

STAGE JANUS 2010



Etude de la TEP pour le contrôle en ligne des traitements d'hadronthérapie avec GATE

Clémentine SEFFAR

L3 Physique et Ingénieries – Physique Fondamentale

Equipe AVIRM

Encadrement de stage: Nicoleta PAUNA
Accompagnement: Loïc LESTAND, Baptiste JOLY et Djamel DABLI

But de ce stage:

Comprendre ce qu'est l'hadronthérapie et comment on peut contrôler ce traitement par la technique d'imagerie TEP

À travers les simulations réalisées,
prendre en compte l'influence des différents paramètres de simulation TEP pour arriver à une meilleure efficacité de reconstruction d'images

Plan

3

- I. Quelques mots sur l'hadronthérapie
- II. La TEP en ligne pour le contrôle du traitement
- III. Simulations GATE
- IV. Résultats
- V. Conclusion & perspectives

I. Quelques mots sur l'hadronthérapie

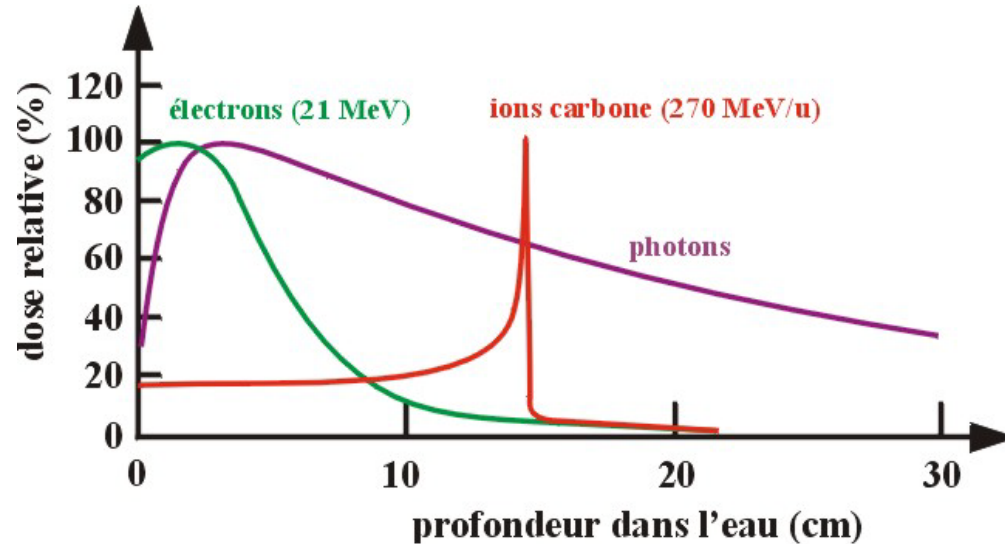
4

- Hadronthérapie : traitement par **faisceaux d'ions** (p et ^{12}C essentiellement) des **cancers** radiorésistants et/ou à proximité d'Organes A Risques (OAR)
- Les deux avantages principaux de l'hadronthérapie par rapport à la radiothérapie conventionnelle :
 - **Grande précision balistique**
 - **Effet biologique**

I. Quelques mots sur l'hadronthérapie

5

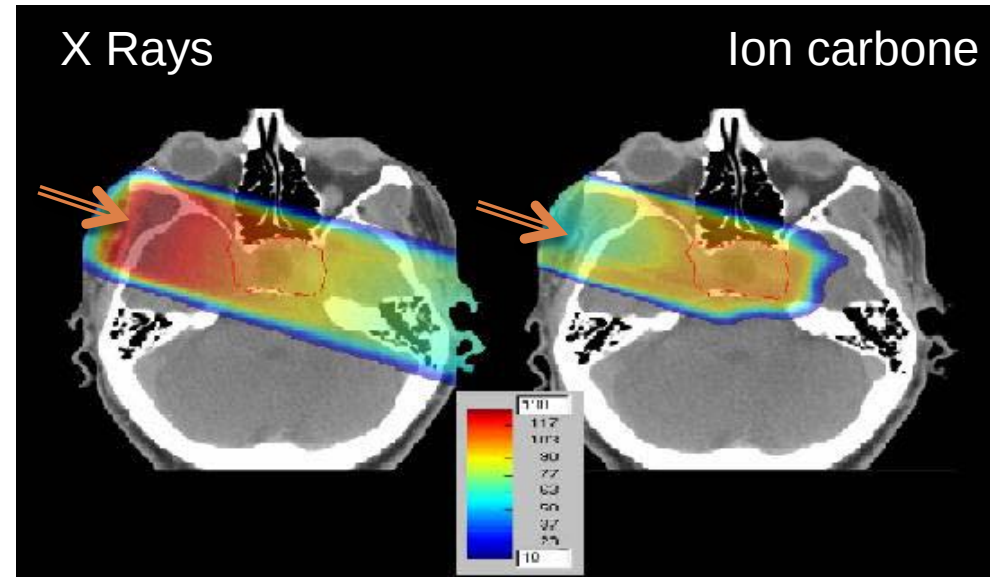
La précision balistique



- Profil en profondeur inversé
- Dépôt de dose maximum à la profondeur du pic de Bragg

- isocourbes/isodoses
- Les tissus sains en amont de la profondeur de traitement sont davantage épargnés

