèse G. Boissonnat)



# Perspectives = Adaptation du moniteur DOSION aux hautes intensités de proton

IC2/3 Moniteur faisceau PBS-Proton (Collaboration



IC2/3 est utilisé en clinique dans les centres protons IBA (Essen, UPENN, Orsay, ...)



IC2/3 installée dans la nozzle d'une gantry proton



Performances IC2/3

précision de mesure de 250  $\mu\text{m}$  sur la position du faisceau et de 1% sur la dose.

Les Performances IC2/3 doivent être adaptées aux hautes intensités des nouvelles faisceaux

# Moniteur TraDeRa

Le groupe DAME du LPSC Grenoble a développé **un profileur de faisceau X dédié à la mesure en transmission des faisceaux de radiothérapie, Matrice de chambres d'ionisation → Moniteur TraDeRa.**

→ Très grande sensibilité à la détection d'irradiations non conformes de patient

→ Mesure en temps réel et en 2D de la fluence des photons.



# Perspectives = Adaptation du moniteur TraDeRa pour la protonthérapie

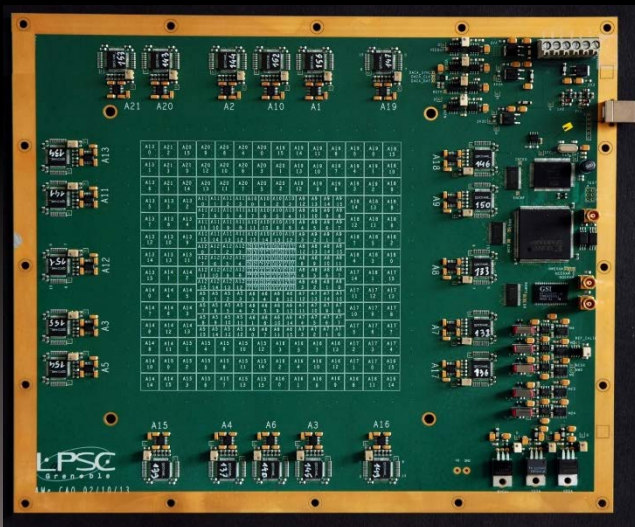
Adaptation du profileur de photons X à la mesure 2D en temps réel d'un faisceau dynamique de hadrons type *pencil beam* :

→ détermination barycentrique de la position du faisceau

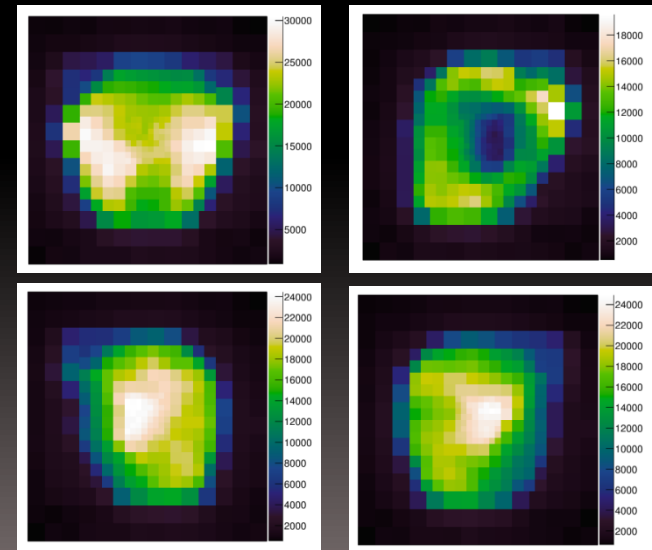
→ intensité

La grande dynamique du détecteur doit permettre d'effectuer des mesures pour une large gamme de configurations.

moniteur TraDeRa



Suivi d'un champ d'irradiation X





# Test de moniteur au diamant

Dans le cadre du contrôle en ligne de la dose délivrée, l'IPN Lyon a développé un hodoscope à fibre

Performances obtenues:

- Résolution en position = 1 mm
- Résolution en temps = 1 ns
- Taux de comptage Max  $10^8$  p/s



Plans de fibres scintillantes (2x128, 1x1 mm<sup>2</sup>)  
PMTs multianode H-8500

Pour pouvoir tagger en temps des faisceaux plus intenses, développement au LPSC de Grenoble de moniteurs utilisant des diamants monocristallins (projet ANR Monodiam) et polycristallins (projet CLARA MoniDiam) :

- grande rapidité → excellente précision temporelle
- bonne résistance aux radiations.



