

# Développement d'une caméra au xénon liquide dédiée à l'imagerie médicale fonctionnelle

Présenté par  
**Samuel DUVAL**

Directeur de thèse : Jacques MARTINO  
Encadrants Scientifiques : Jean-Pierre Cussonneau, Dominique Thers

# Plan de la présentation

L'Imagerie Médicale

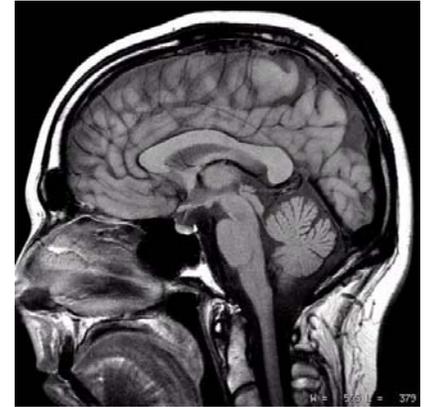
L'Imagerie 3 photons

- ✓ XEMIS (Xenon Medical Imaging System)
- ✓ Résultats expérimentaux
- ✓ Réalisation d'un THGEM-GPM

# L'imagerie médicale

## Anatomique ou Morphologique :

- ✓ Echographie
- ✓ Radiologie (Conventionnelle & Tomodensitométrie)
- ✓ Imagerie par résonance magnétique

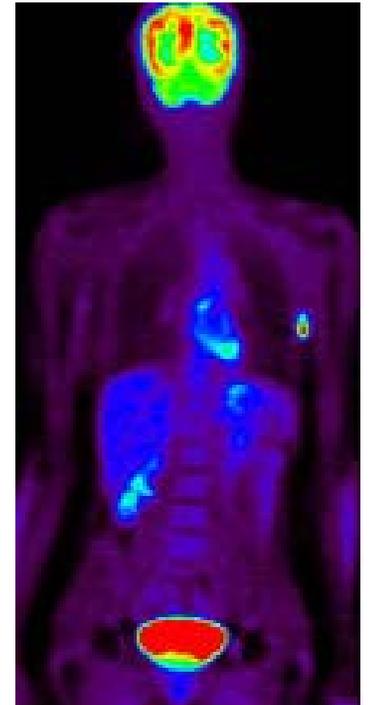


## Moléculaire : gènes ou protéines spécifiques

- ✓ Avec tous types de modalités

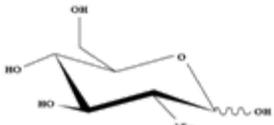
## Fonctionnelle : métabolisme & physiologie

- ✓ IRMf
- ✓ TDM avec produit de contraste
- ✓ **Imagerie nucléaire**: injection de radiotracteur
  - autoradiographie  $\beta$ , in vitro (résolution = 50  $\mu\text{m}$ )
  - imagerie  $\gamma$ , in vivo (résolution = 5 mm FWHM)
    - Tomographie d'Emission Mono-Photonique
    - Tomographie par Emission de Positons



# Imagerie Médicale Nucléaire : TEP

Traceur + radionucléide



$^{18}\text{F}$ FDG



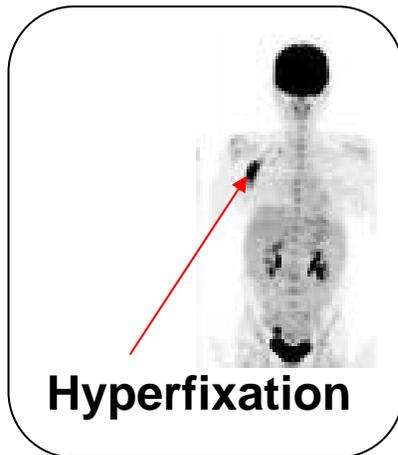
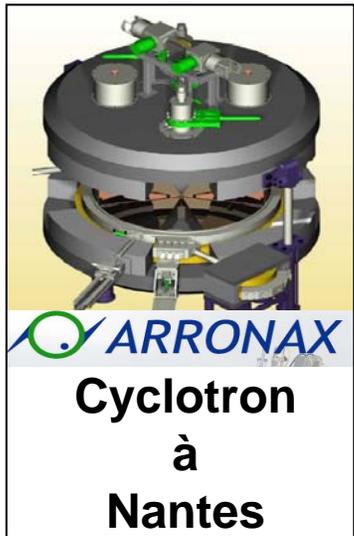
Hyper métabolisme tumoral

## Buts

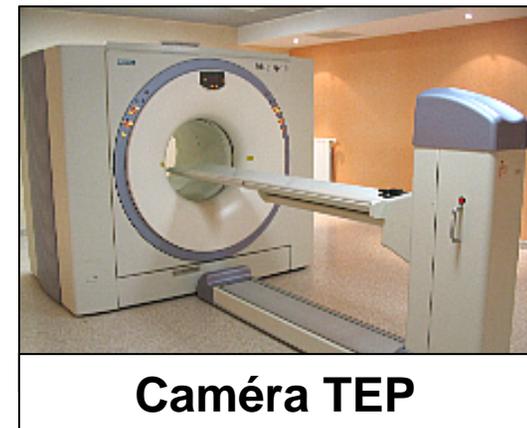
- Estimation de l'activité
- Diminution de la dose

