

La Simulation de la TPC avec GATE pour un télescope Compton au xénon liquide consacré à l'imagerie à 3γ



Plan

❑ L'imagerie 3γ avec le telescope Compton au xenon liquide

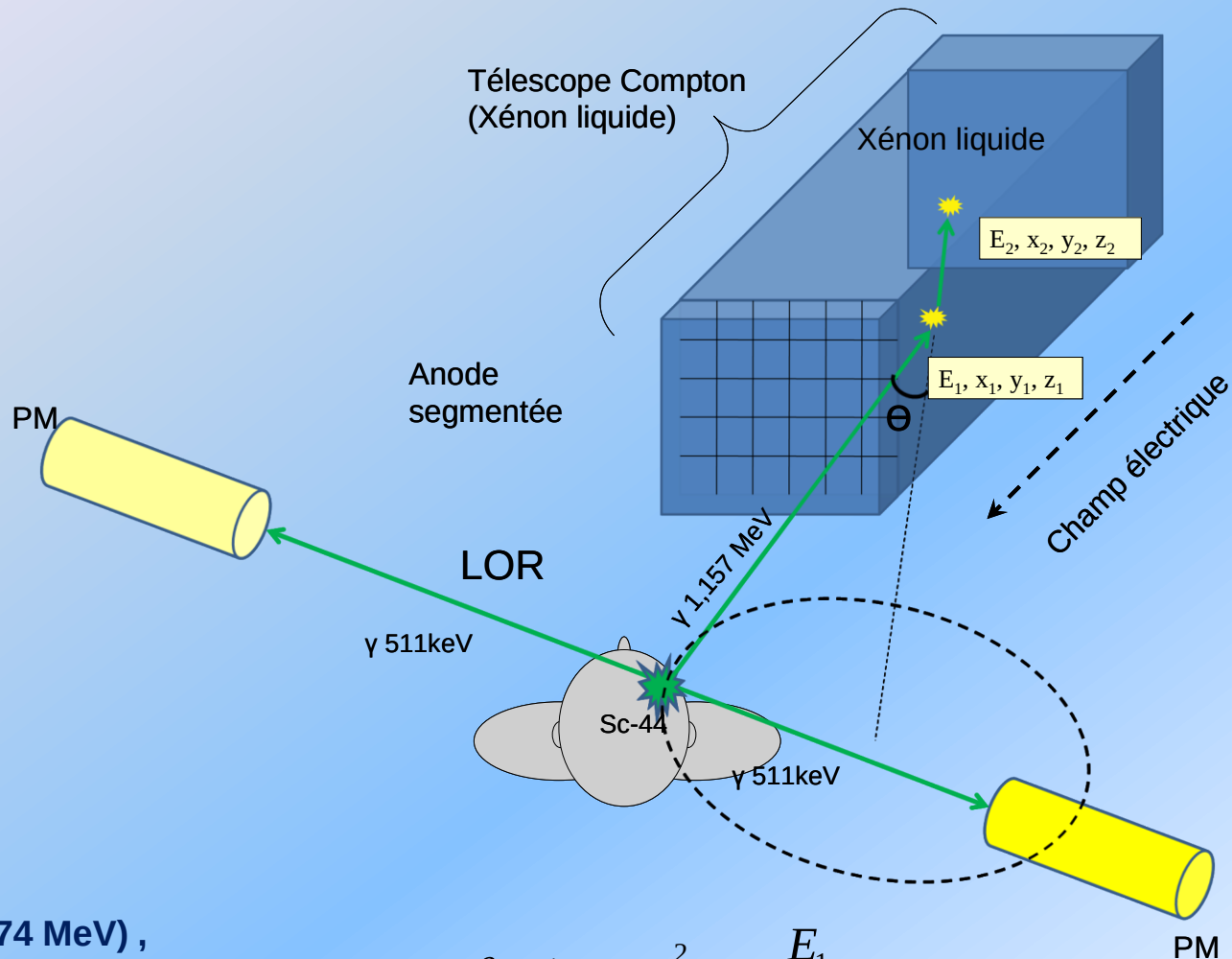
- Le principe de l'imagerie $\beta^+\gamma$
- Les propriétés physiques du LXe et du Sc44
- Le prototype XEMIS à SUBATECH

❑ La simulation avec GATE

- La source Sc44
- La géométrie
- Le signal de la scintillation
- Le signal de l'ionisation

❑ Première comparaison avec les données

Le principe de l'imagerie $\beta^+\gamma$



Sc44 :

$\beta^+(E_{\max} = 1.474 \text{ MeV})$,

$\gamma(E_0 = 1.157 \text{ MeV})$

$$\cos \theta = 1 - m_C^2 \frac{E_1}{E_0(E_0 - E_1)}$$

Les propriétés physiques du LXe et du Sc44

Le xénon liquide

Scitillation materials	NaI	BGO	LSO	GSO	LXe
Effective atomic number	50	73	65	58	54
Density (kg/l)	3.7	7.1	7.4	6.7	3.0
Relative light output (%)	100	15	45-7	20-40	25
Decay time (ns)	230	300	40	60	2.2
Ionisation Yield (per MeV)	/	/	/	/	~ 60000

For LXe, the relative output light and the ionization yield are for 2 kV/cm electrical field

Scintillation + ionisation
in LXe



La position en 3D des l'interactions du
gamma incident.

Les propriétés physiques du LXe et du Sc44

La source $\beta^+\gamma$: Scandium44

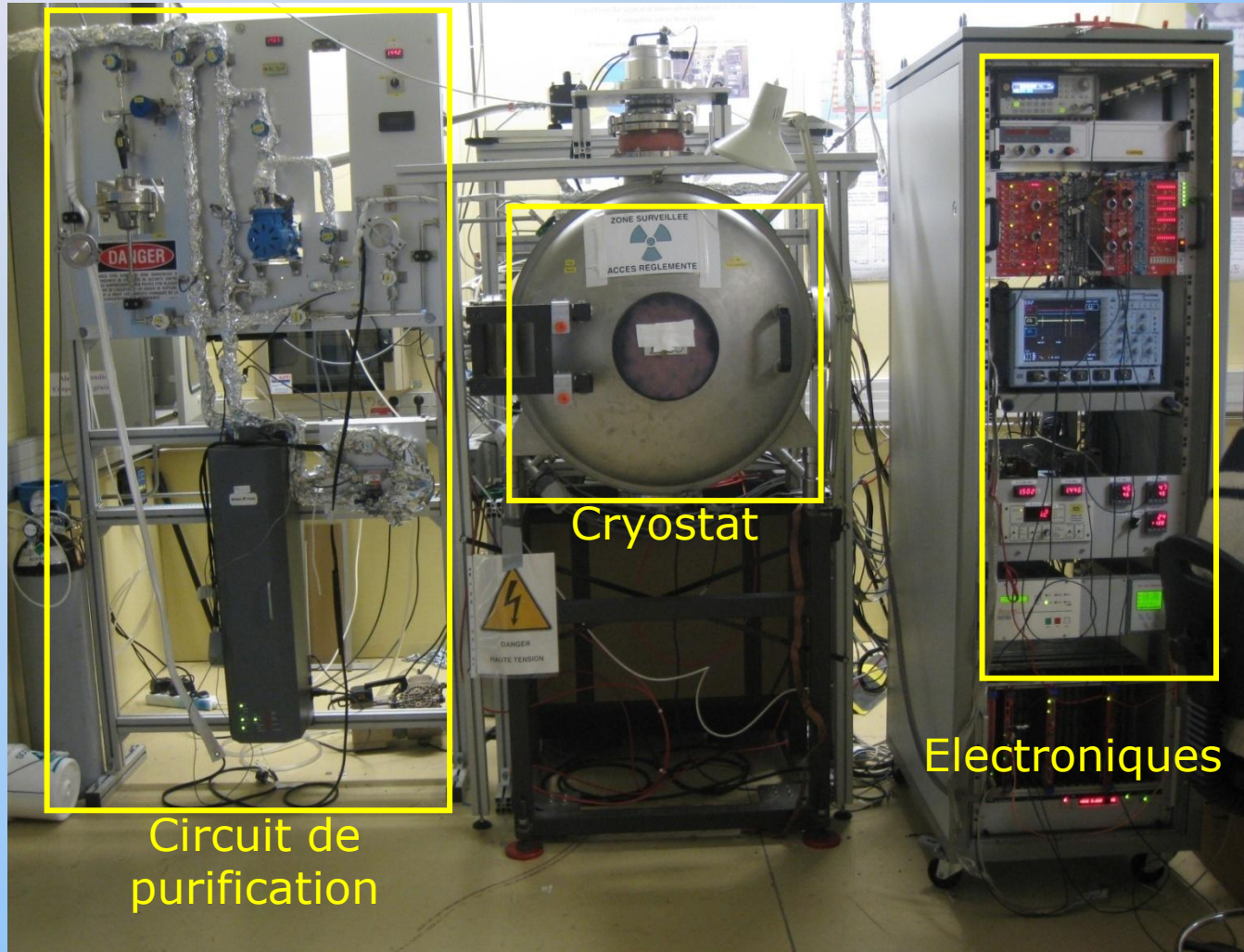
	^{44}Sc	$^{44\text{m}}\text{Sc}$
$T_{1/2}$	3.97 h	2.44 days
End point E_β (MeV)	1.4743 : 94.27 %	-
γ -ray Energy (MeV)	1.157 : 99.9 % $\tau = 2.6$ ps	0.270 : 100%
Production reaction	$^{44}\text{Ca}(p,n)$	$^{44}\text{Ca}(p,n)$