Dépôt de dose optimisé



I. Quelques mots sur l'hadronthérapie

6

Effet biologique

- Mesure qui sert à comparer l'effet biologique de deux rayonnements

$$EBR = D_{\text{ref}} / D_r$$

D_{ref} : Dose du rayonnement de référence

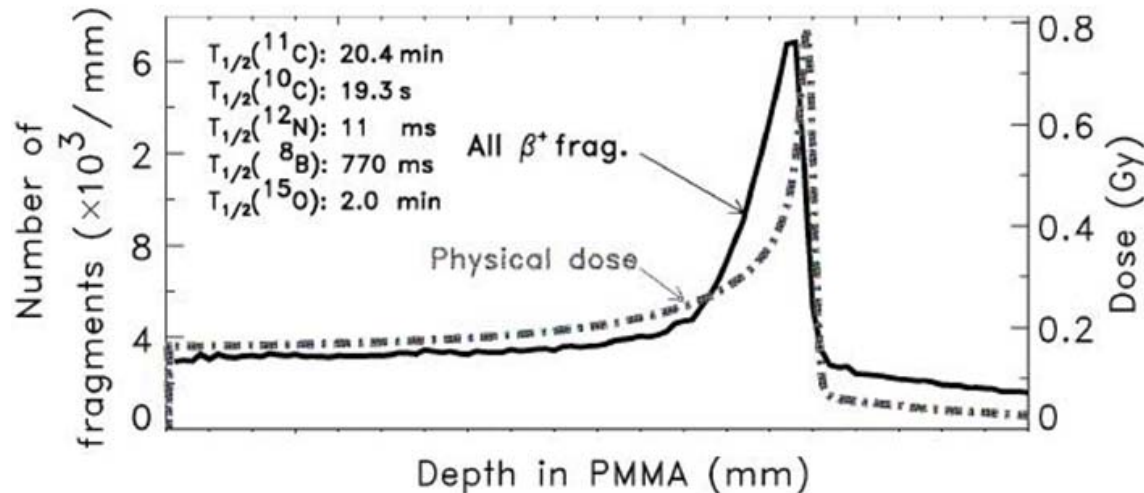
D_r : Dose du rayonnement comparé

> Pour une même dose déposée, l'efficacité est meilleure avec la technique d'hadronthérapie qu'avec la radiothérapie conventionnelle à RX

I. Quelques mots sur l'hadronthérapie

7

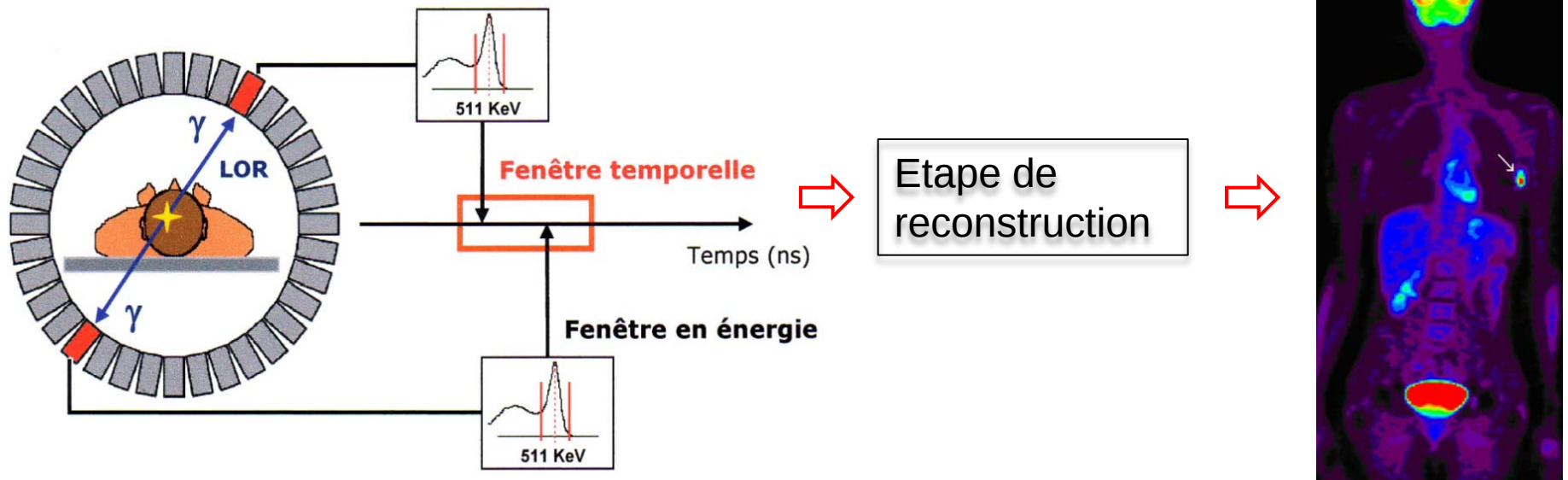
- En fonction de l'énergie incidente, une partie non négligeable des ions primaires subissent des réactions nucléaires ($\sim 30\%$ à 300 MeV/u dans du PMMA)
- Production de particules secondaires dont la distribution spatiale est directement corrélée à la distribution des ions primaires et donc à la distribution de dose
- On compte :
 - Émetteurs β^+
 - Particules chargées (p,d,t et clusters plus lourds)
 - Particules neutres (n et γ)



II. La TEP en ligne pour le contrôle du traitement

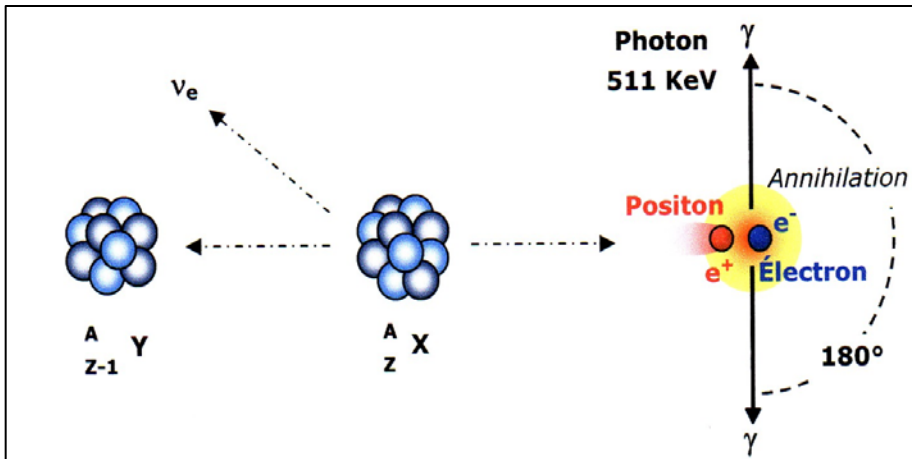
8

- Tomographie à Emission de Positons : technique d'imagerie médicale fonctionnelle « quantitative »
- « **Mesure** » *in vivo* chez l'Homme ou l'animal, et avec résolution de quelques millimètres, de la **distribution spatiale d'un radiotraceur émetteur de positons**