Emission  $\beta^+$

annihilation



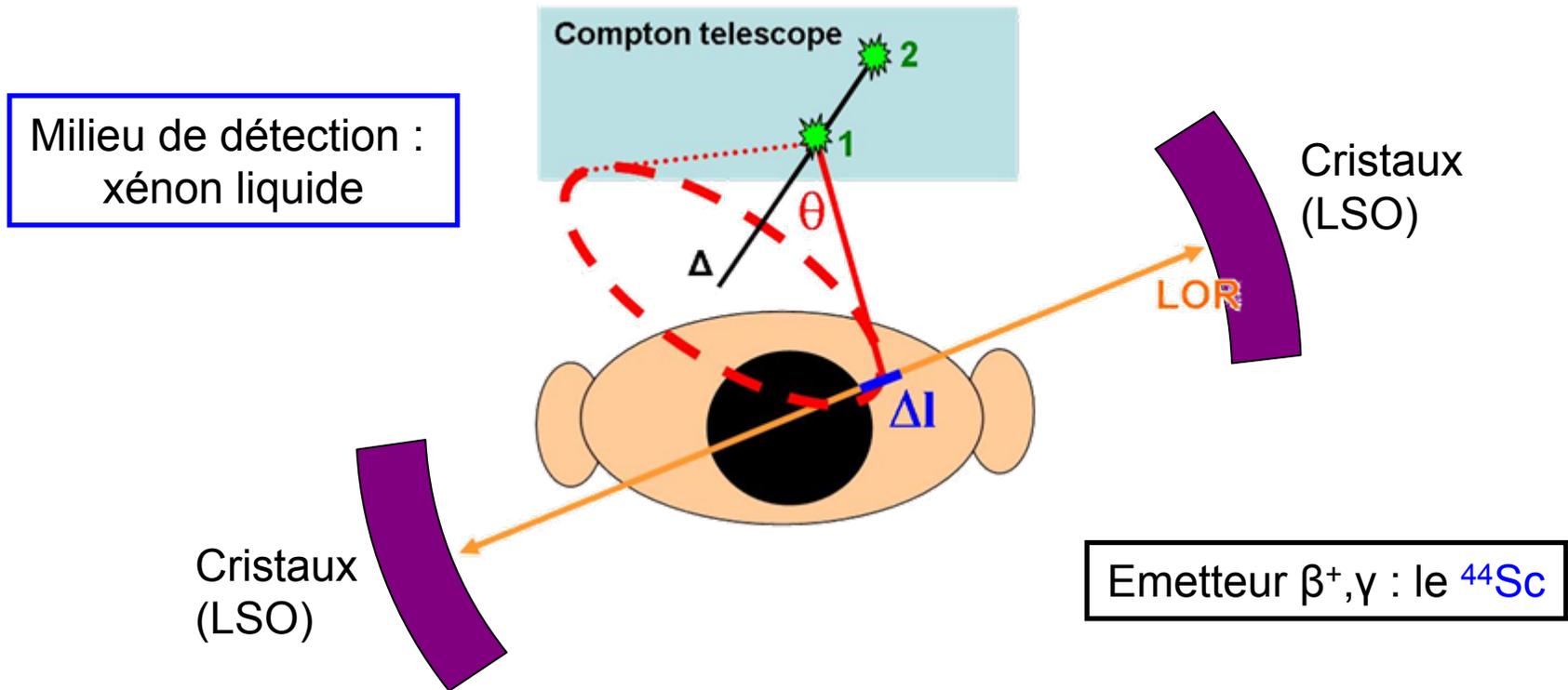
Hyperfixation



Caméra TEP

# L'imagerie nucléaire $3\gamma$

Imagerie 3D évènement par évènement





# Le xénon liquide

## Gaz nobles liquéfiés:

- ✓ Grands volumes de détection
- ✓ Signaux : scintillation + ionisation
- ✓ TPC (Time Projection Chamber) : localisation en 3D

Adaptés à la détection des  $\gamma$  et à la trajectographie

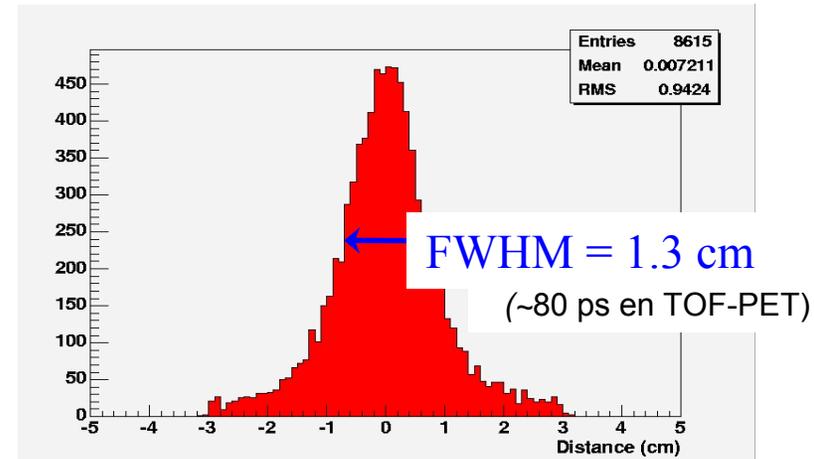
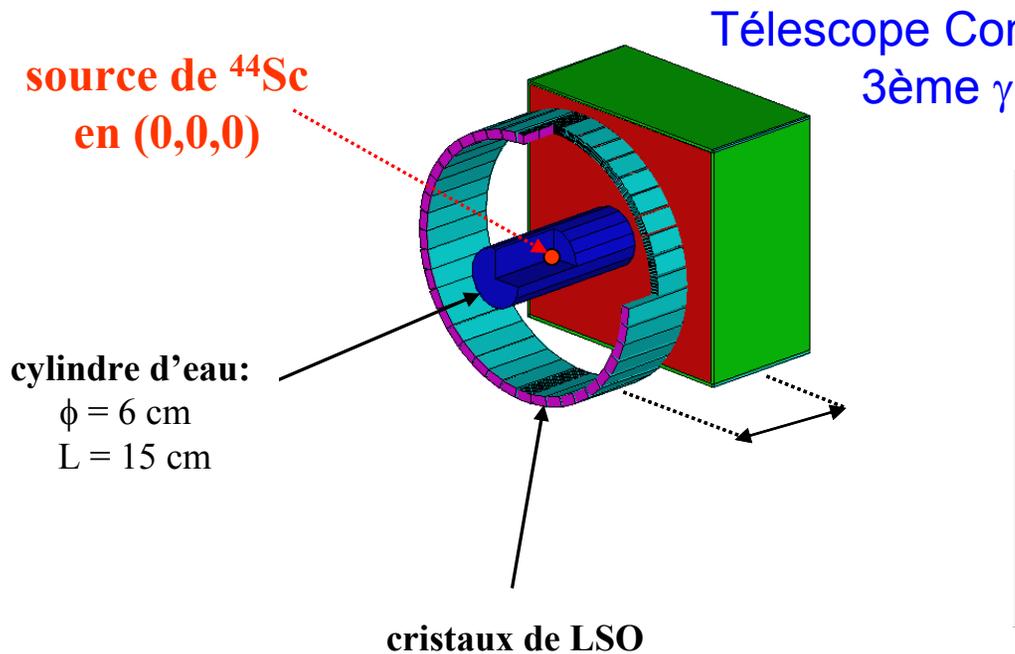
## Caractéristiques du XeL:

- ✓ Dense :  $3 \text{ g.cm}^{-3}$ , Z élevé = 54
- ✓ Rendement de ionisation élevé:  $W_{\text{ioni}} = 15.6 \text{ eV}$ , 64000 paires  $e^-/\text{Xe}^+$  par MeV
- ✓ Excellent scintillateur :  $W_{\text{ph}} = 21.6 \text{ eV}$ , 46000 UV / MeV  $\sim \text{NaI}$
- ✓ Scintillateur rapide : 2.2 ns, 27 ns et 45 ns  $\sim \text{LSO}$

# Simulations : petit animal

Résolution en énergie et position :  $\sigma_E = 6 \% @ 1 \text{ MEV}$  [ E. Aprile, [NIMA 480, 2002](#) ]

$$\sigma_{xy} = 1 \text{ mm} , \sigma_z = 100 \mu\text{m}$$



[ C. GRIGNON, [PhD thesis, 2007](#) ]

Mesure de la LOR avec la camera  $\mu\text{TEP}$

**Technique d'imagerie extrapolable à l'homme**

# Plan de la présentation

L'imagerie Médicale

L'imagerie 3 photons

- ✓ **XEMIS1 (Xenon Medical Imaging System)**
- ✓ Résultats expérimentaux
- ✓ Réalisation d'un THGEM-GPM