Produit par:

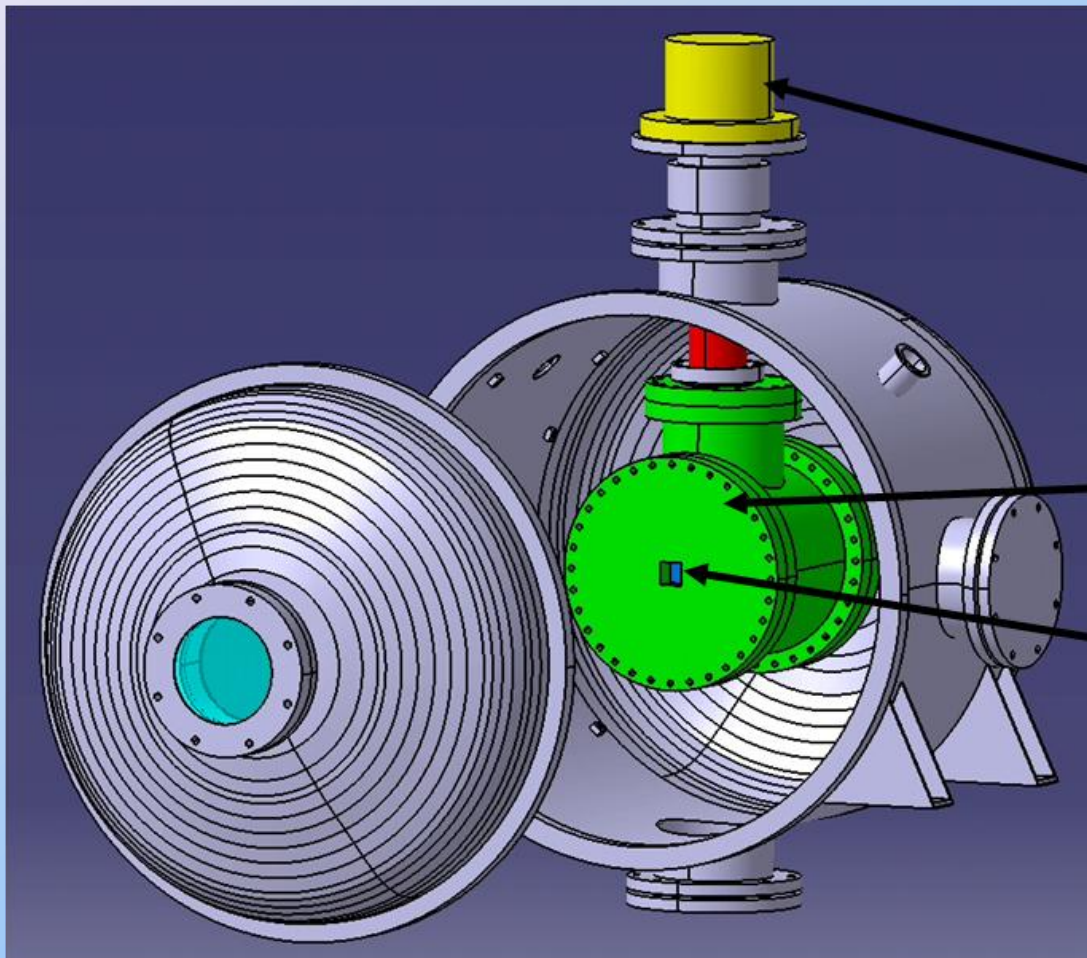


« Accelerator for Research in Radiochemistry and
Oncology at Nantes Atlantic »

Le prototype XEMIS(XEnon Medical Imaging System) à SUBATECH



Le prototype XEMIS(XEnon Medical Imaging System) à SUBATECH

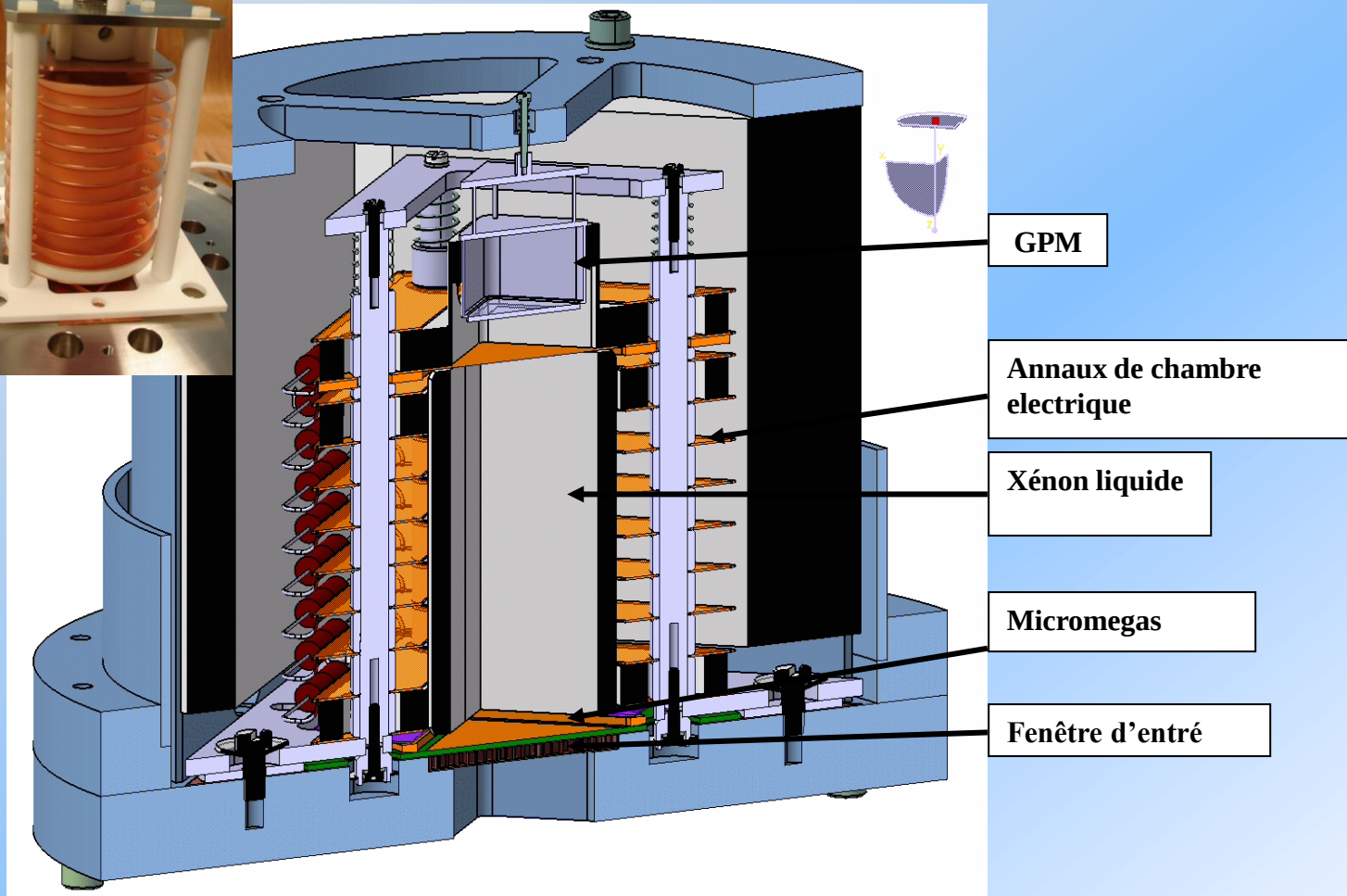
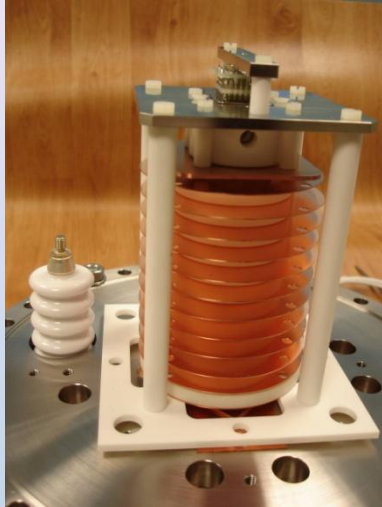


Pulse tube refrigerator

Cryostat interne

Fenêtre d'entrée

Le prototype XEMIS(XEnon Medical Imaging System) à SUBATECH



La simulation avec GATE

Qu'est-ce que GATE?