Les tests de faisabilité et de mise au point inclus dans *ProtoBeamLine*

# Tests de moniteur à électrons secondaires

## Etude de faisabilité d'un profileur de faisceau à électrons secondaires \*

- Très mince
- Robustesse et peu de maintenance espérées

## Option électrons secondaires « cristallisée » à l'été 2014

- Après avoir considéré diverses options.
- Intérêt électrons secondaires : très peu de matière nécessaire pour générer signal physique.



## En cours:

- Tests dépôt or sur substrat(s) et test conductivité pistes
- Dépôts réalisés gracieusement par LPICM

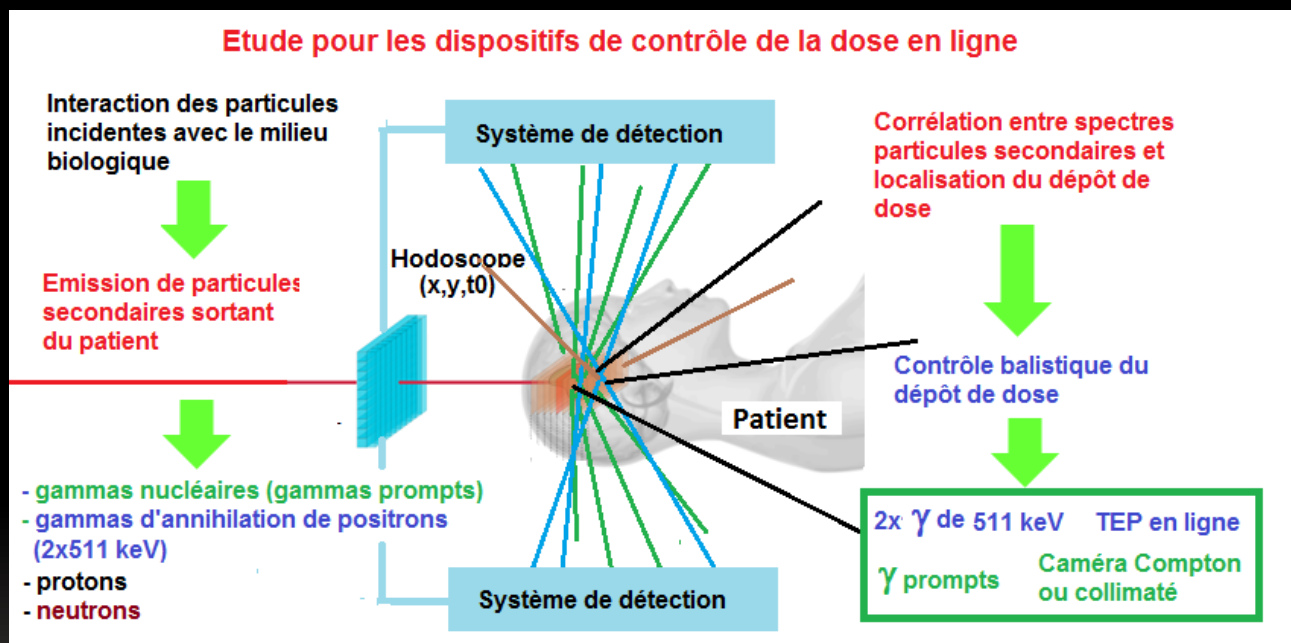
## Objectifs 2015 et au-delà:

- Observation phénomène physique avec setup simplifié
- Puis mise en faisceau d'un prototype



\* Sous l'égide d'un accord de confidentialité avec IBA Octobre 2013 – octobre 2015

# Etudes pour le contrôle balistique de la dose en ligne



1. Imagerie TEP (LPC Clermont)

2. Imagerie gammas prompts (IPN Lyon, CPPM, LPC Clermont, LPSC Grenoble)



# Systeme de controle balistique par in-beam TEP

Construction d'un demonstrateur pour tester la selection des evenements physiques des correlations fortuites par l'application de selection temporelle, spatiale....