# XEMIS1 (XEnon Medical Imaging System 1)

PTR



**Alimentation  
xénon**



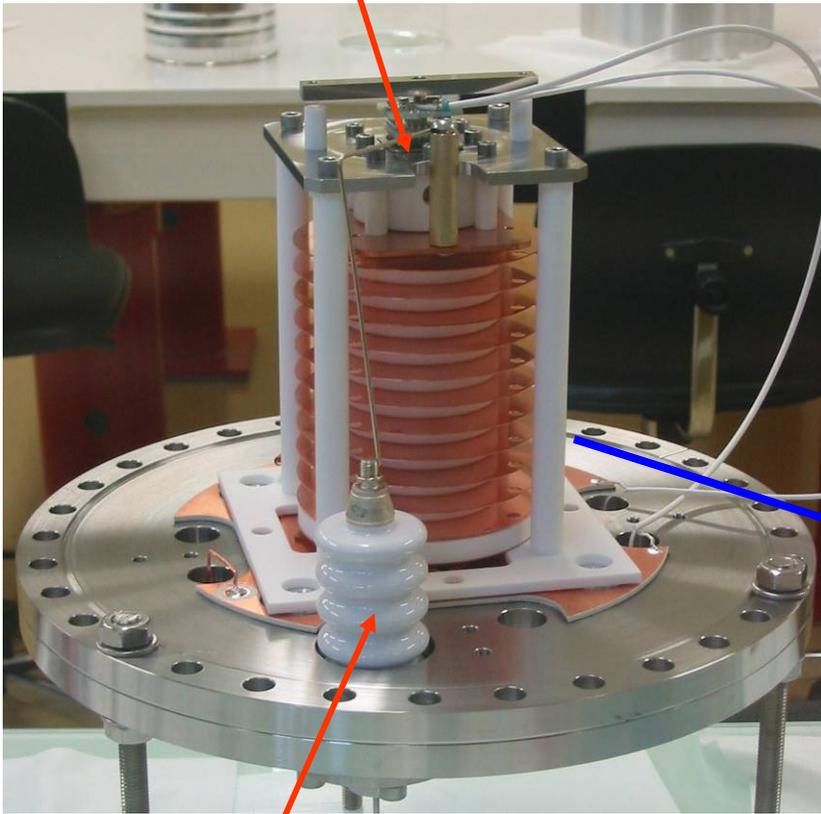
**Circulation  
Purification**

**Cryostat**

**Electronique  
d'acquisition**

# Volume actif

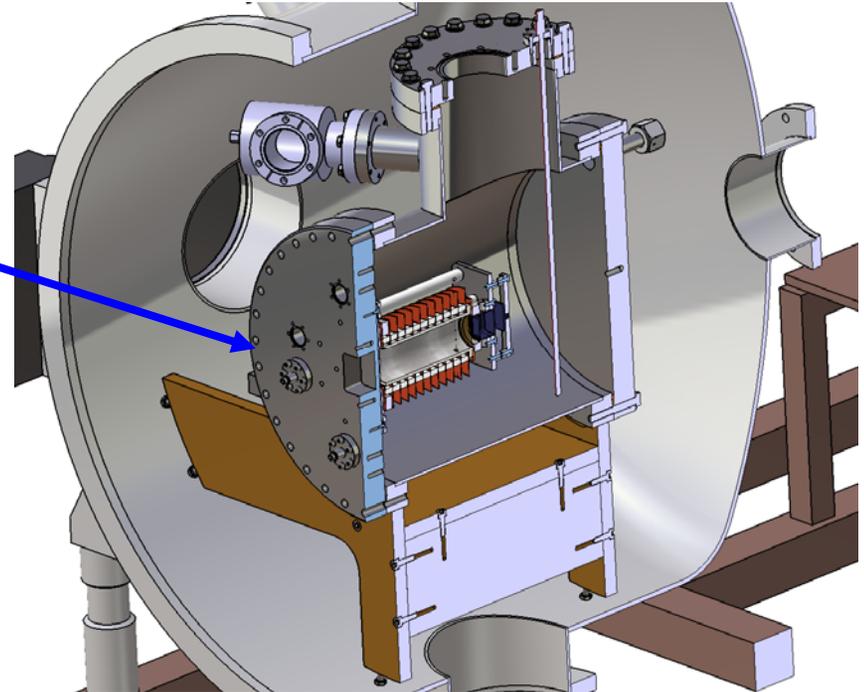
Photomultiplicateur



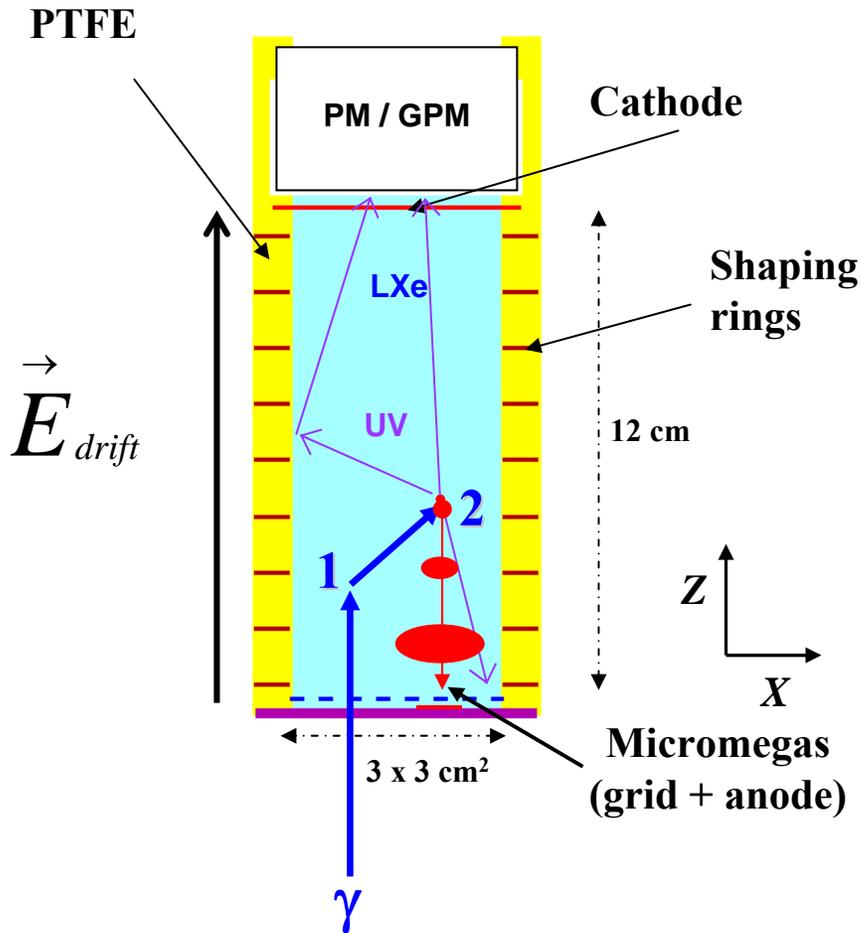
Assemblage  
en salle blanche



Connecteur 30 kV



# Principe de détection



Signal de scintillation lu avec un  
PM :  $t_0$



Signal d'ionisation lu avec  
MICROMEAS :  $t_1, E, x, y$

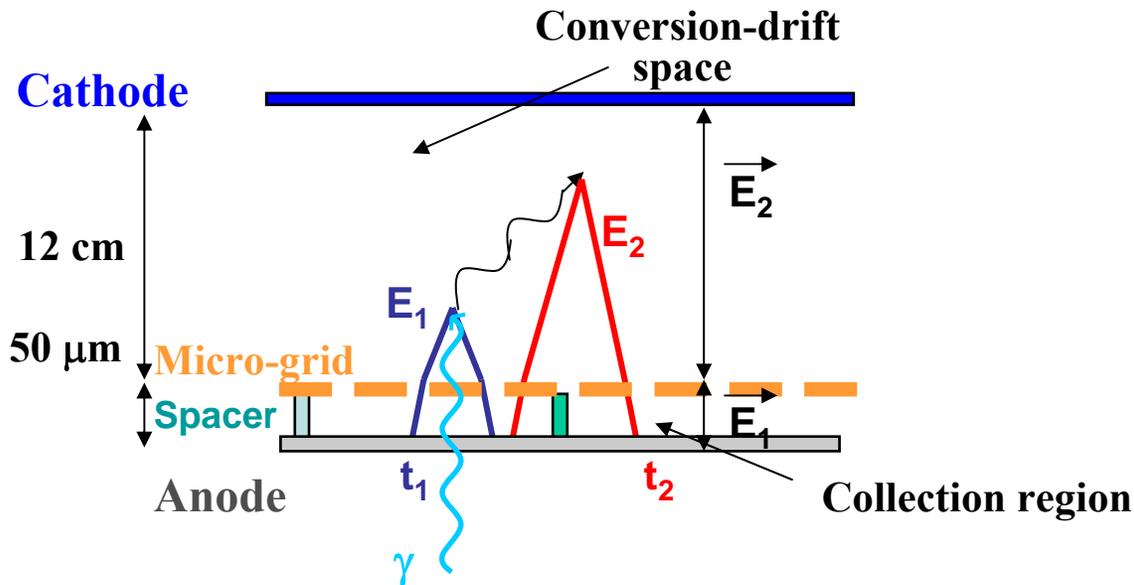


Principe de la TPC :  
 $z = (t_1 - t_0) \times v_{drift}$

Mesure de E & (x, y, z) de chaque interaction

# MICROME GAS et PM dans le Xe liquide

Détection du signal d'ionisation



Y. Giomataris et al. NIMA376 (1996)

Détection des UV (178 nm)



PMT Hamamatsu  
(R5900-06AL12S-ASSY)

# La cryogénie du xénon liquide

Liquéfaction à basse pression < 2 bars

✓ Transition gaz→liquide : ~ -110 °C

ex:  $T_{\text{condensation}} = -108^{\circ}\text{C}$  and  $T_{\text{freezing}} = -112^{\circ}\text{C}$  à  $P = 1$  bar

✓ Régulation précise de la température

✓ Tête froide : Pulse Tube Refrigerator (developed @ KEK by T. Haruyama)



Purification

✓ LXe purity level ~ 1ppb ( $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , ...)