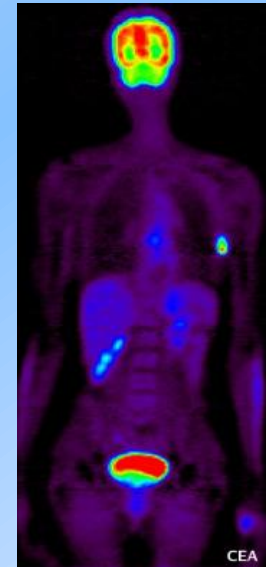


<http://www.opengatecollaboration.org/>

GATE

Geant4 Application for Emission Tomography

- Monte Carlo dédié pour l'imagerie SPECT et PET
- Maintenant inclue la thérapie hadronique (THIS)
- Programmation simple avec des macros, pas besoin du C++.



Exemple
d'examen TEP
simulé avec
GATE

L'Architecture de la simulation

1- La construction de la géométrie de la caméra, du fantôme et l'ajout des matériaux

2- mettre en place les processus physiques: électromagnétique(photoélectrique, Compton, ...) hadronique(elastic scattering, inelastic scattering, neutrons, ...)

3- Initialisation de la simulation

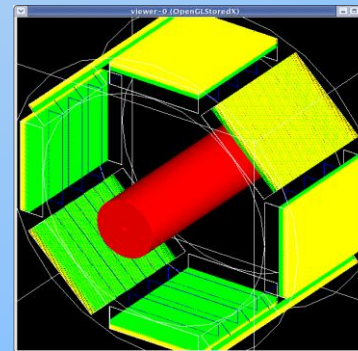
4- mettre en place le modèle du détecteur: pile up, dead time, ...

5- mettre en place les sources: gammas, électrons, ions ...

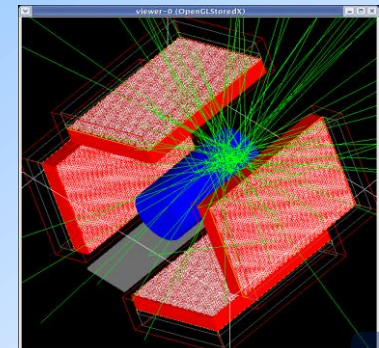
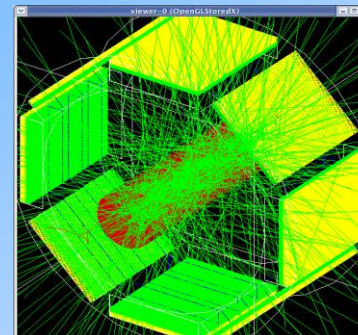
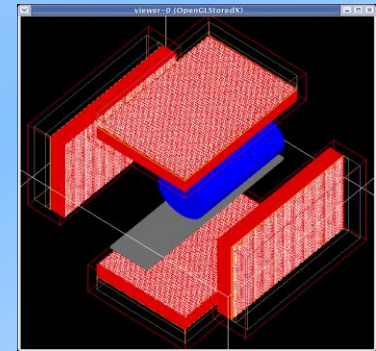
6- spécifier le format de sortie de données: ROOT, ASCII, ...