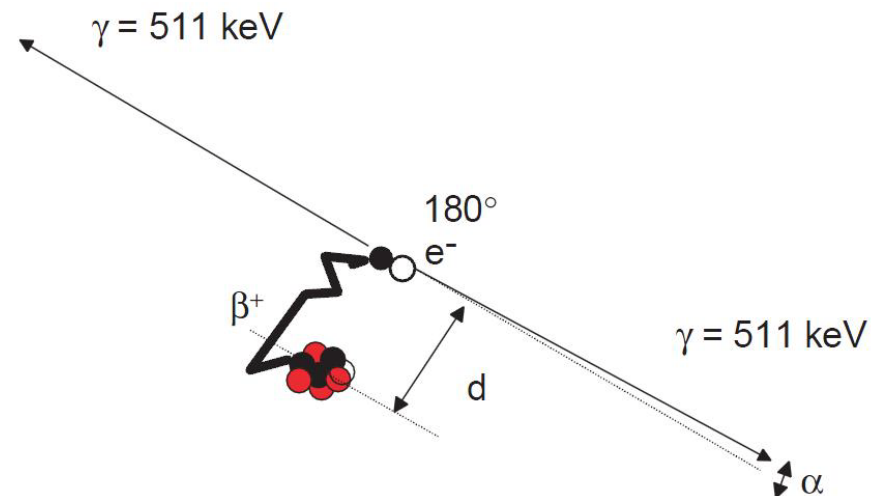
II. La TEP en ligne pour le contrôle du traitement

9



L'annihilation d'une paire e^+/e^- produit deux γ de 511 keV (en vertu du principe de conservation de l'énergie) émis à 180° (en vertu du principe de conservation de la quantité de mouvement)

- Le lieu d'annihilation ne coïncide pas exactement avec le lieu d'émission du positron : limite intrinsèque de la technique
- Faible angle de déviation (conservation de la quantité de mouvement) CE qui rajoute une limite intrinsèque de la résolution spatiale du volume reconstruit.



II. La TEP en ligne pour le contrôle du traitement

10

La TEP « en ligne » pour le contrôle de dose en hadronthérapie utilisée au GSI en Allemagne (seul prototype au monde!)

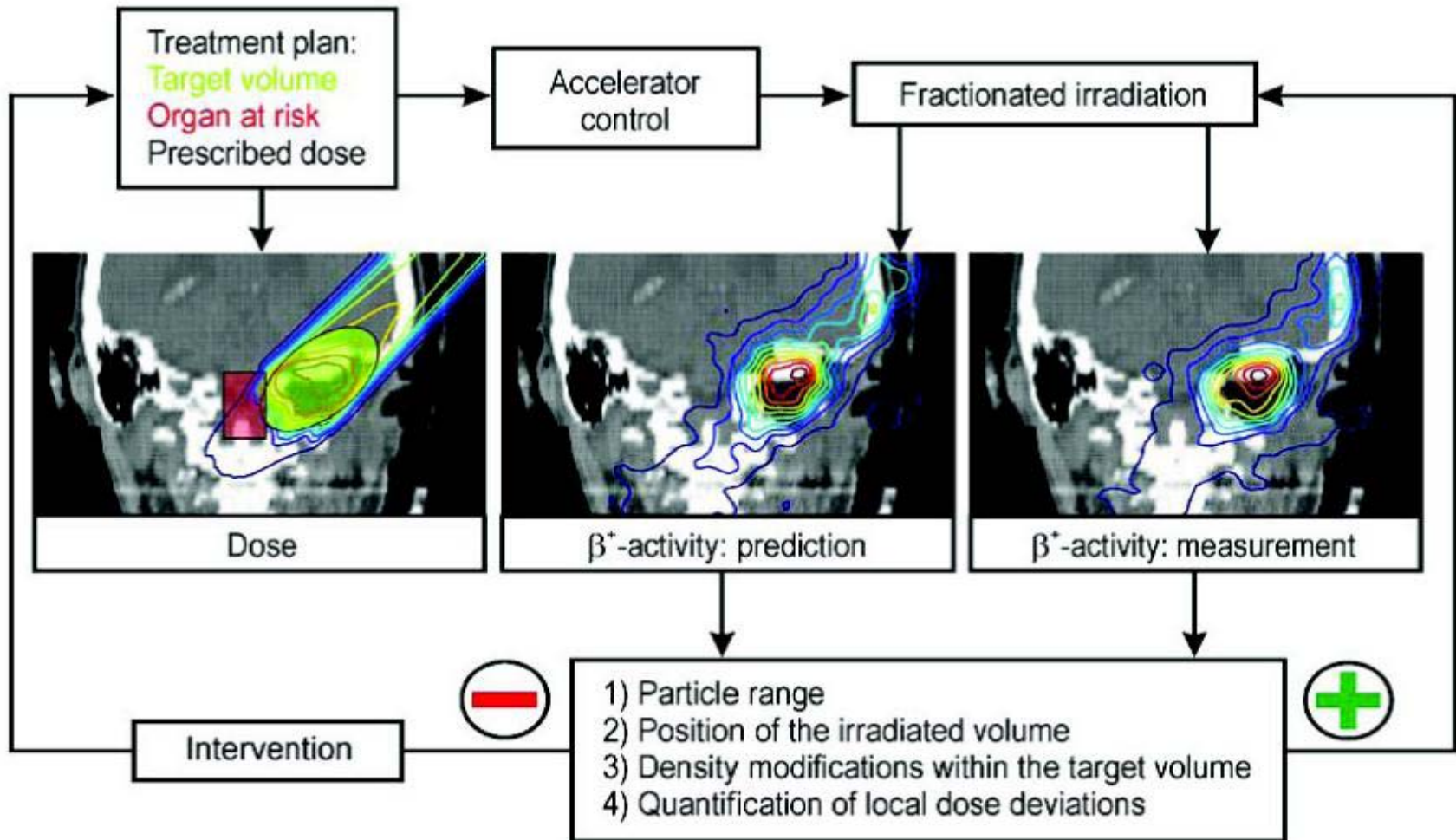
- Faible statistique d'émission impose une acquisition plus longue que la durée du traitement : une information *a posteriori*



En pratique, comment cela se passe?