✓ Filtres

✓ Circulation

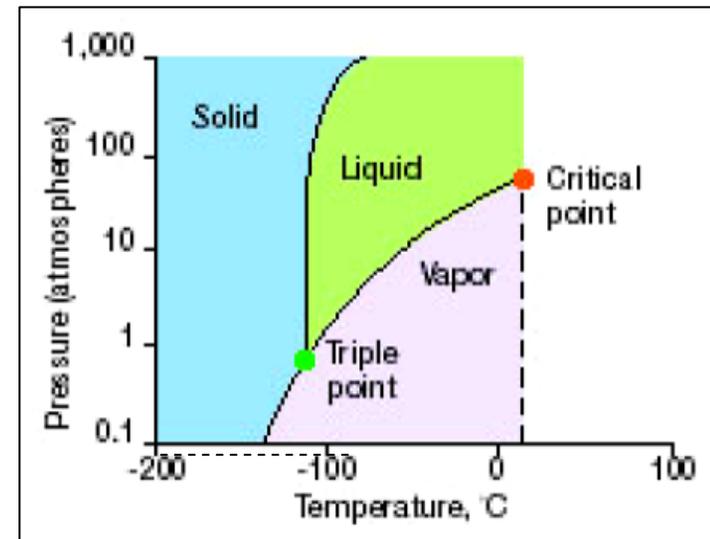


Diagramme de phases du xénon

# Plan de la présentation

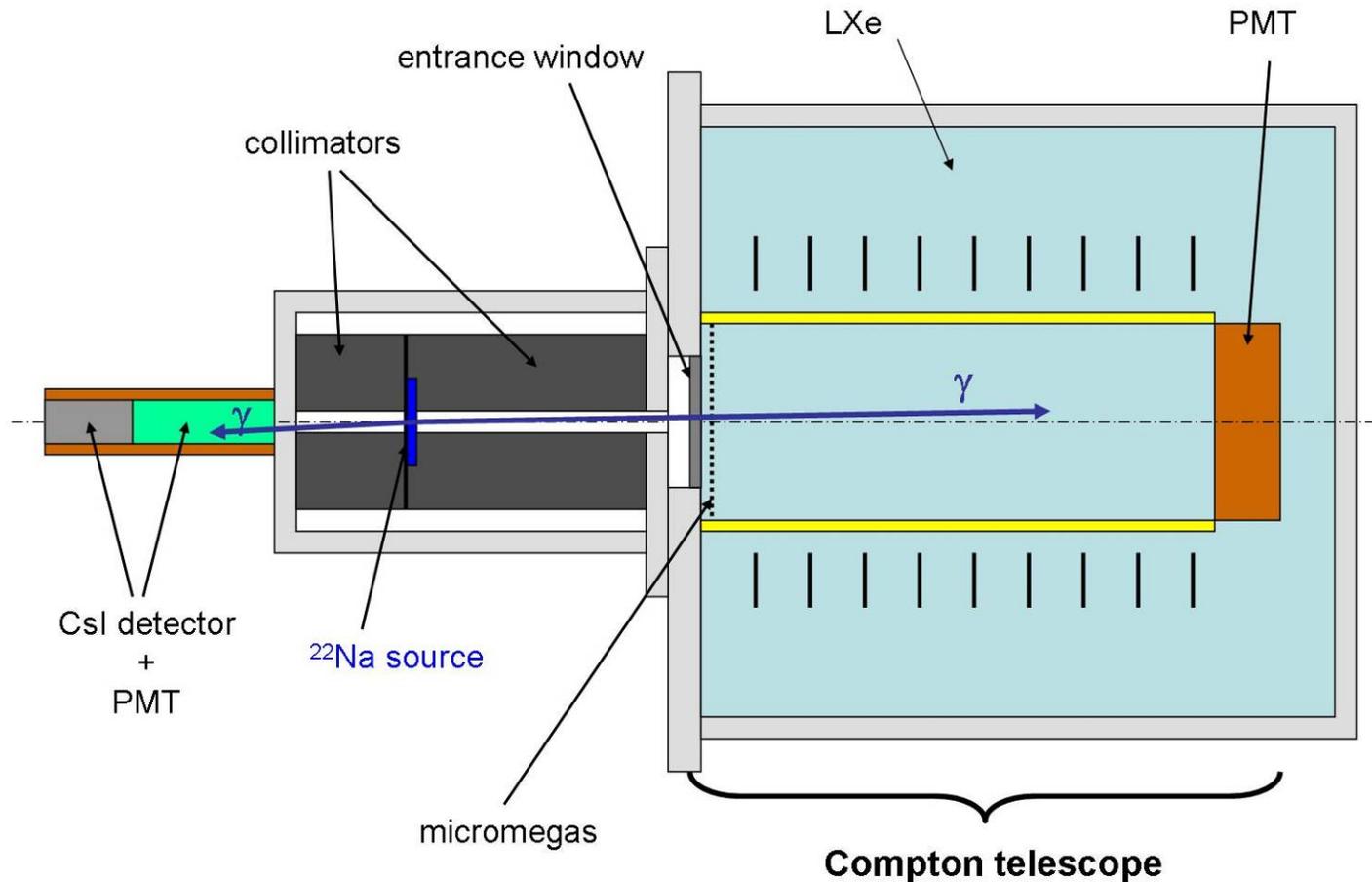
L'imagerie Médicale

L'imagerie 3 photons

- ✓ XEMIS1 (Xenon Medical Imaging System)
- ✓ **Résultats expérimentaux**
- ✓ La photo-détection avec un THGEM-GPM

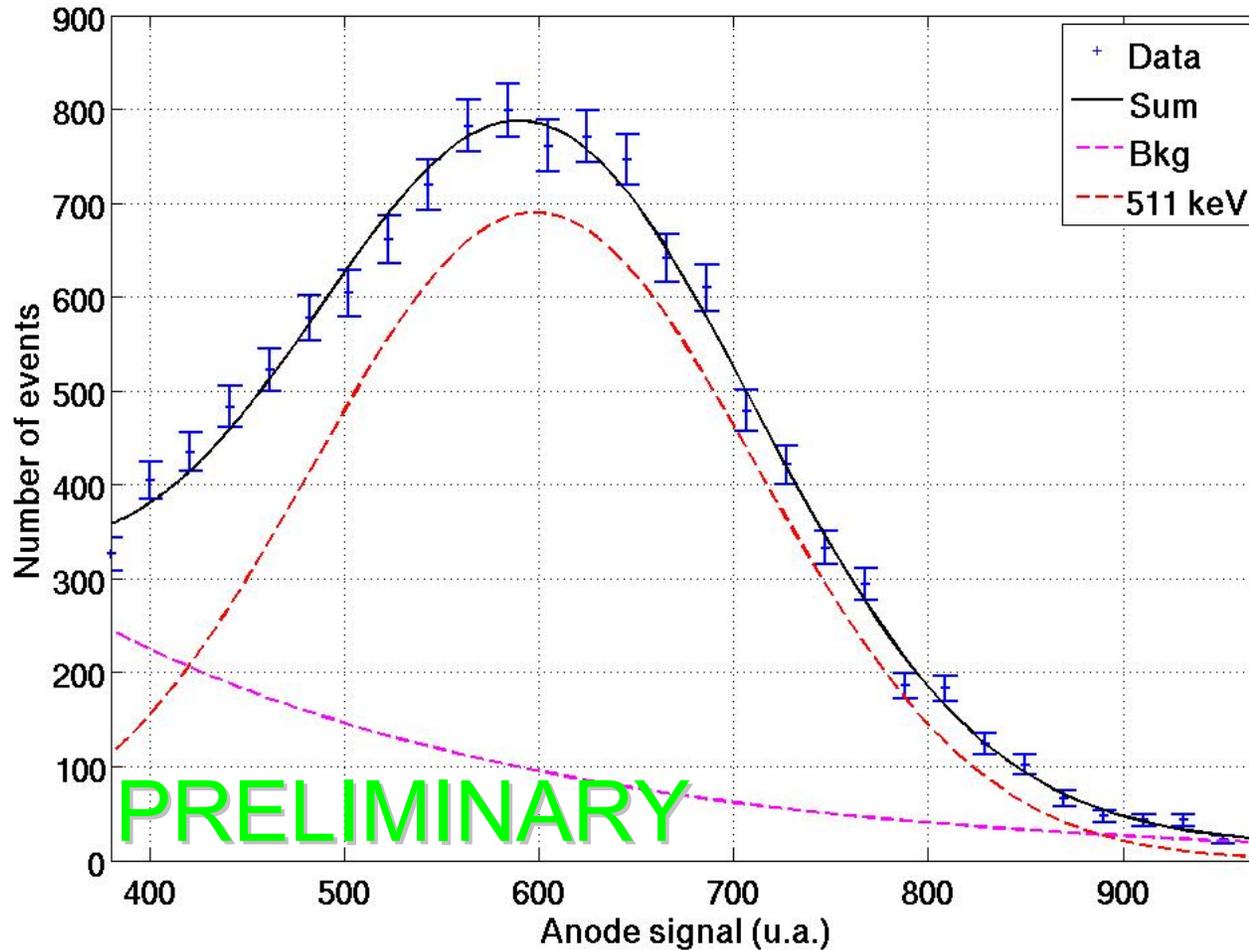
# Dispositif expérimental

Tests avec une source de  $^{22}\text{Na}$  ( $\beta^+$  : 0,545 keV,  $\gamma$  : 1,257 MeV)