7- Lancement de l'acquisition

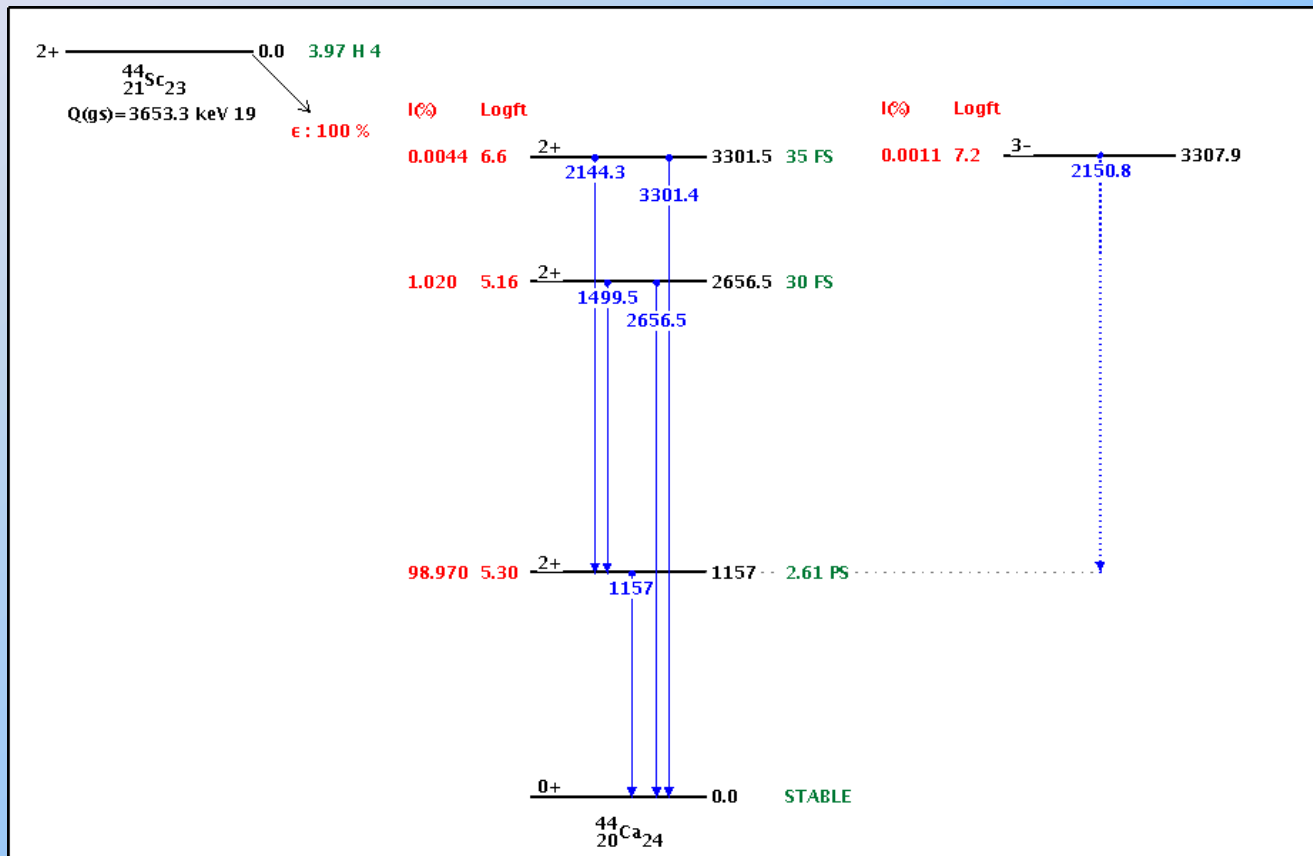
Système PET



Système SPECT



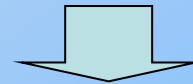
Simuler la source: Scandium 44



<http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/>

Simuler la source: Scandium 44

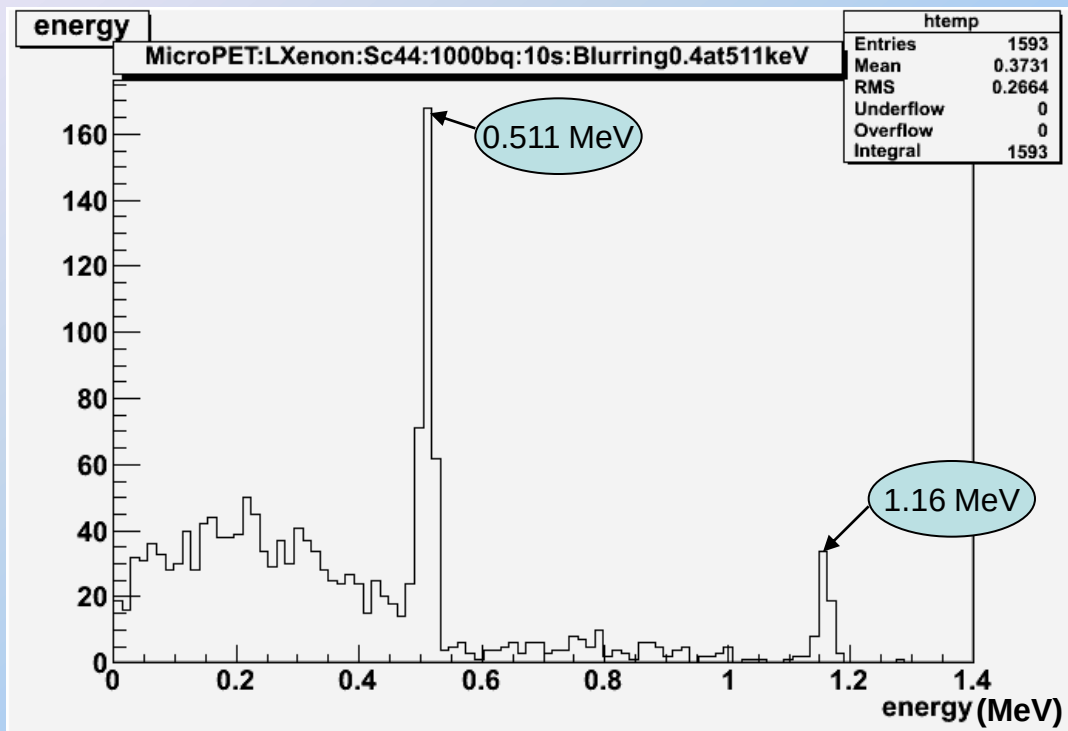
```
#          S O U R C E
/gate/source/addSource Sc44
/gate/source/Sc44/setActivity 100 becquerel
/gate/source/Sc44/gps/particle ion
/gate/source/Sc44/gps/ion 21 44 0 0
/gate/source/Sc44/gps/monoenergy 0. keV
/gate/source/Sc44/setForcedUnstableFlag true
/gate/source/Sc44/setForcedHalfLife 2.1100e+05 s
```



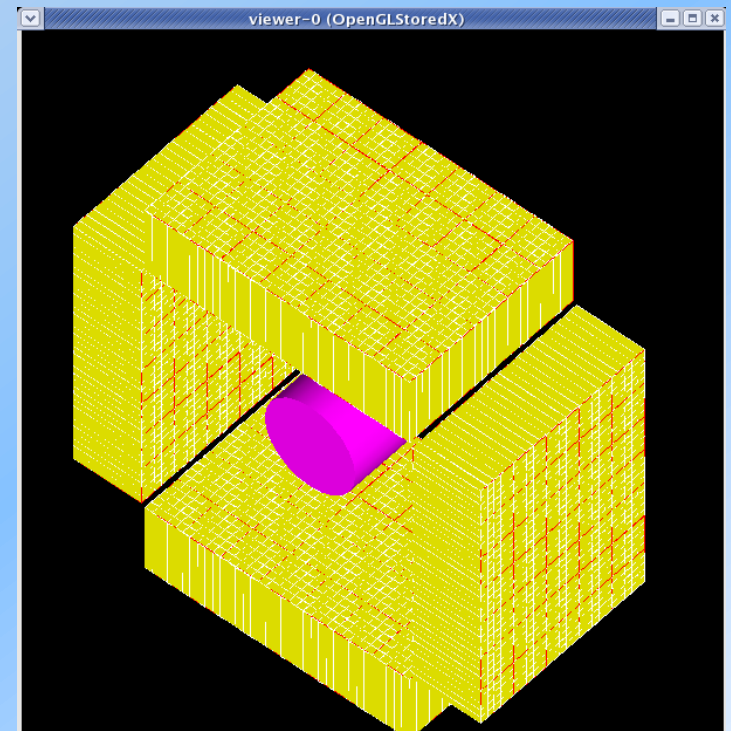
```
*****
[G4] * G4Track Information:  Particle = Sc44[0.0],  Track ID = 1,  Parent ID = 0
[G4]
*****
[G4]
[G4] Step#      X(mm)      Y(mm)      Z(mm) KinE(MeV)  dE(MeV) StepLeng TrackLeng  NextVolume ProcName
[G4]    0   -0.0715   -0.0924    30.7         0         0         0         0    rat_phys initStep
[G4]    1   -0.0715   -0.0924    30.7         0         0         0         0    rat_phys RadioactiveDecay
[G4]  :----- List of 2ndaries - #SpawnInStep=  4(Rest= 4,Along= 0,Post= 0), #SpawnTotal=  4
-----
[G4]   :   -0.0715   -0.0924    30.7   3.33e-05      Ca44[0.0]
[G4]   :   -0.0715   -0.0924    30.7       1.16         gamma
[G4]   :   -0.0715   -0.0924    30.7       0.928         nu_e
[G4]   :   -0.0715   -0.0924    30.7       0.546         e+
[G4]  :----- EndOf2ndaries Info
```