2 tetes : 120 canaux chacune

→ 1 canal = 1 cristal scintillant LYSO + 1 PMT

Electronique front-end

→ echantillonnage/numerisation via DRS4 ASIC

-buffer tournant

-profondeur d'echantillonnage (1024 echantillons)

-frequence d'echantillonnage (max 6 GHz)

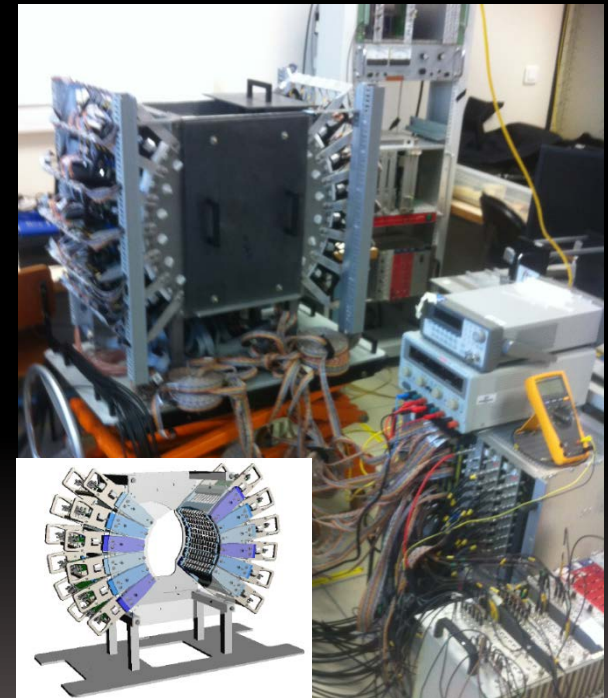
Acquisition (DAQ)

-VME (aujourd'hui)

-μTCA (futur)

-transfert des donnees entre electronique et DAQ via lien optique

-taux de transfert maximum : 3Gb.s<sup>-1</sup> pour 24 canaux



# Système de contrôle balistique de la dose par in beam TEP

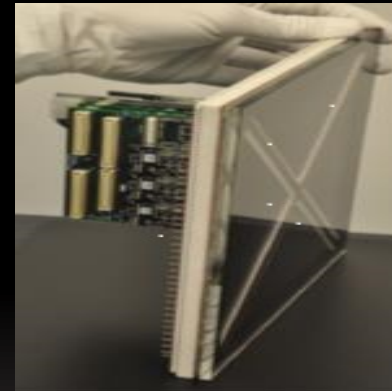
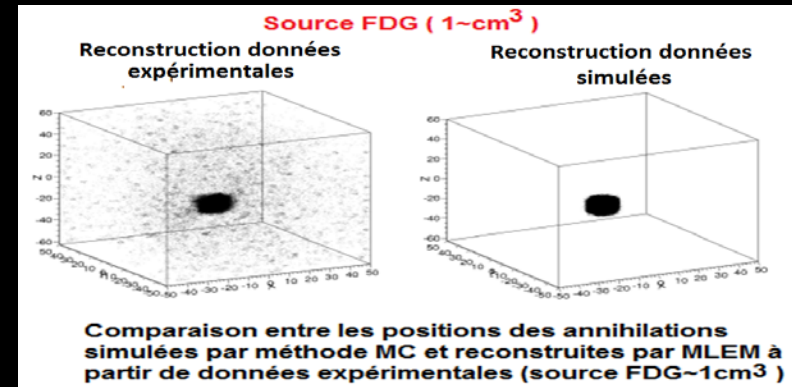
## Tests de reconstruction données acquises avec du FDG

### Phase 1 = continuité des tests des détecteurs

- validation des équations de Trigger
- Prise de données en faisceau (CAL Nice)
- utilisation DAQ  $\mu$ TCA

**Perspectives :** → Test en condition faisceau de nouveaux type de photodétecteurs (MCCPMT de grande surface avec électronique à échantillonnage intégrée)