Déclenchement de l'acquisition en coïncidence

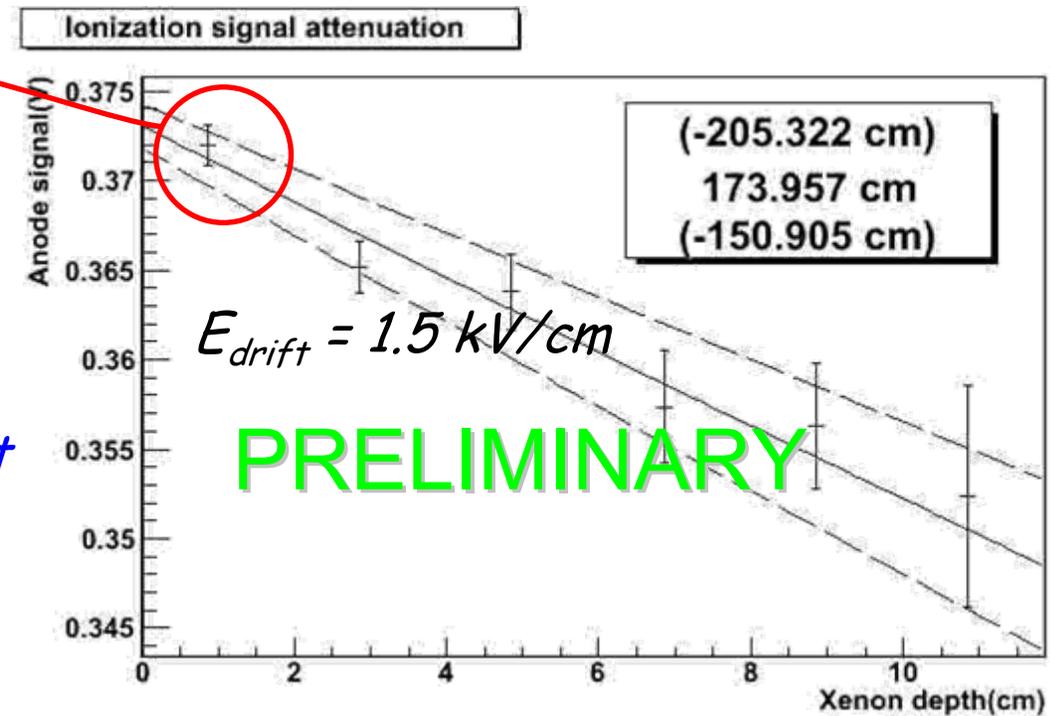
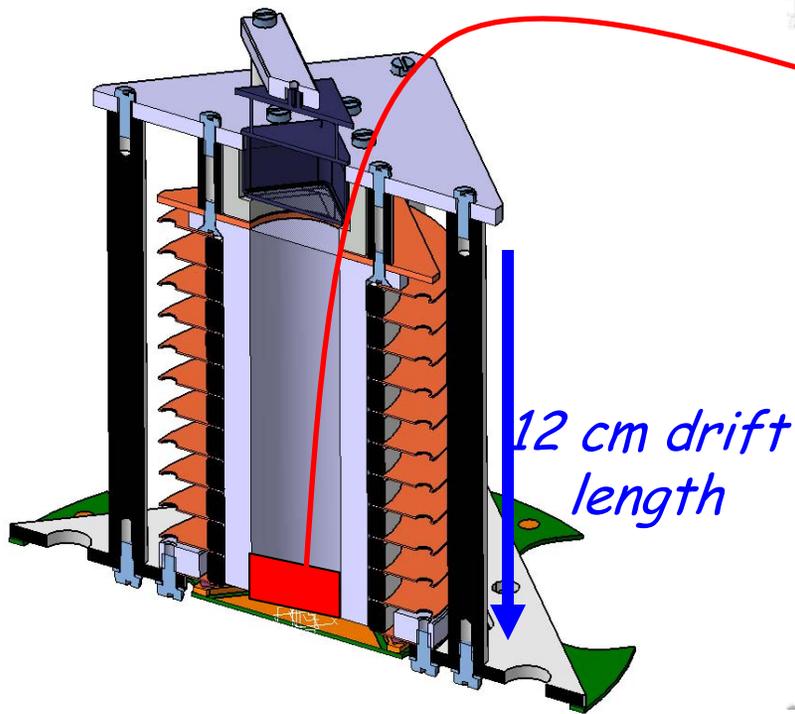
# Etude des signaux de charge photoélectrique @ 511 keV



Faible résolution en énergie due aux  $\gamma$  qui ont diffusés dans le collimateur et à un bruit électronique élevé ( $\sim 3000 e^-$ )

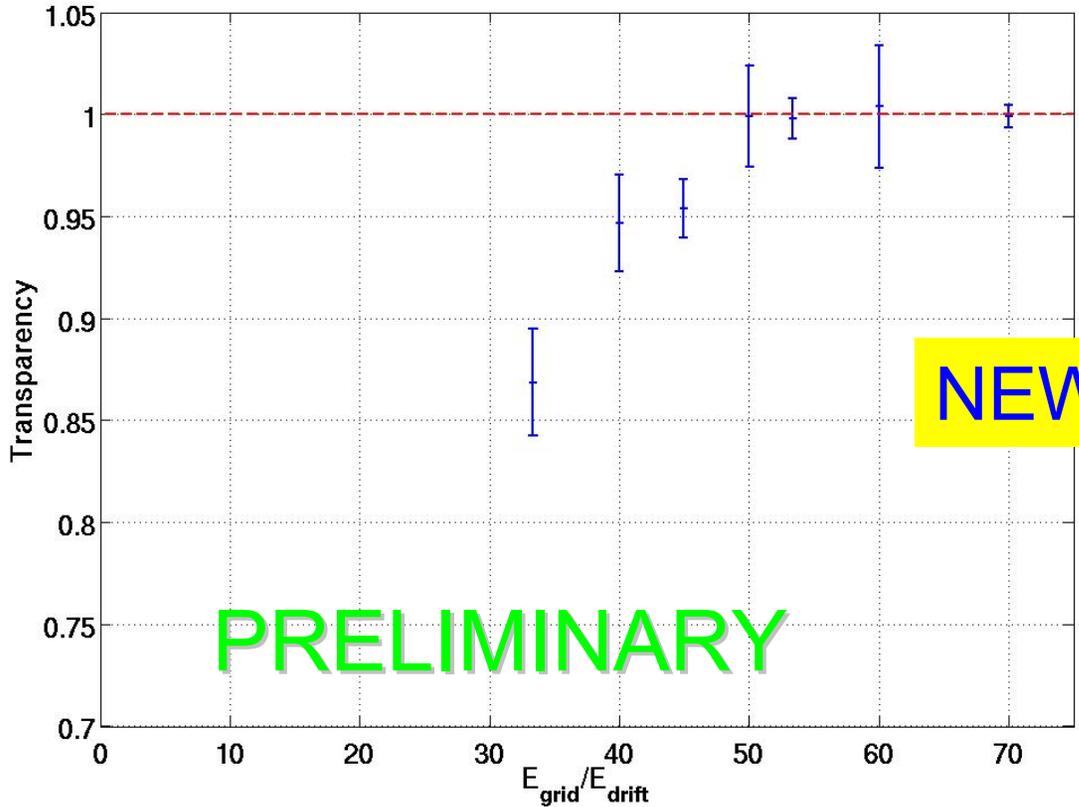
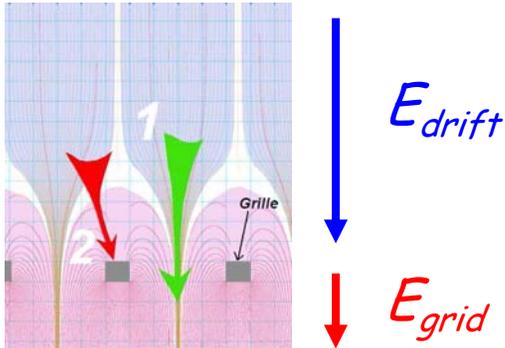
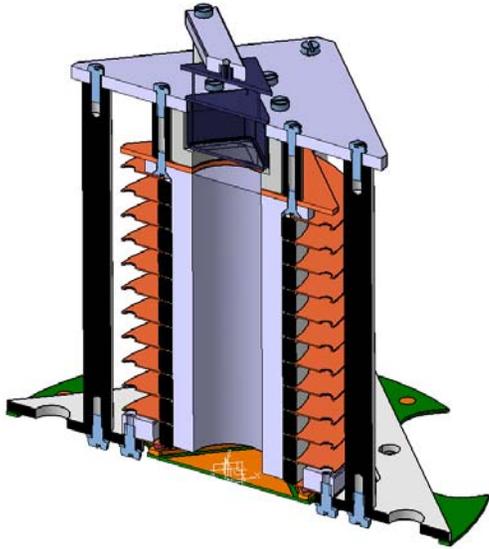
# Absorption des électrons

Atténuation due aux impuretés  $O_2$ ,  $H_2O$



⇒ Longueur de dérive des électrons > 1 m !