Simuler la source: Scandium 44

le test de la simulation



Energie déposée dans les cristaux

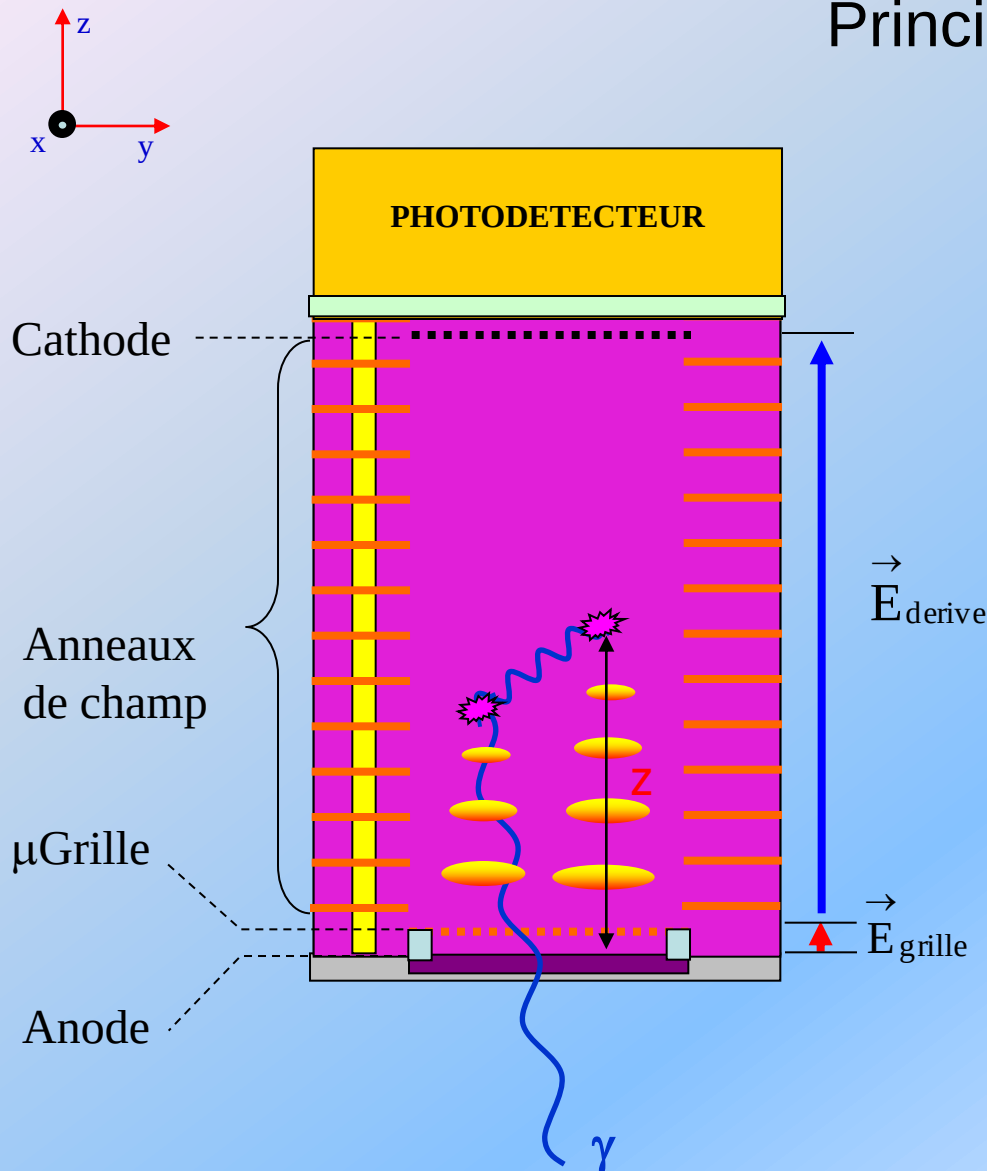


MicroPET Camera

4 rsectors of 9×35×25 cm

La TPC (Time Projection Chamber)

Principe



Scintillation
 t_0

+

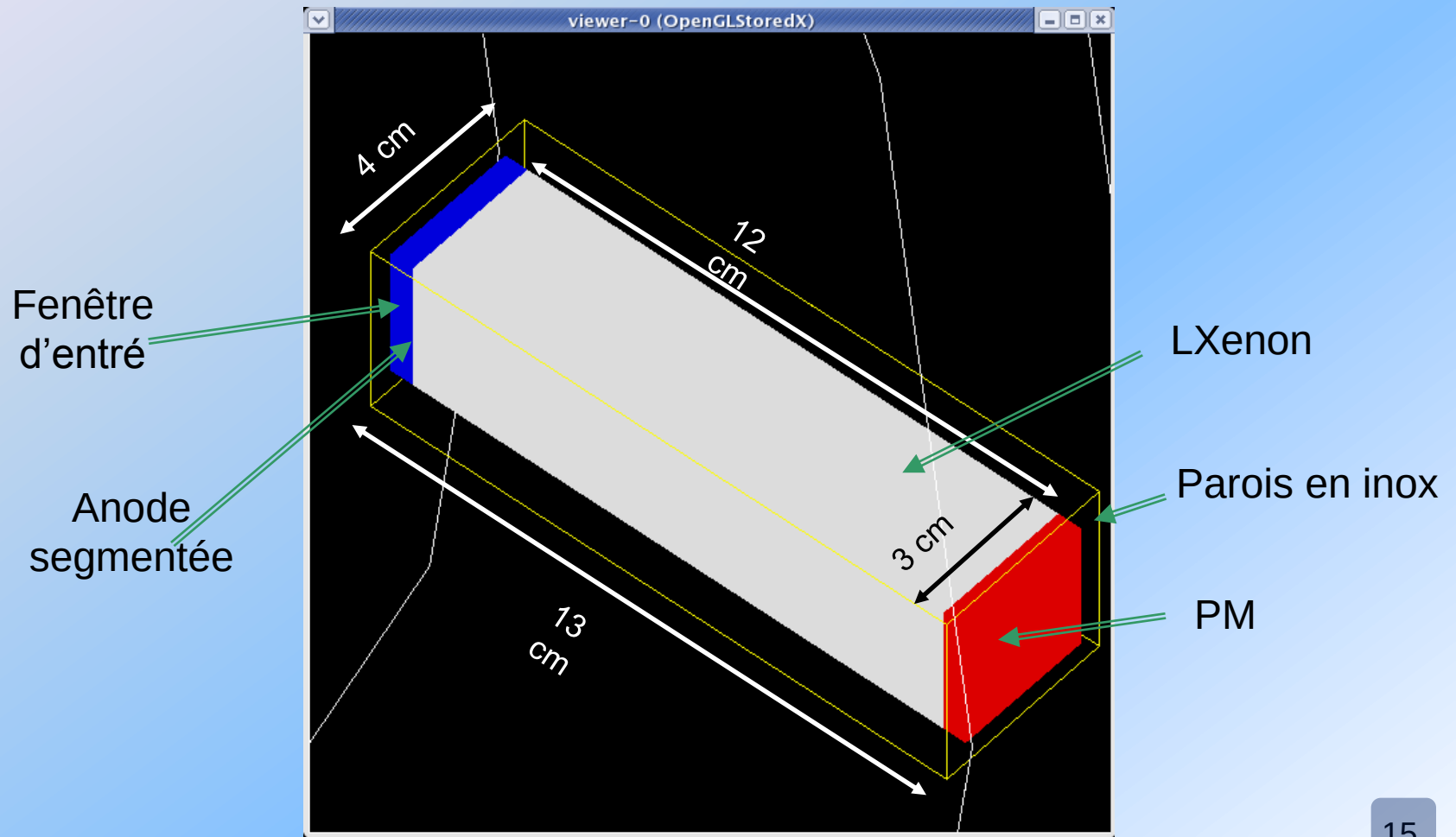
Energie + (x, y) + t_1



$$Z = v_{\text{dérive}} \cdot (t_1 - t_0)$$

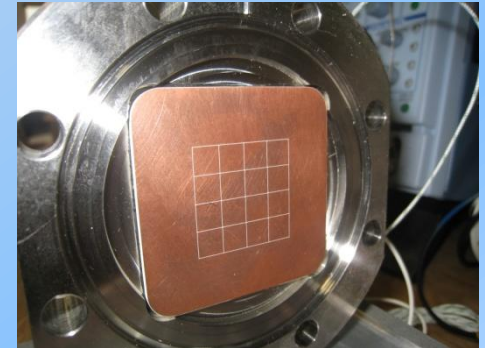
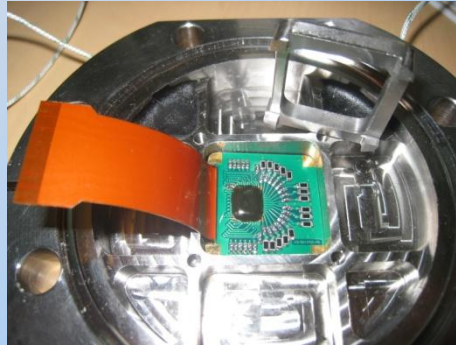
Mesures : Energie + Position

La géométrie de la TPC dans GATE



La géométrie de la TPC

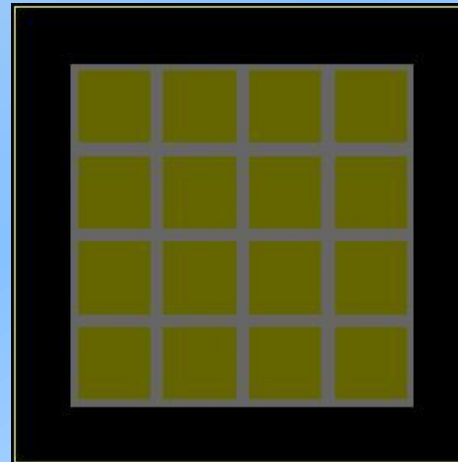
L'anode segmentée



IDEFX électronique bas
bruit ~ 200 e⁻ @ -100 °C

Pad de l'anode:

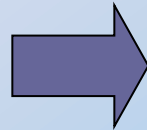
- Sensitive detector daughter
- Le nom est « Anode »
- Carré ou rectangle(box)
- Longueur la plus petite est perpendiculaire sur le plan de l'anode