**LAPD Collaboration**  
H. Frish et al.

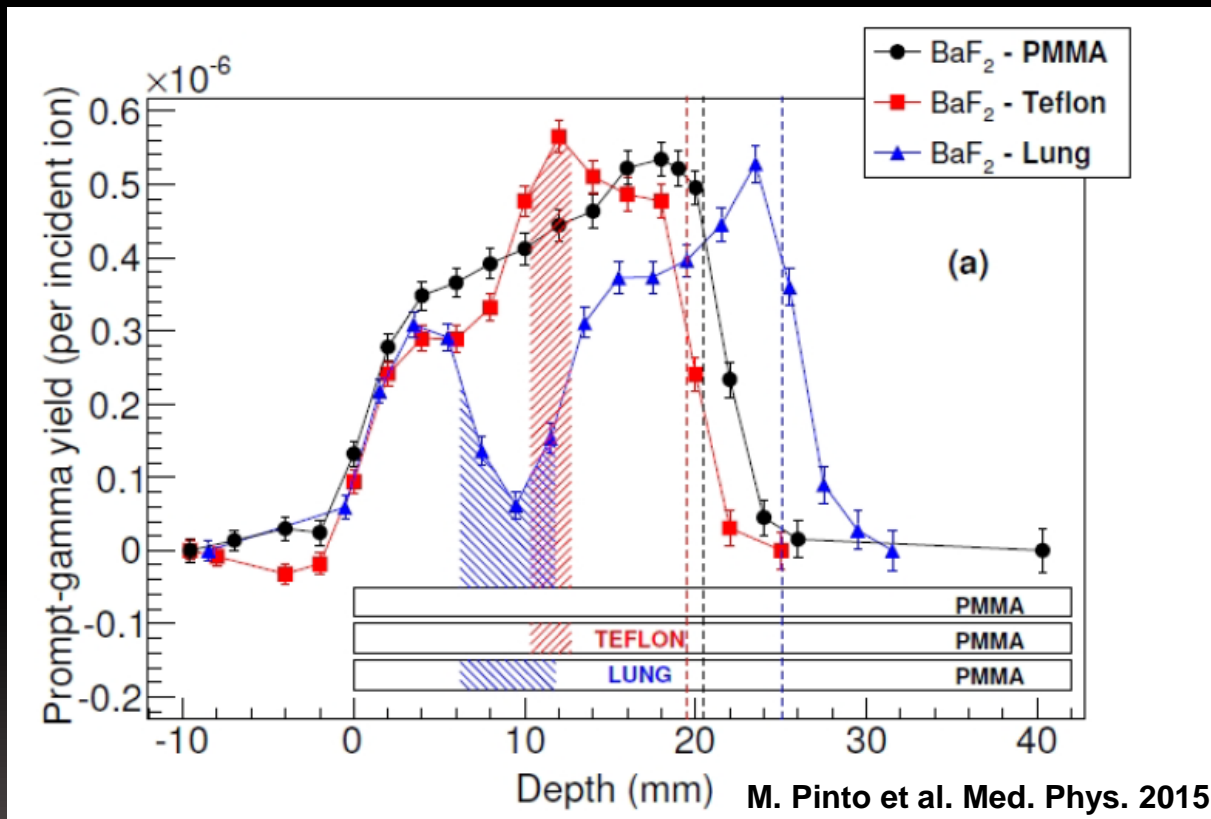


→ Possibilité de concevoir un TEP en ligne avec une grande acceptance, une bonne résolution sur le Temps de vol et la mesure de la position exacte de la détection des gammas

L Lestand, R Chadelas, P Force, B Joly, D Lambert, M Magne, F Martin, G Montarou, A Rozes, PE Vert, A Patriarca, L de Marzi, and, N Fournier-Bidoz, A Sampling-Based Method to Improve Random Coincidences Suppression During In-beam Positron Emission Tomography Acquisitions, submitted to IEEE

# Systeme de controle balistique par l'imagerie par Gammas Prompts

## Profils en $\gamma$ prompt : Cibles hétérogènes 95 MeV/u 12C (GANIL)



Influence des hétérogénéités à proximité du Pic de Bragg  
→ Modification du parcours des ions

# Systeme de controle balistique par l'imagerie par Gammas Prompts

**Assessment and improvements of Geant4 hadronic models in the context of prompt-gamma hadrontherapy monitoring. G. Dedes, M. Pinto, D. Dauvergne, N. Freud, J. Krimmer, J. M. Létang, C. Ray, E. Testa, , Physics in Medicine and Biology 59 (2014)**

**Real-time proton beam range monitoring by means of prompt-gamma detection with a collimated camera. F. Roellinghoff, A. Benilov, D. Dauvergne, G. Dedes, N. Freud, G. Janssens, J. Krimmer, J. M. Létang, M. Pinto, D. Prieels, C. Ray, J. Smeets, F. Stichelbaut, E. Testa, Physics in Medicine and Biology 59 (2014)1327-38**

**Absolute prompt-gamma yield measurements for ion beam therapy monitoring. M. Pinto, M. Bajard, S. Brons, M. Chevallier, D. Dauvergne, G. Dedes, M. De Rydt, N. Freud, J. Krimmer, C. La Tessa, J. M. Létang, K. Parodi, R. Pleskac, D. Prieels, C. Ray, I. Rinaldi, F. Roellinghoff, D. Schardt, E. Testa, M. Testa, , Physics In Medicine and Biology 60 (2014) 565-594**

**Design optimisation of a TOF-based collimated camera prototype for online hadrontherapy monitoring. 2014b: M. Pinto, D. Dauvergne, N. freud, J. Krimmer, J. M. Létang, C. Ray, F. Roellinghoff, E. Testa, Physics In Medicine and Biology 59 (2014) 7653-7674**