# Collection des charges par le MICROME GAS



⇒ Collection totale des charges pour un rapport de champs > 50

# Plan de la présentation

L'imagerie Médicale

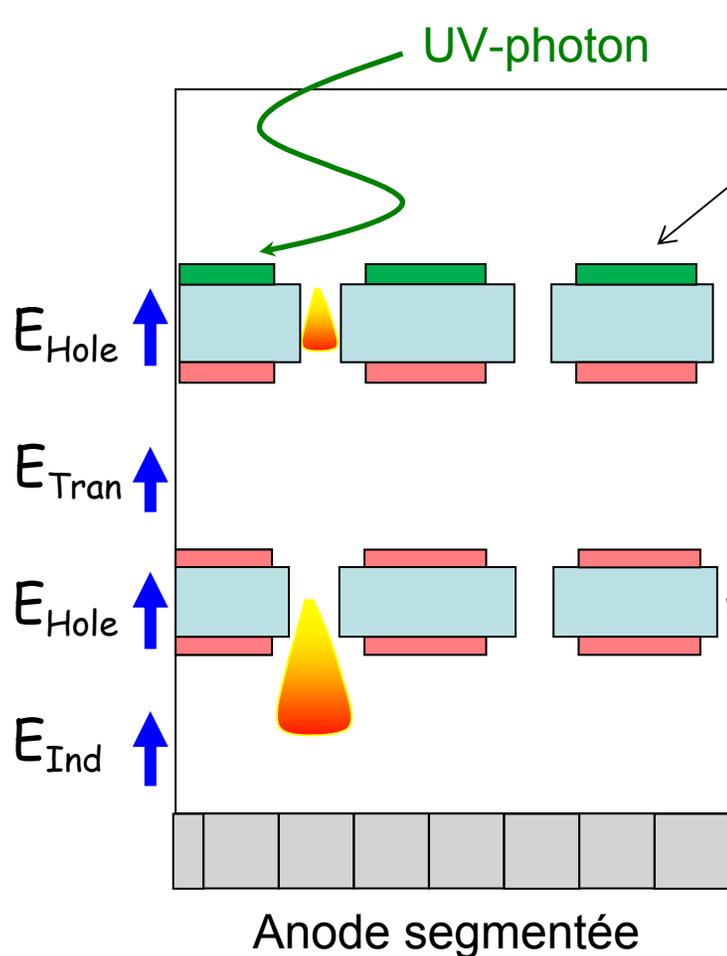
L'imagerie 3 photons

- ✓ XEMIS1 (Xenon Medical Imaging System)
- ✓ Résultats expérimentaux
- ✓ **La photo-détection avec un THGEM-GPM**

# THGEM-GPM

(Thick Gaseous Electron Multiplier-Gaseous PhotoMultiplier)

## 1. Effet photoélectrique



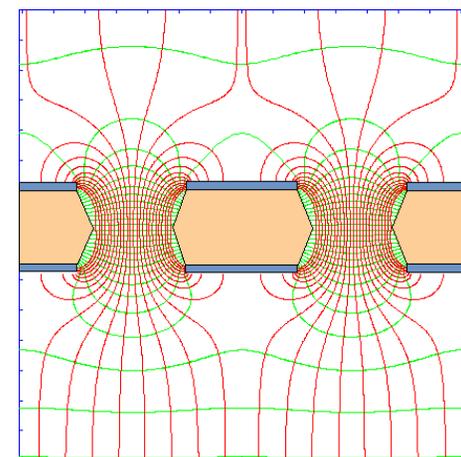
Photocathode réfléchive (CsI)

Deux Thick GEM sont placés dans un gaz ( $CH_4$ ,  $CF_4$ , Ne)