II. La TEP en ligne pour le contrôle du traitement

11



III. Simulations GATE

12

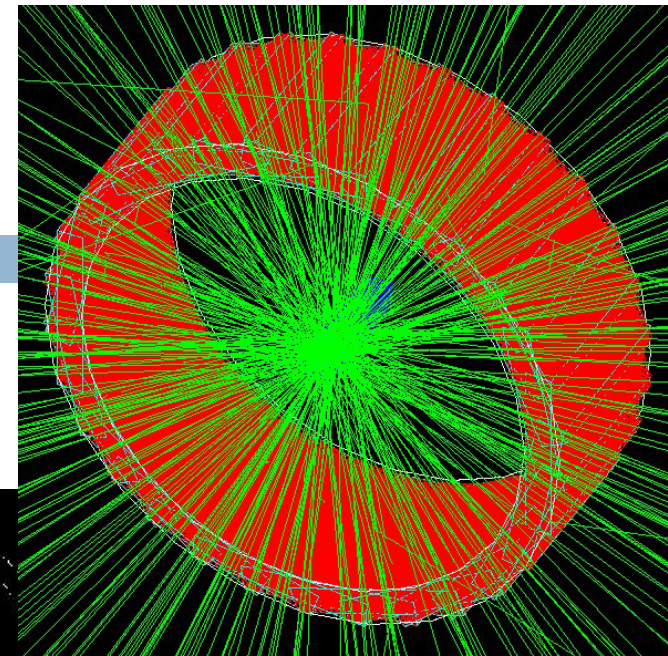
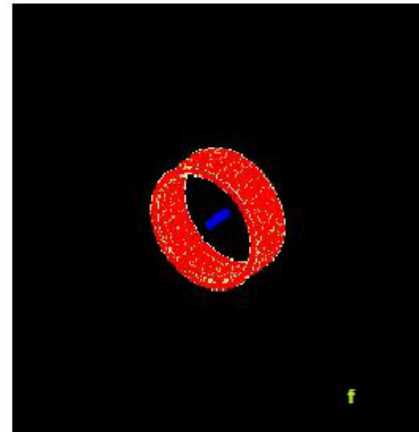
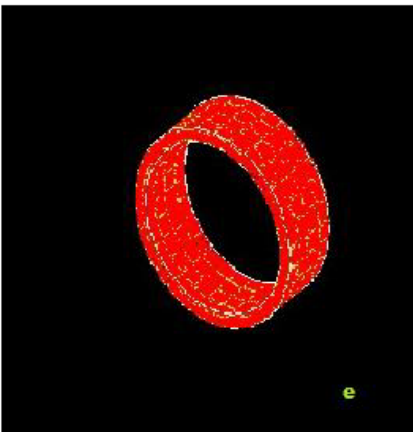
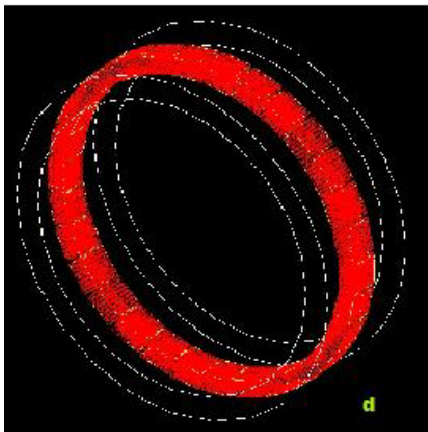
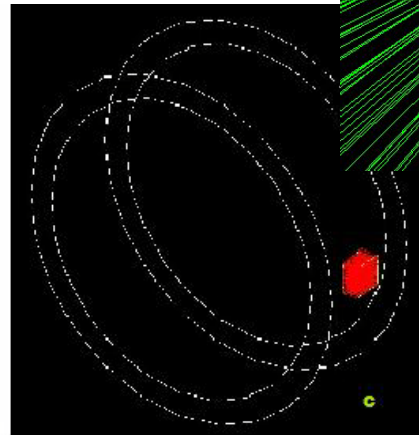
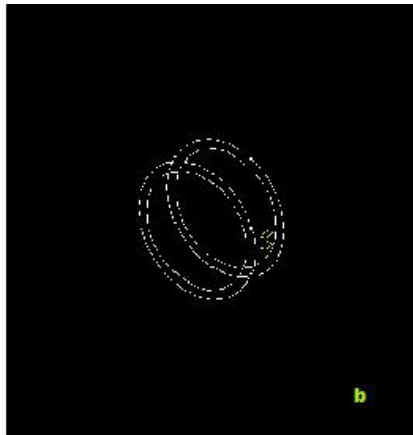
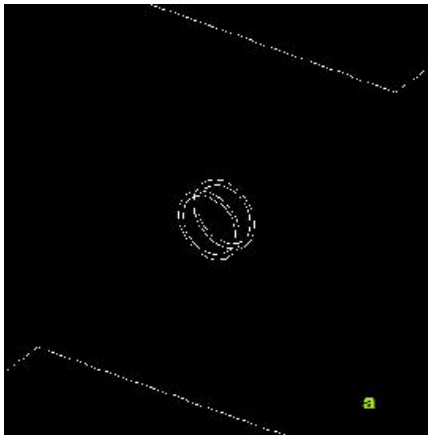
BUT: Reconstruire les points d'annihilation à partir des données brutes issues de ROOT et Connaître l'influence des paramètres de l'expérience sur la qualité de reconstruction des points d'annihilation...

- GATE basé sur Geant4
- GATE - Geant4 Application for Tomographic Emission
- GEANT – GEometry ANd Tracking
- Plate-forme de simulation Monte-Carlo pour simuler le transport des particules dans la matière
- Permet de définir plusieurs configurations géométriques et d'utiliser de nombreuses particules sur une large gamme d'énergie.
- Domaines d'applications de Geant4 : simulations en médecine, physique des accélérateurs, astrophysique et aérospatiale

III. Simulations GATE

13

Construction du détecteur et lancement de la simulation



Taille des cristaux:
10mm en profondeur
Diamètre couronne:
86-100mm
Fantôme:
*Parallélépipède
d'eau, au centre de
la couronne*
Source:
*Source linéaire de
 ^{11}C*

III. Simulations GATE

14

Les différents paramètres de simulation:

taille détecteur, taille des cristaux, taille fantôme, matériaux fantôme, position de la source, nature de la source, forme de la source, direction d'émission, activité de la source

Fixation de certains paramètres de départ:

- Fenêtre en énergie : 450-650 keV
- Fenêtre de coïncidence : 2ns (ordre de grandeur typique)
- Cristal scintillant : LSO