# Système de contrôle balistique par l'imagerie par Gammas Prompts

## Système par Camera Collimaté

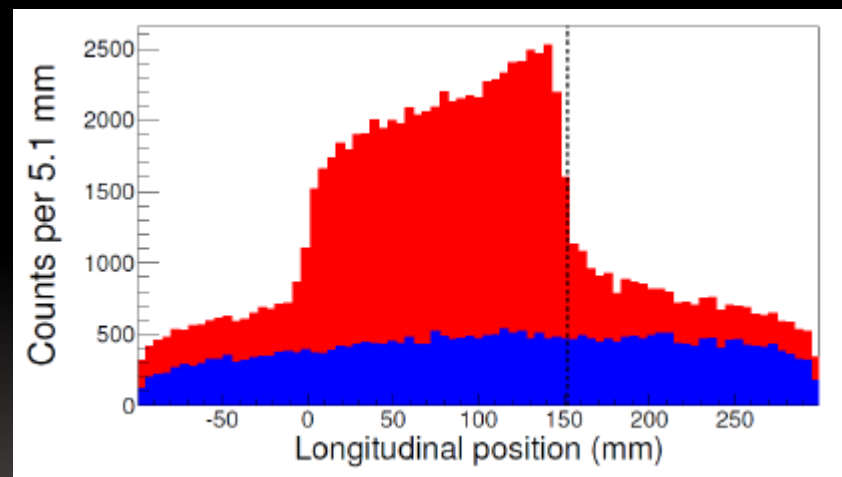
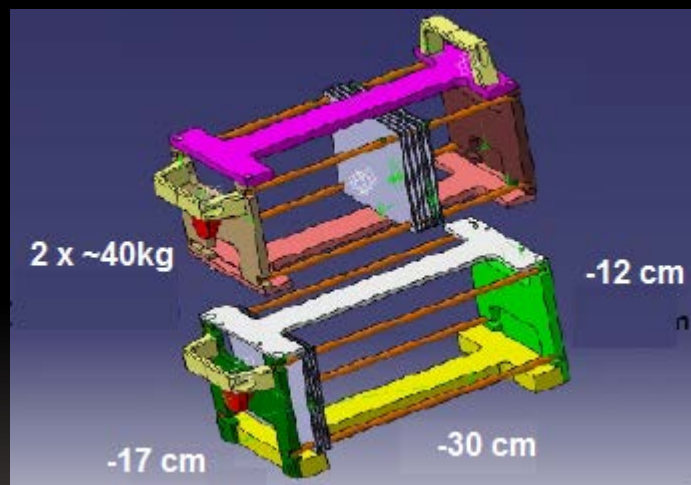
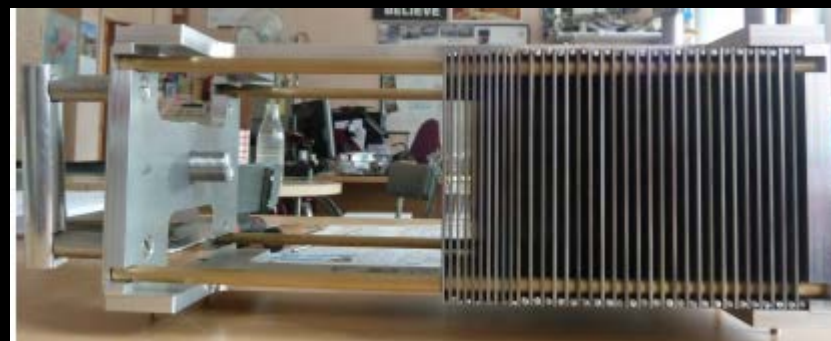
Collimation optimisée pour la détection du "falloff"

→ Précision attendue :  $\sigma \sim 1$  mm pour  $10^8$  protons

Lames de collimation en tungstène

Hauteur  $\sim 20$  cm (2 couches)