## 2. Transport des charges

## 3. Amplification du signal

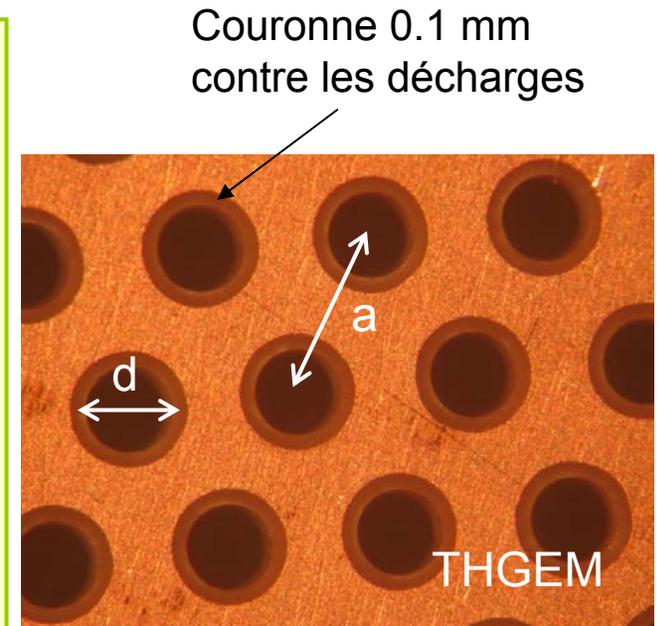
## 4. Signal induit sur l'anode



Lignes de champs

# Caractéristiques des THGEM

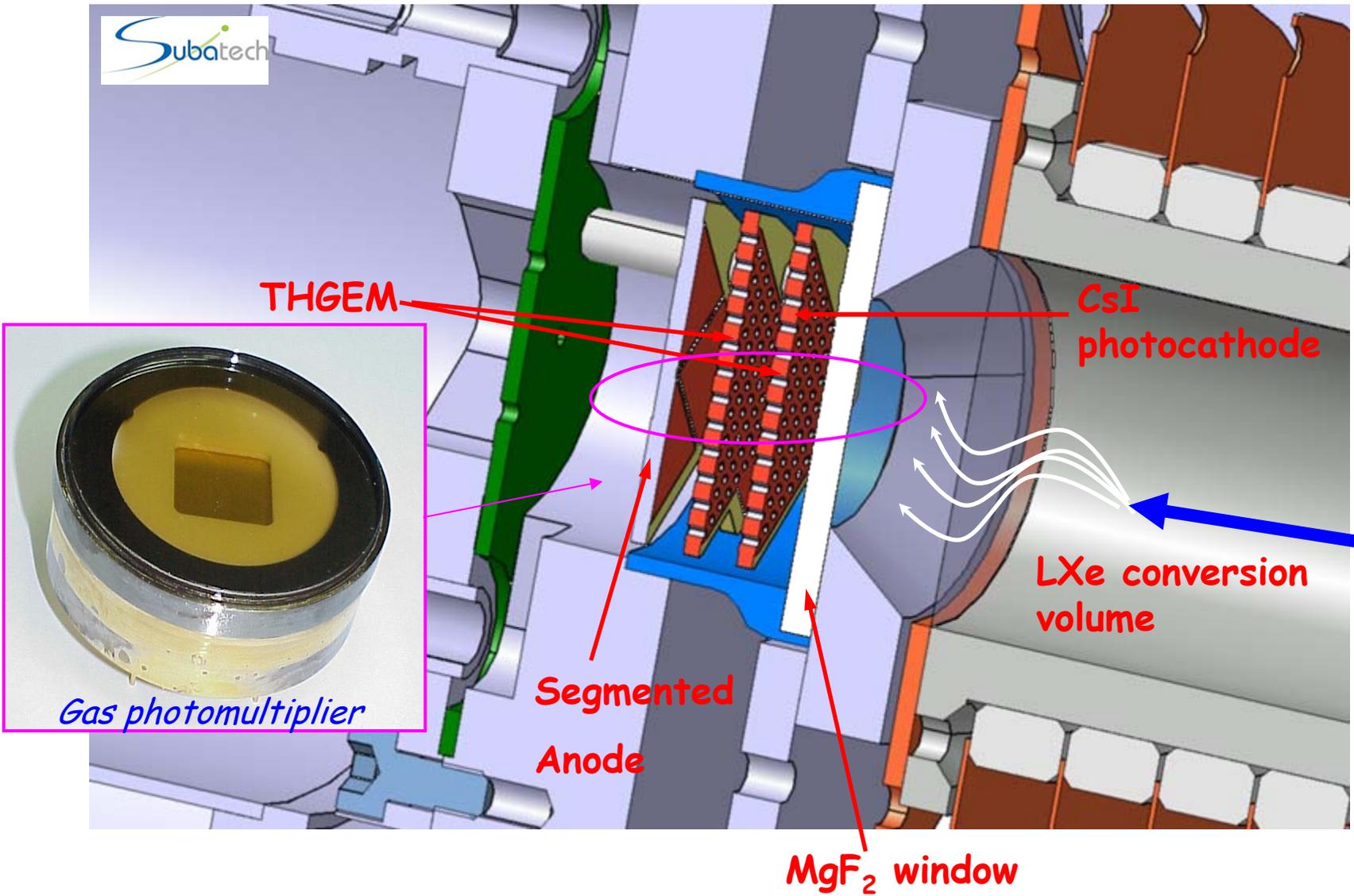
- ✓ **Usinage simple** : plaque d'époxy + circuit de cuivre (e = 0.4 - 3 mm)
- ✓ Trous millimétriques : **Bon transport des charges**
- ✓ Deux étages : Hauts gains (jusqu'à  $10^6$ )
- ✓ **EQ** du Csl à 178 nm :  $\sim 30\%$
- ✓ Résolution temporelle :  $\sim 10$  ns
- ✓ Résolution spatiale :  $< 1$  mm
- ✓ Fonctionnement **cryogénique** : LAr  
**Bondar et al., JINST (2008)**



**Breskin et al., NIM A 598(2009)**

Diamètre des trous  $d = 0.3 - 1$  mm  