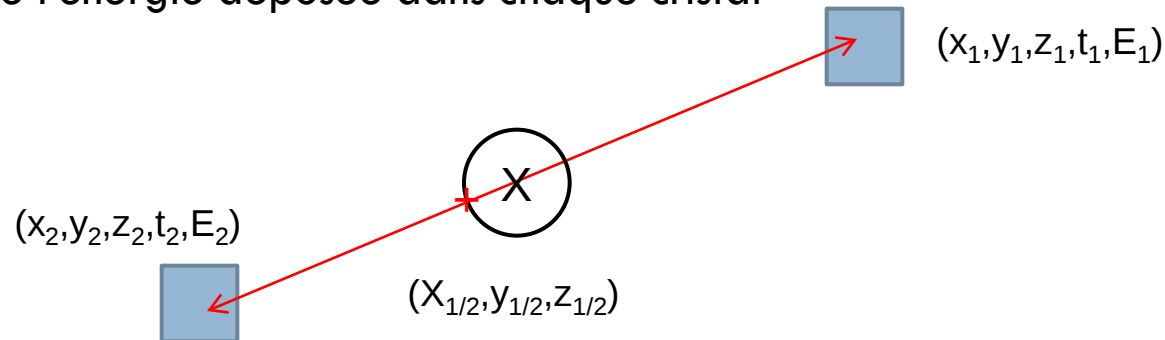
Couramment utilisé en TEP pour ses propriétés (*densité, bonne résolution en énergie à 511 keV, bon rendement lumineux, non hygroscopique...*)

III. Simulations GATE

15

Pour chaque ligne de réponse détectée quel est le point d'annihilation ?

Pour un système parfait (simulé), on mesure avec une précision infinie les coordonnées des interactions des photons dans chaque paire de cristaux, le temps de détection ainsi que l'énergie déposée dans chaque cristal



- On peut calculer les coordonnées du point milieu de la droite définie par le couple de coordonnées : $[(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2)]$
- La mesure du temps de vol $\Delta t = t_1 - t_2$, définit une sphère de rayon $r_{\text{tof}} = c\Delta t/2$ centrée en $(x_{1/2}, y_{1/2}, z_{1/2})$
- Le point d'annihilation, étant donné le signe du temps de vol, l'intersection entre la sphère et la droite : une unique solution

IV. Résultats

16

- Variation de la taille des cristaux (en z):

10, 8 et 6mm

- Augmentation de l'activité:

100Bcq et 100kBcq

- Dimension du fantôme

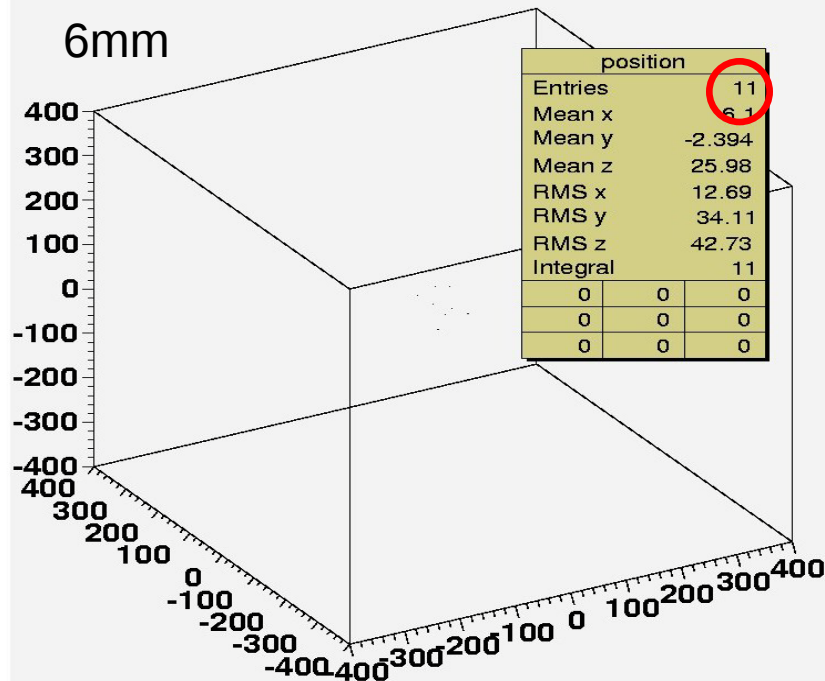
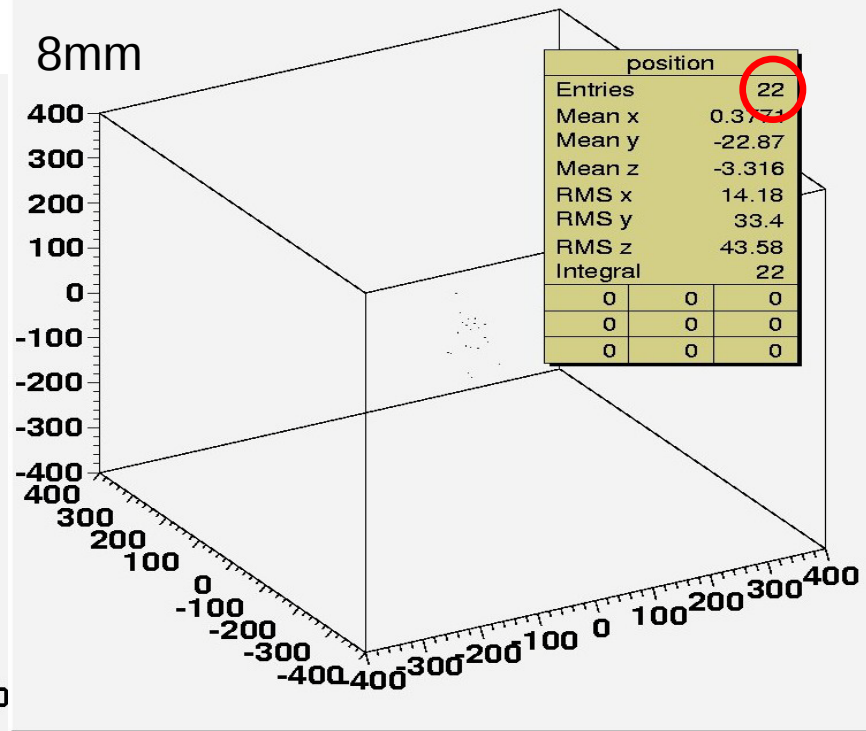
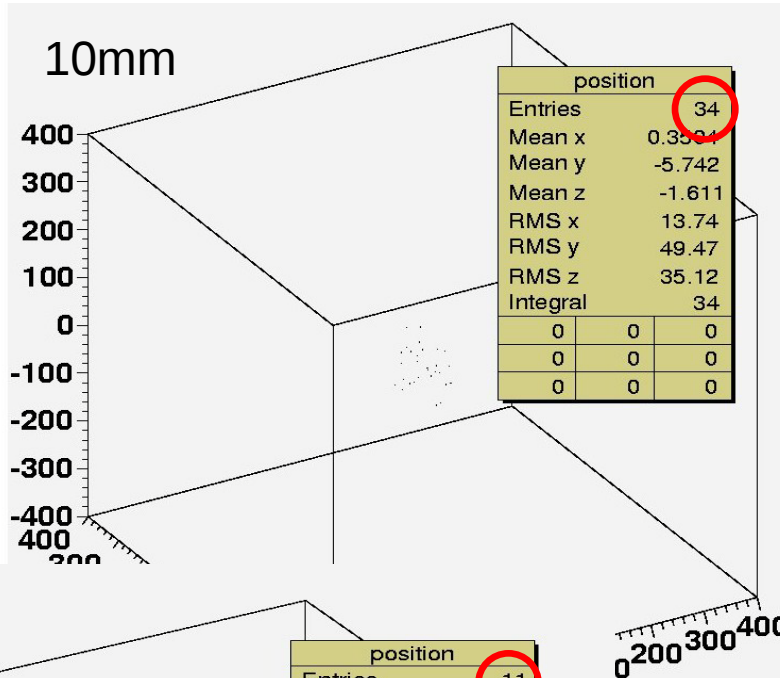
0, 1, 4 et 7 cm³