Détecteurs en BGO

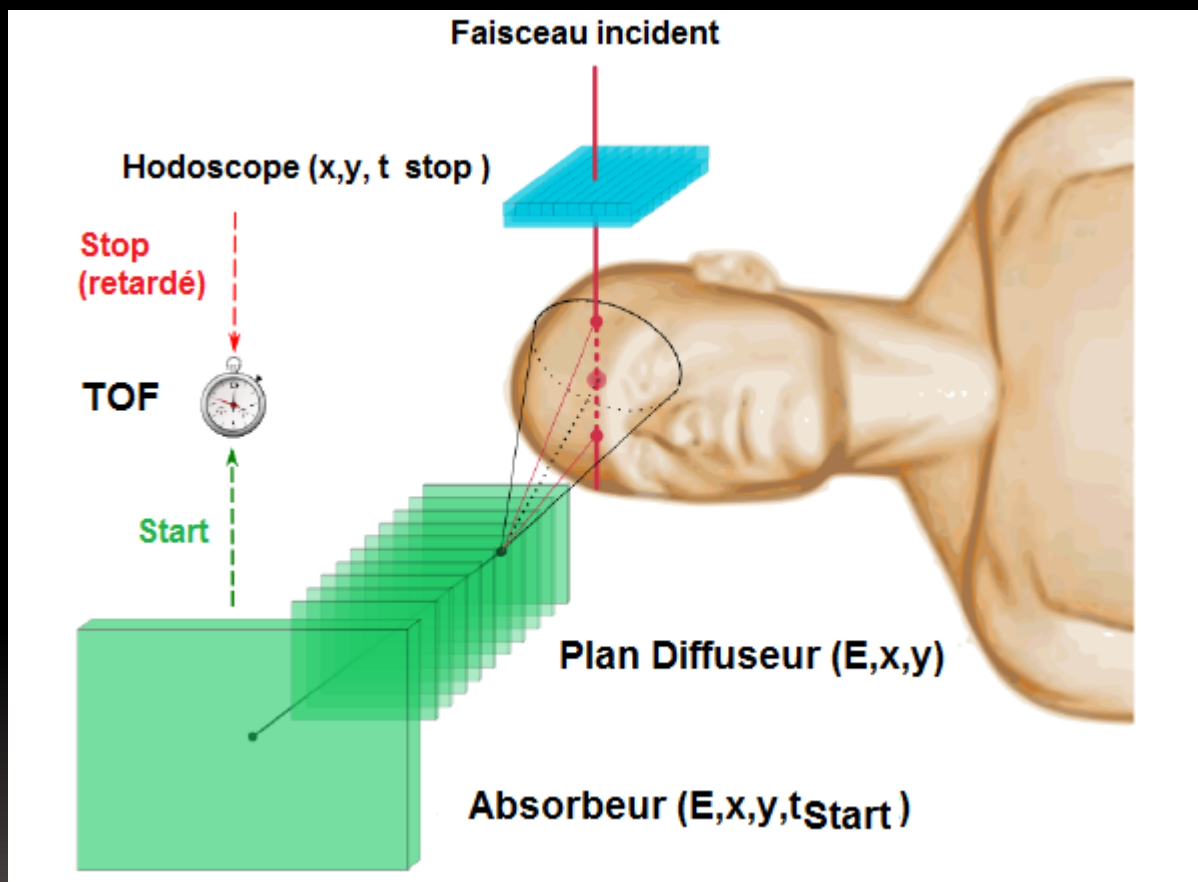


Collimated prompt gamma TOF measurements with multi-slit multi-detector configurations. J. Krimmer, M. Chevallier, J. Constanzo, D. Dauvergne, M. De Rydt, G. Dedes, N. Freud, P. Henriquet, C. La Tessa, J.M. Létang, R. Pleskac, M. Pinto, C. Ray, V. Reithinger, M.H. Richard, I. Rinaldi, F. Roellinghoff, C. Schuy, E. Testa, M. Testa. in JINST 10 (2015) P01011



# Système de contrôle balistique par l'imagerie par Gammas Prompts

## Système par Camera Compton



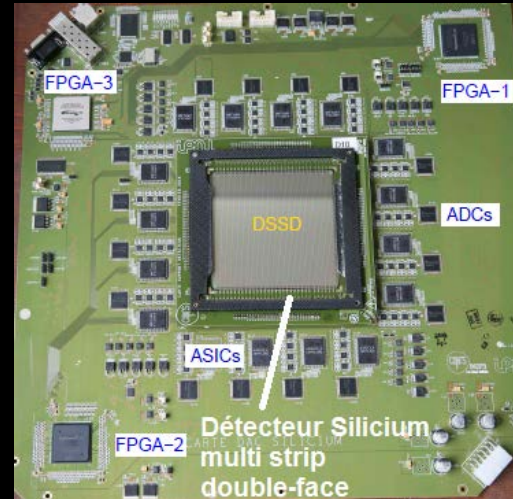
Principe = on remplace la collimation passive par une collimation électronique  
3 détecteurs composent la caméra : hodoscope, Diffuseur, Absorbeur