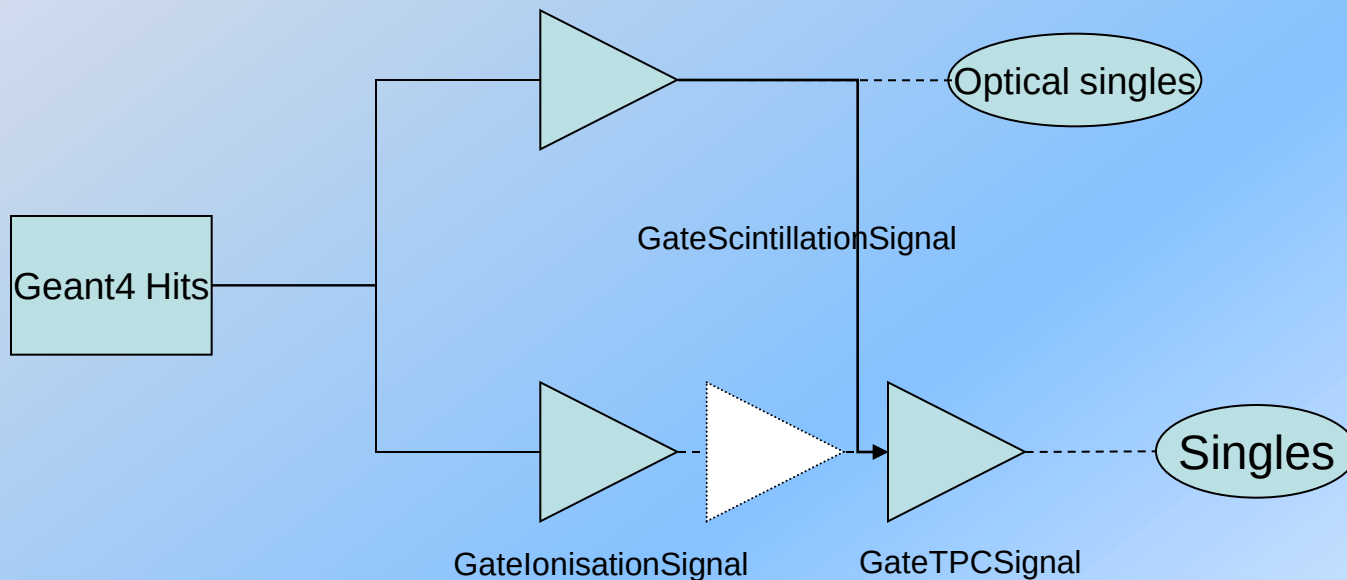
16 pixel 6.35×6.35 mm²

Nos Modules du Digitizer

En ajoutant
des Classes
C++ à GATE



1. GateScintillationSignal
2. GateIonisationSignal
3. GateTPCSignal



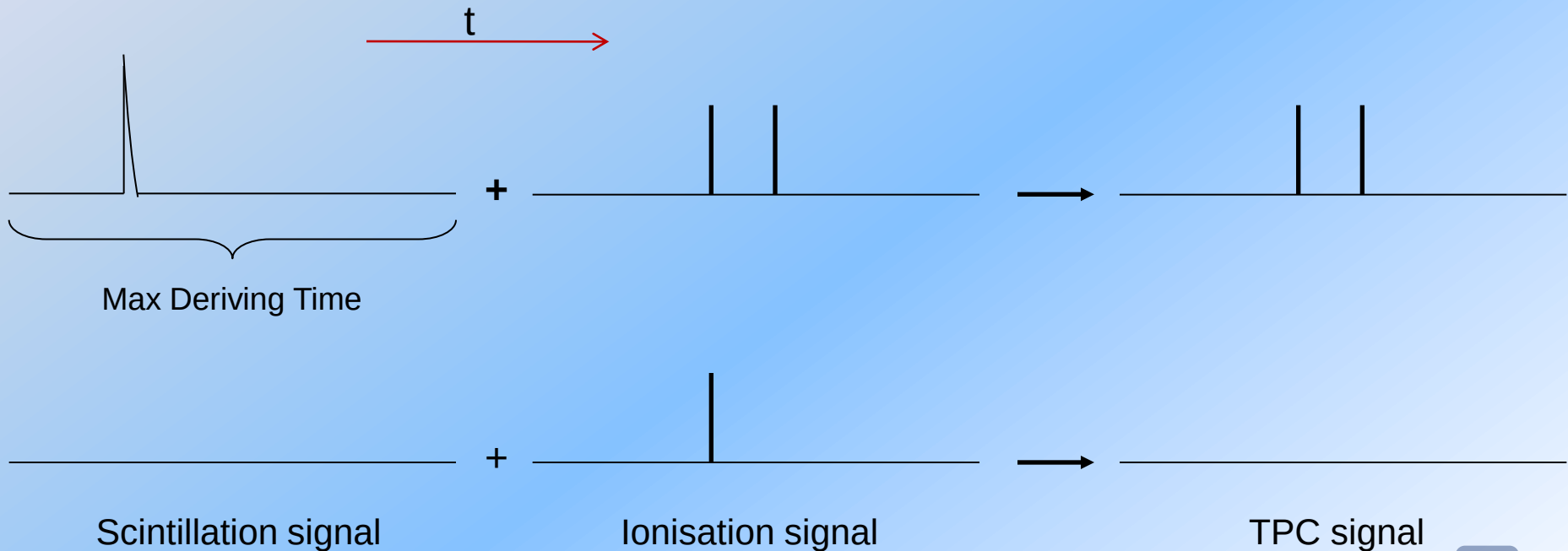
- Deux chaînes en parallèle
- Dans la première chaîne:
GateScintillationSignal
- Dans la deuxième:
GateIonisationSignal
puis GateTPCSignal
- Il est possible
d'utiliser d'autres
modules mais en
gardant cet ordre

Le Signal de la TPC

Comparaison de temps entre les signaux de la scintillation et les signaux de l'ionisation.

Paramètre:

• **setMaxDerivingTime** *mus*



Le Signal de La Scintillation

Propriétés optiques

Paramètre de l'utilisateur:

- **SCINTILLATIONYIELD**: nombres of photons générés par unité d'énergie.
- **RESOLUTIONSCALE**: résolution intrinsèque
- **FASTTIMECONSTANT**: temps de composant rapide pour les photons de l'énergie E .
- **SLOWTIMECONSTANT**: temps de composant lent pour les photons de l'énergie E .
- **YIELDRATIO**: fraction du composant rapide par rapport l'émission totale.
- **ABSLLENGTH**: la longueur de l'absorption.
- **RAYLEIGH**: coefficient d'atténuation de la diffusion de Rayleigh.
- **RINDEX**: indice de réfraction.

Le Signal de La Scintillation

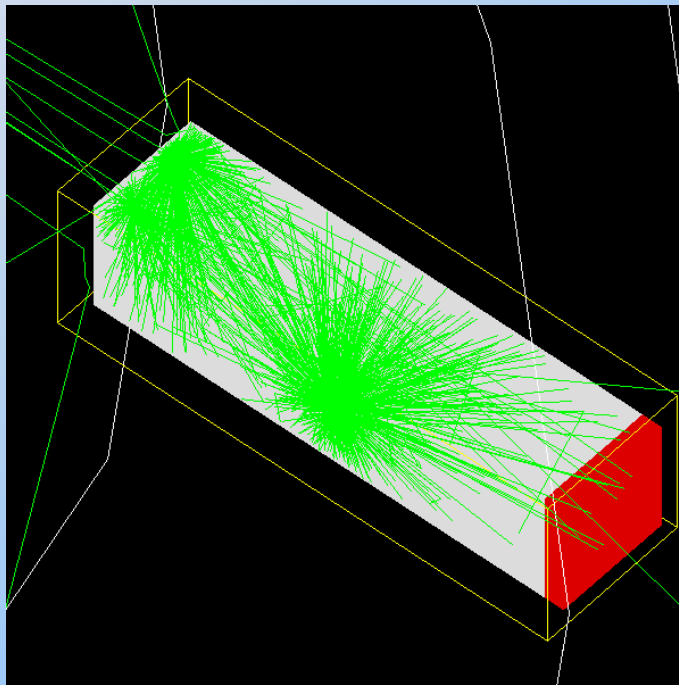
Les surfaces

LXe-PM: type de surface "dielectric_metal".