Entre-axes  $a = 0.7 - 7$  mm

# THGEM-GPM pour XEMIS1



# Perspectives

Tests de **descente en froid** (fenêtre de  $\text{MgF}_2$ ) : OK

Mesures de gain avec du  $^{55}\text{Fe}$

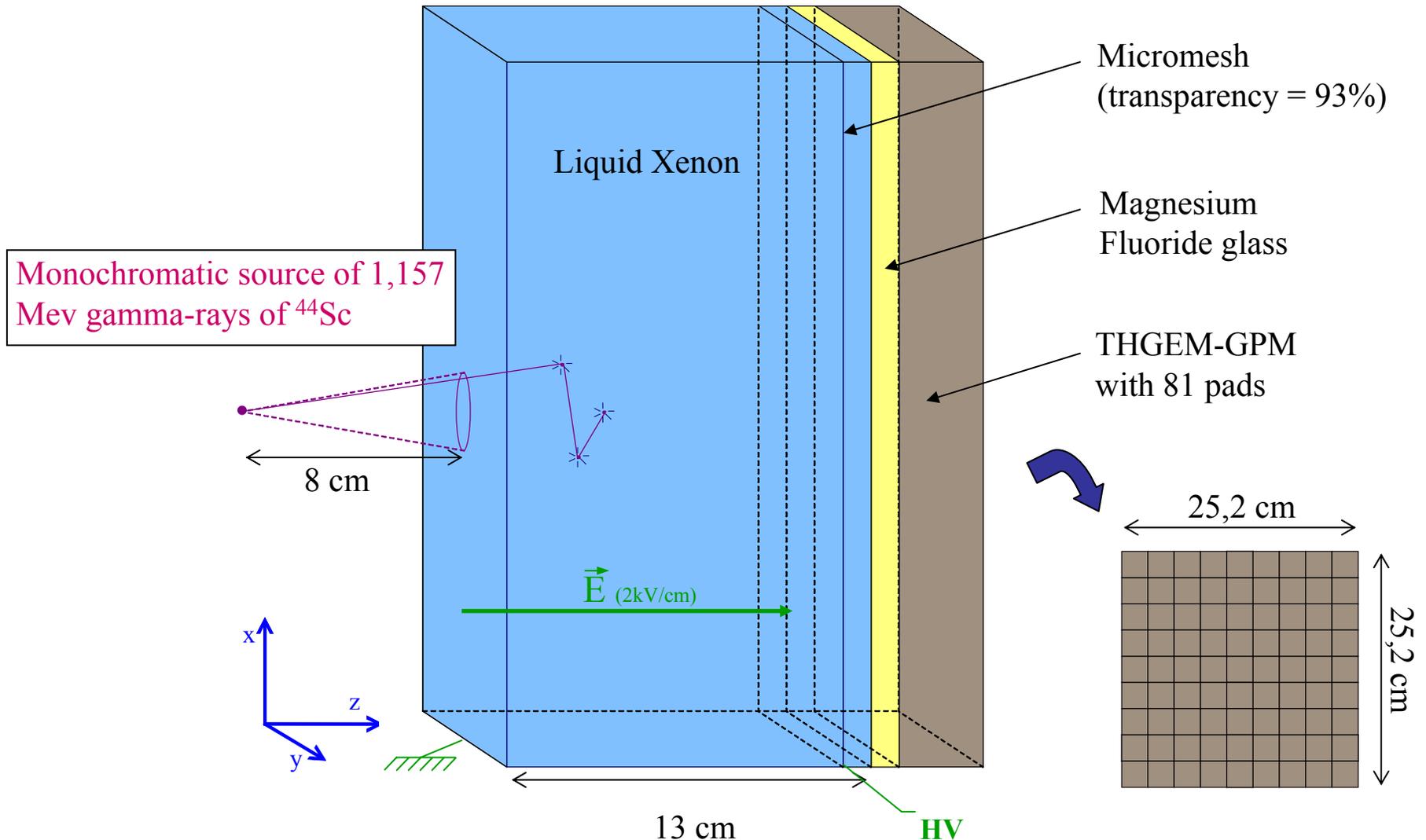
**Déposition** de la photocathode **de CsI** au WIS

Tests sur le prototype XEMIS1 :

- ✓ Fonctionnement dans le **froid**
- ✓ **Homogénéité du gain** sur toute la surface de l'anode du GPM
- ✓ **Choix du gaz adapté** ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CF}_4$ ) : rétro-diffusion + T

Prototype de plus grande taille : XEMIS2 pour micro-TEP

# La Scintillation dans XEMIS 2



Imagerie petit-animal à l'ENVN sur une micro-TEP prévus fin 2009

Merci