# Systeme de controle balistique par l'imagerie par Gammas Prompts

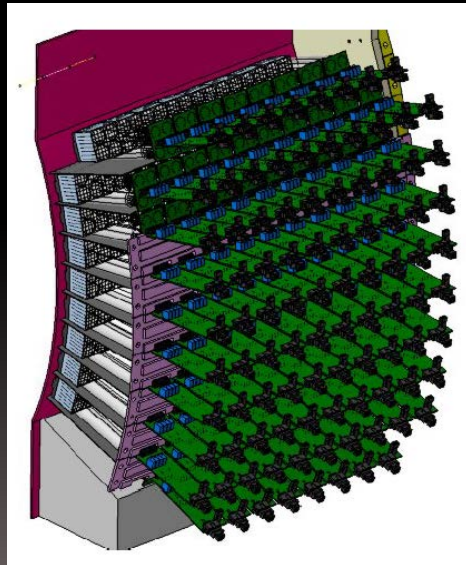
## Hodoscope à fibres



## Plan de Diffusion (7)



## Absorbeur



## Quartet de PMTs



## Bloc de BGP pixellisé

Development of a Compton camera for medical applications based on silicon strip and scintillation detectors. J. Krimmer, J.-L.Ley, C.Abellan, J.-P.Cachemiche, L.Caponetto, X.Chen, M. Dahoumane, D.Dauvergne, N.Freud, B.Joly, D.Lambert, L.Lestand, J.M. Létang, M.Magne, H.Mathez, V.Maxim, G.Montarou, C.Morel, M.Pinto, C. Ray, V.Reithinger, E.Testa, Y.Zoccarato, A paraitre dans Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A.

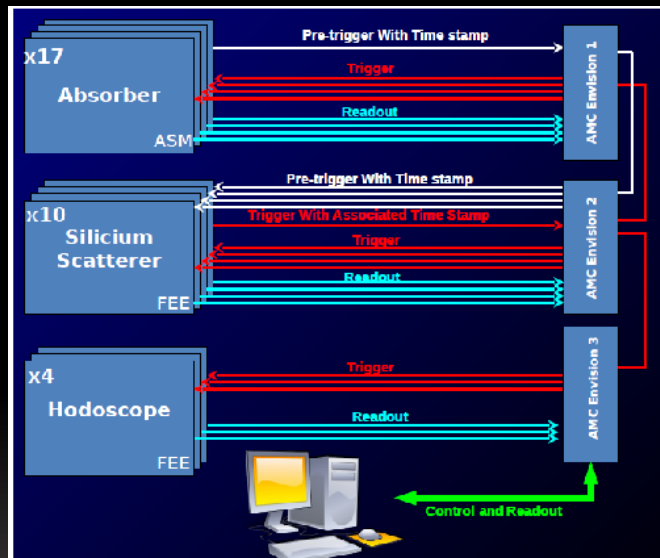
# Systeme de controle balistique par l'imagerie par Gammas Prompts

## Systeme d'acquisition a grande bande passante utilisant la norme $\mu$ TCA

Shema de l'acquisition de la camera Compton



Utilise un developpement generique piloté par le CPPM (carte AMC, MSH)



Carte AMC (CPPM)



Crate  $\mu$ TCA

A micro-TCA Data Acquisition System and its application for Hadrontherapy Monitoring using a Compton Camera. Abellan, C. et al., 2014.. In Radiation Oncology. ICTR-PHE Conference. Geneva, p. S1-S2.



# Etudes de systèmes de mesure de la contamination neutron en protonthérapie



## → Contexte :

- Production importante de neutrons secondaires en protonthérapie
- Dose neutrons dans les organes à risques ( $> 100$  mSv)  $\Leftrightarrow$  cancers radio-induits