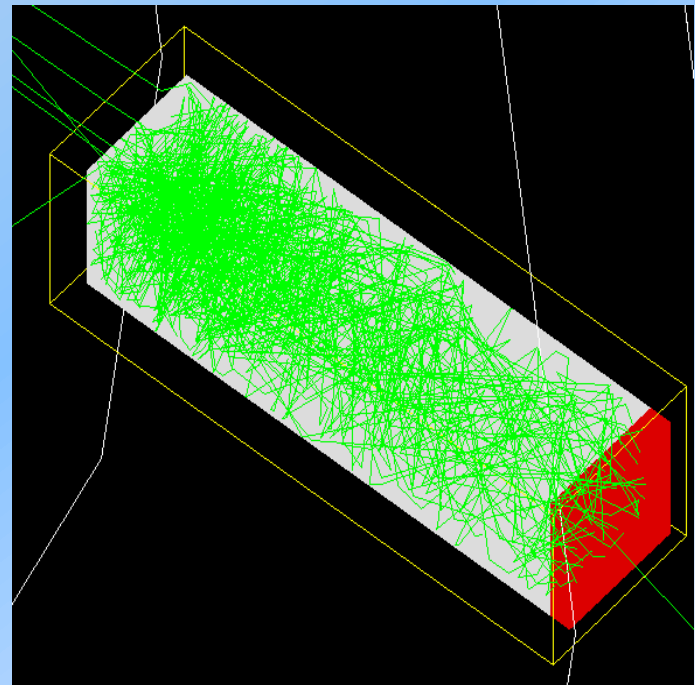
LXe-parois: pas de surface.

LXe-PM: type de surface "dielectric_metal".

LXe-parois: type de surface "dielectric_dielectric".

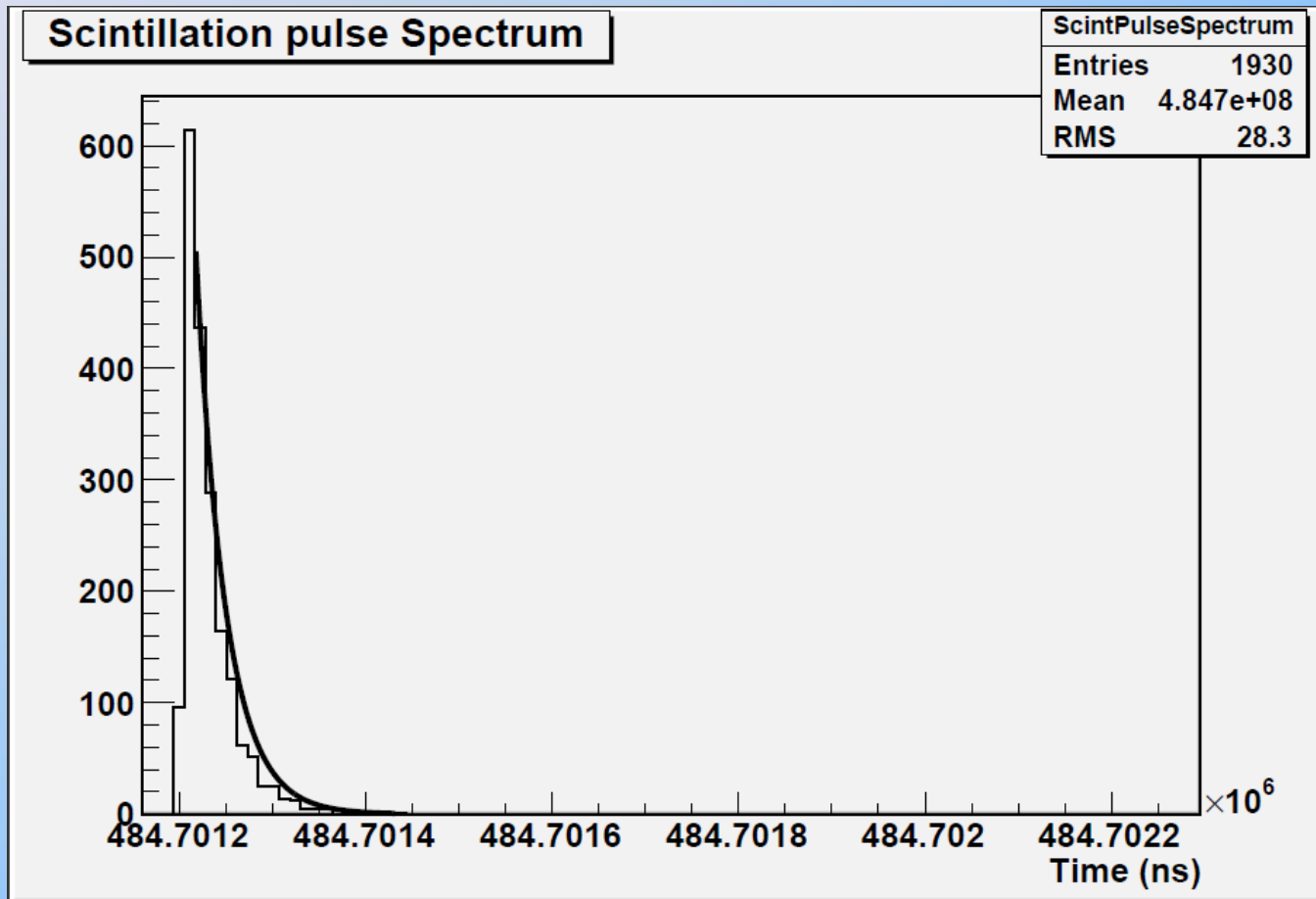


Sans réflexion



Avec réflexion

Le Signal de La Scintillation



Le Signal de l'Ionisation

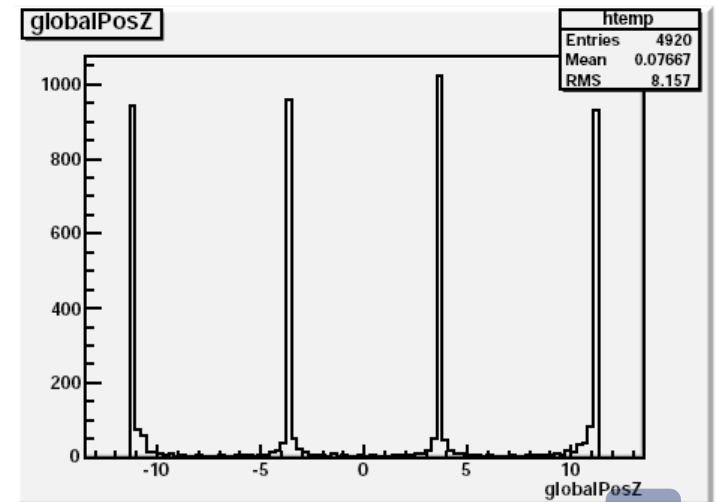
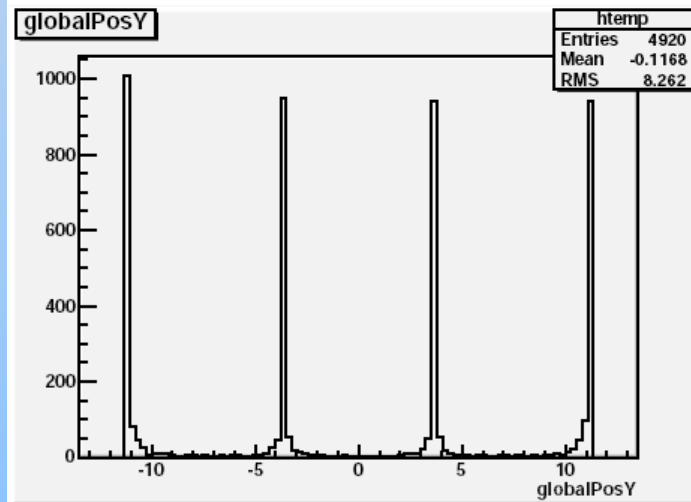
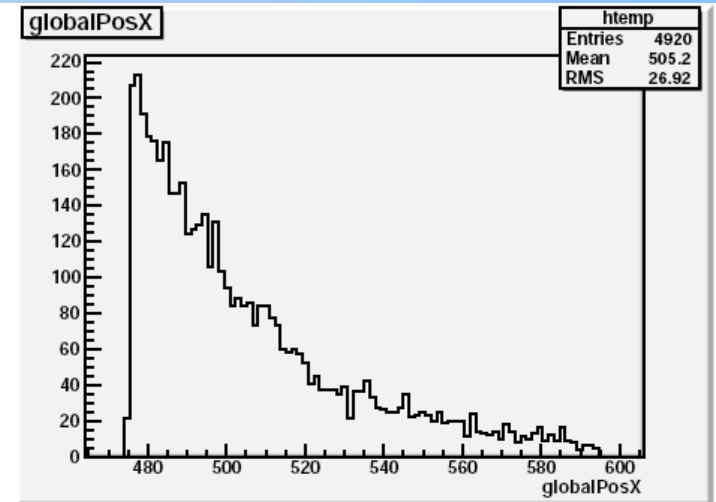
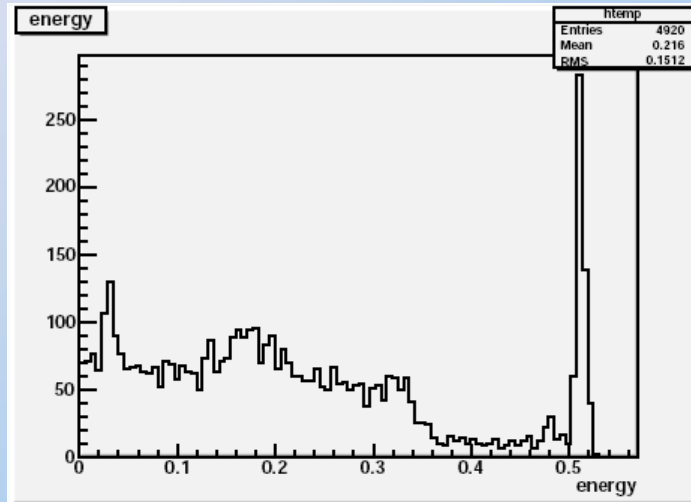
Les étapes du fonctionnement