- Décalage de la source

y=0 cm et y=4 cm

Variation de la taille du cristal:

17

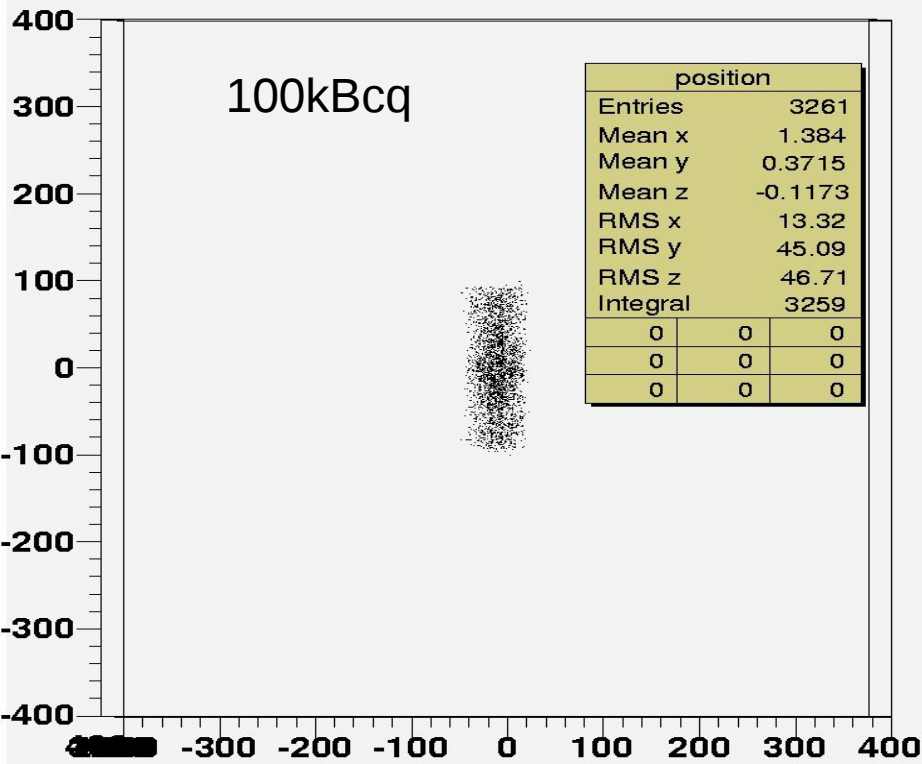
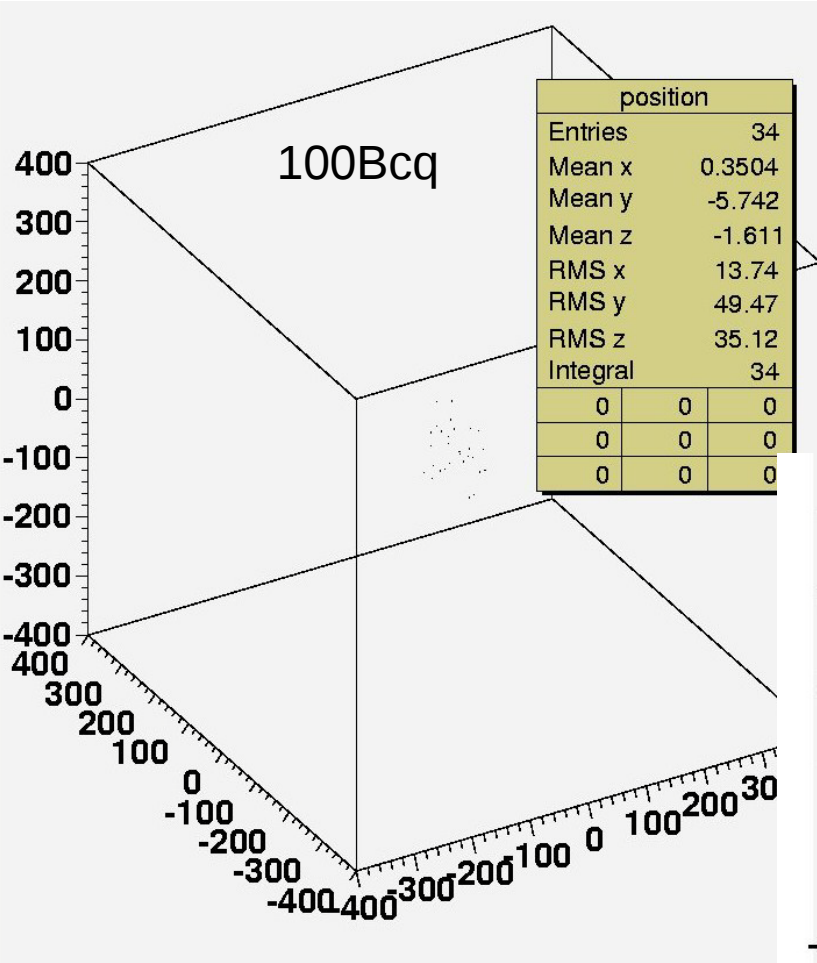