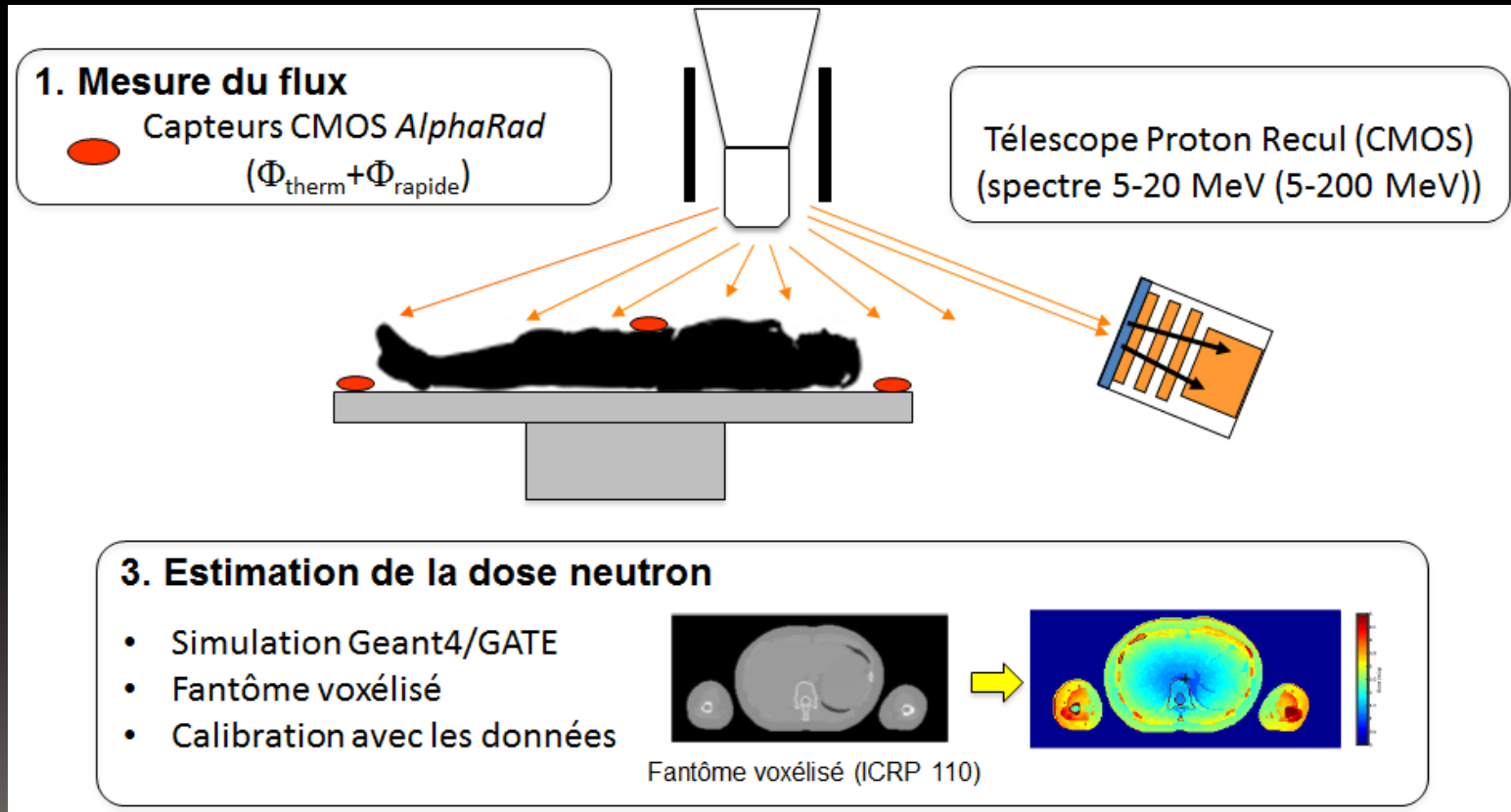
## → Projet groupe RAMSES IPHC

- Mesure en temps réel des neutrons secondaires (technologie CMOS) :
  - spectre en énergie
  - flux de neutrons en divers endroits de la salle de traitement
- Estimation de la dose neutron patient par simulations Monte Carlo (Geant4/GATE)  
(validation par méthodes de dosimétrie passive (détecteurs TLD, détecteurs de traces))

# Etudes de systèmes de mesure de la contamination neutron en protonthérapie

## Projet général

- Mesures en temps réel du flux (1) et du spectre des neutrons secondaires (2)
- Calcul de la dose par simulation Monte Carlo (3)



# Un projet fédérateur : Le Projet *ProtoBeamLine*

Disponibilité des salles dédiées R&D instrumentation sur la plateforme France Hadron du centre Lacassagne à Nice pour intégrer l'essentiel de la R&D développée par les équipes impliquées dans le domaine de l'hadronthérapie, basée sur l'utilisation d'un faisceau clinique de protons de nouvelle génération.

Ce projet, même s'il est orienté protonthérapie permettrait de maintenir le potentiel des équipes françaises en attendant la mise à disposition des faisceaux de carbone du centre Archade.

A ce titre le projet ProtoBeamLine serait la première phase d'un projet de recherche à long terme sur l'hadronthérapie pour lequel la R&D développée en proton serait ensuite appliquée et transférée sur la ligne de recherche en ions d'Archade

**Merci de votre attention !!!**