1. Formation de clusters.
2. Formation de nuages électroniques, en appliquant la diffusion transverse et longitudinale, et les transporter à l'anode.
3. Collections des charges sur l'anode segmentée.
4. Analyse des données simulées afin de définir l'énergie et la positions des interactions.

Le Signal de l'Ionisation

les résultats préliminaires

- Gamma de 511 keV
- TPC de:
12 cm/3 cm/3cm
- Anode segmentée en
16 (7.5 mm/7.5 mm)
pads
- bruit de 200 électrons
par pad.
- Seuil de 300 électrons.

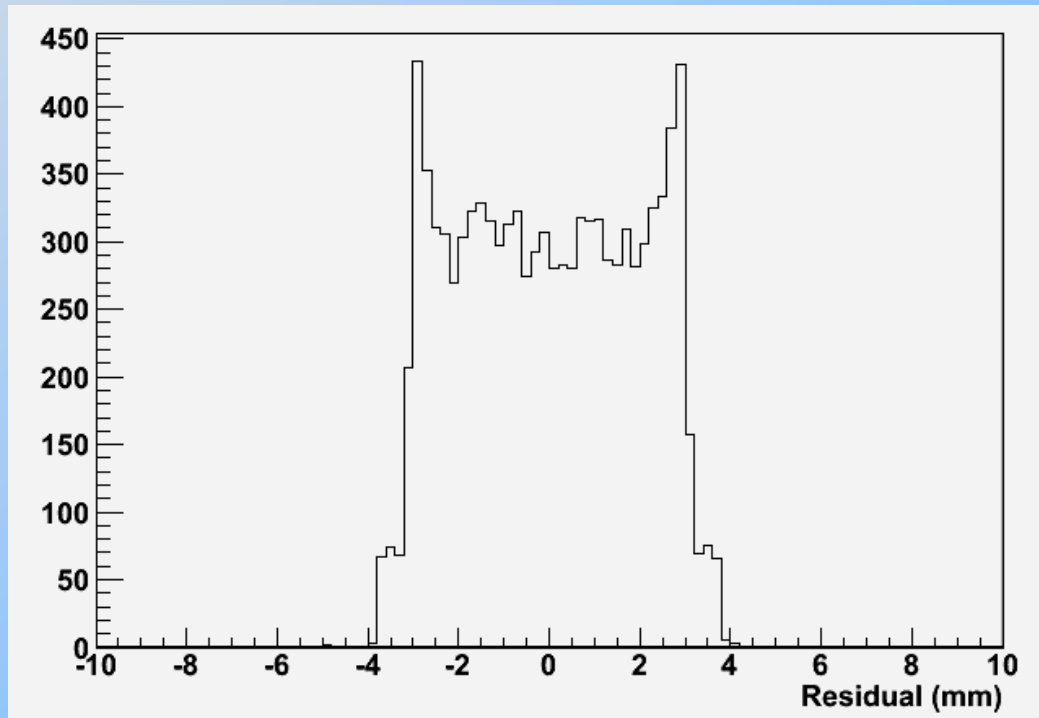


Le Signal de l'Ionisation

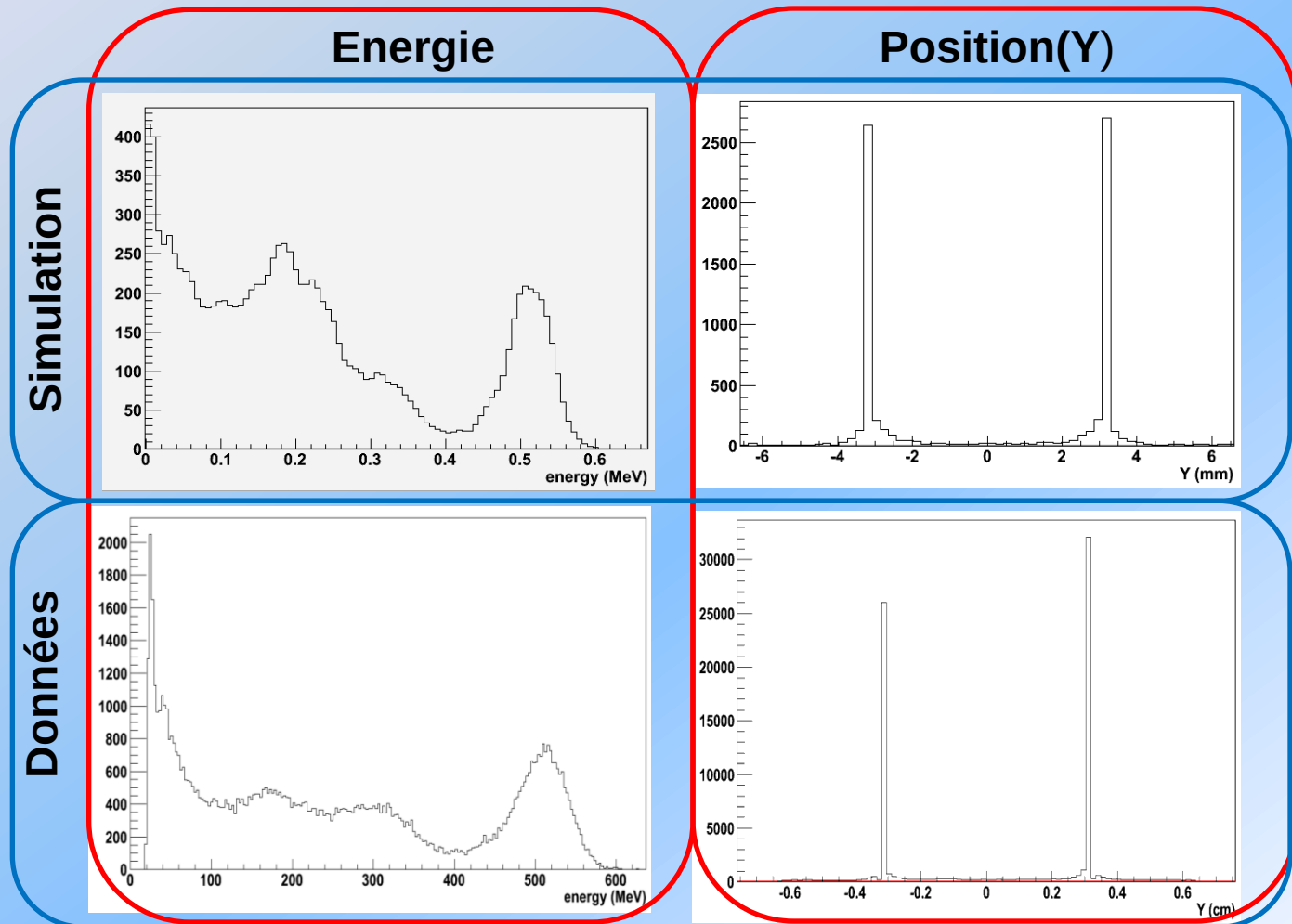
Le résidu

(l'erreur en calculant la position transverse)

16 (6.35×6.35 mm²) pads



Première comparaison avec les données



Perspectives

- Comparaison précise de la simulation avec les données (pour comprendre le détecteur et améliorer la simulation).
- Simuler le télescope Compton pour l'imagerie 3gammas pour le petit animal.
- En ajoutant une nouvelle fonctionnalité à GATE .

Merci