- + taille du cristal scintillant est grande
= + de matière
- ⇒ + d'interactions possibles
- ⇒ Davantage d'évènements détectés

Activité 100Bcq, diam=86mm, source linéaire

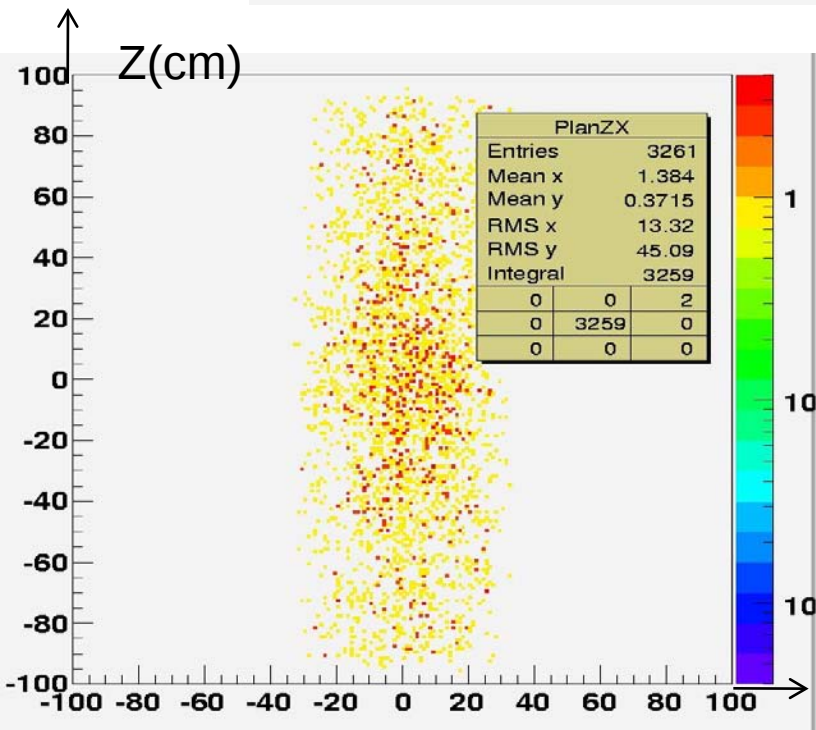
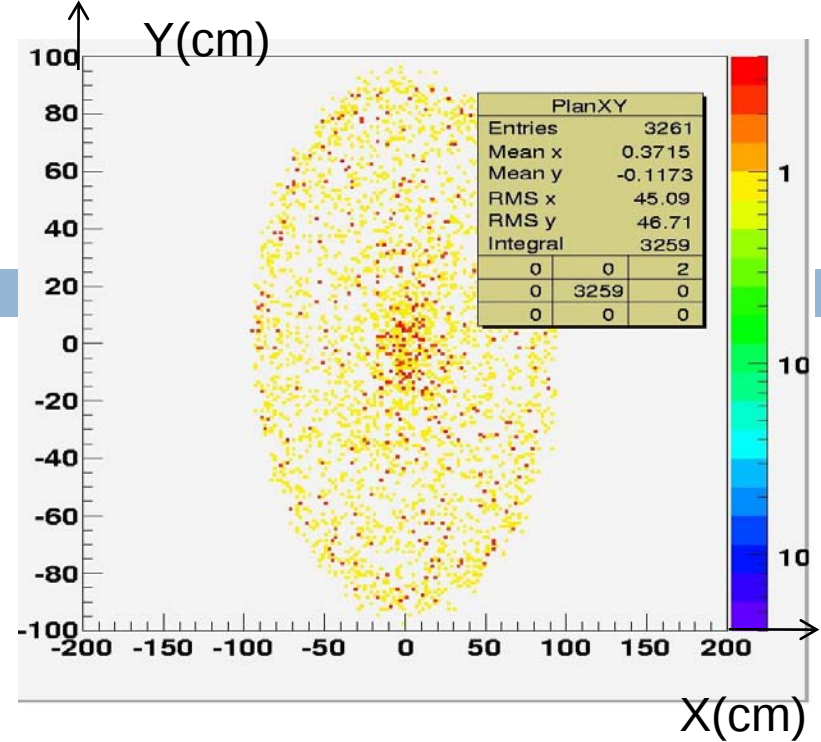
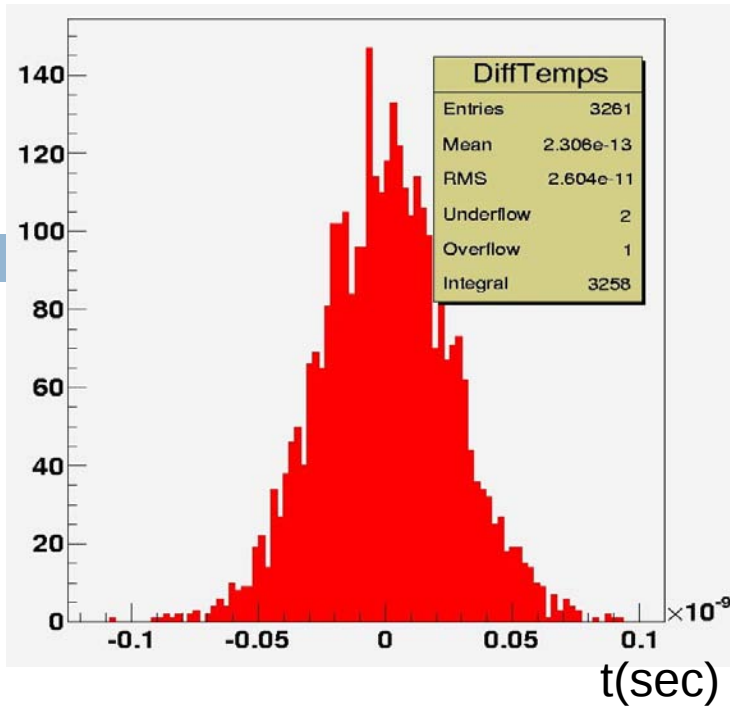
Augmentation de l'activité de la source:

18



100kBcq

19



- Spectre temps de vol centré en 0 car

axe tomographe=axe de la source

- Distribution spatiale en XY et ZX

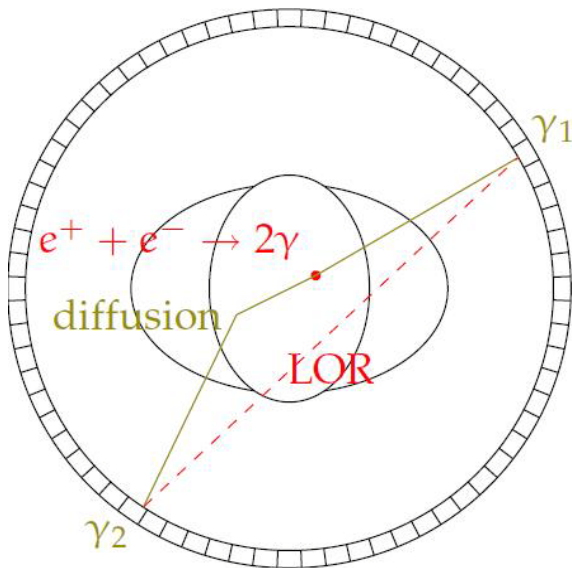
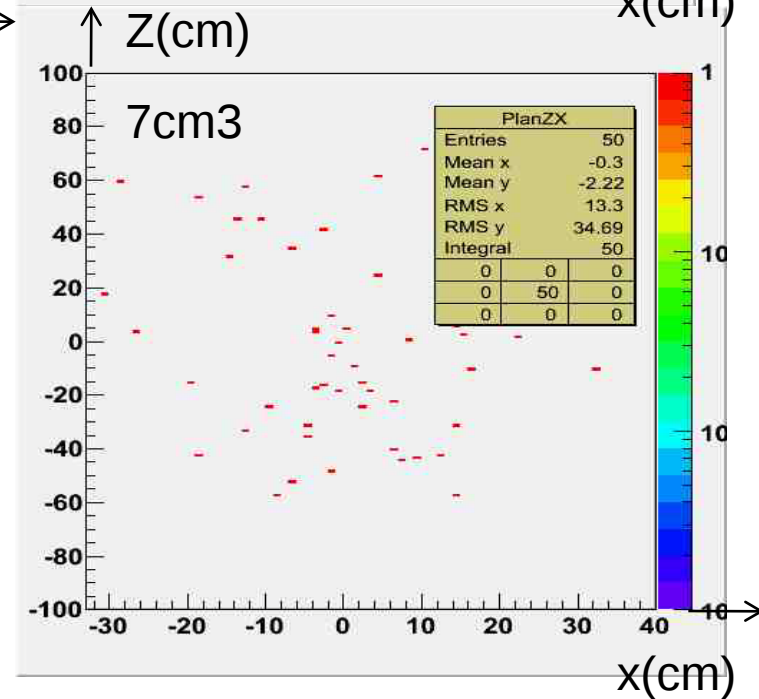
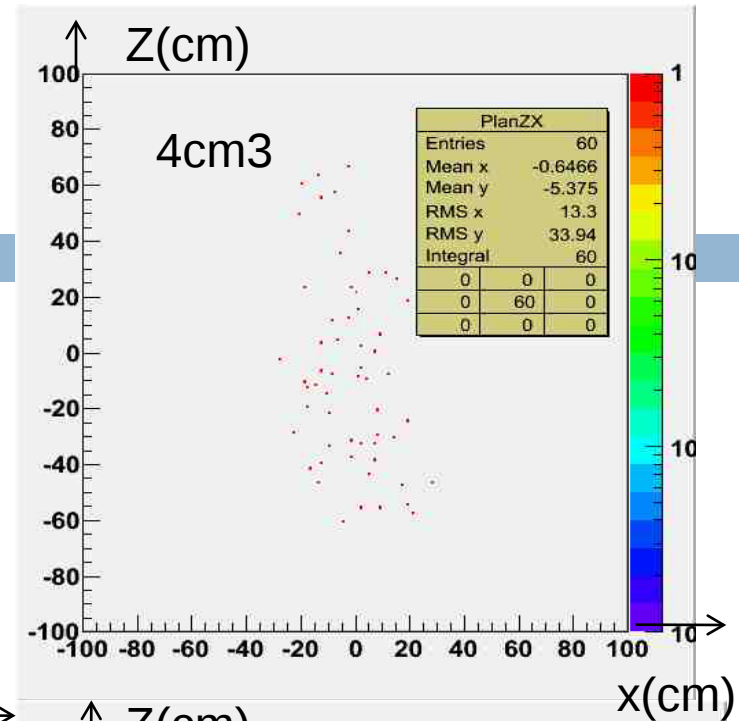
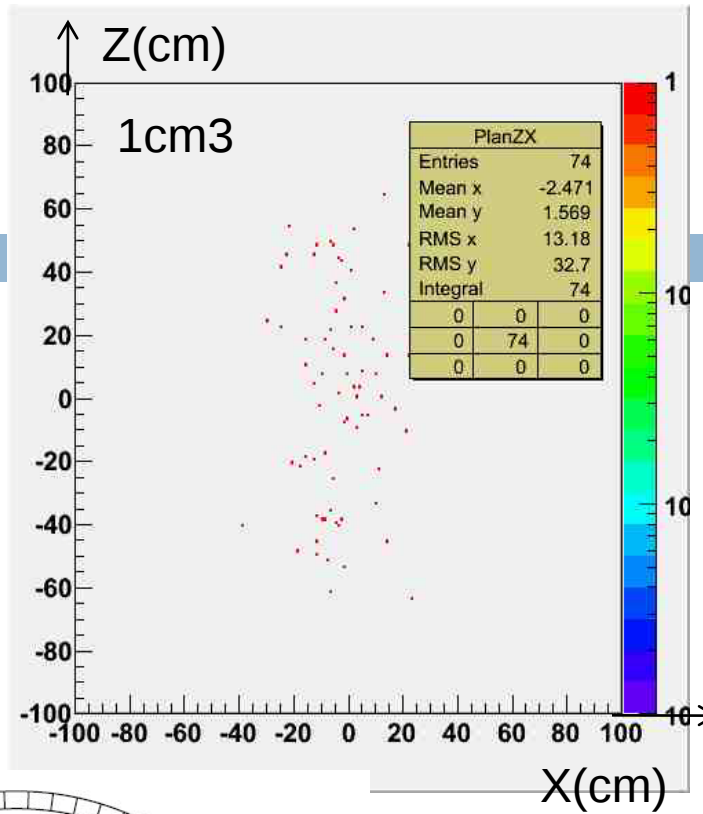
➔ + l'activité est grande

+ la statistique des évènements détectés est importante
et

+ la précision sur la reconstruction augmente

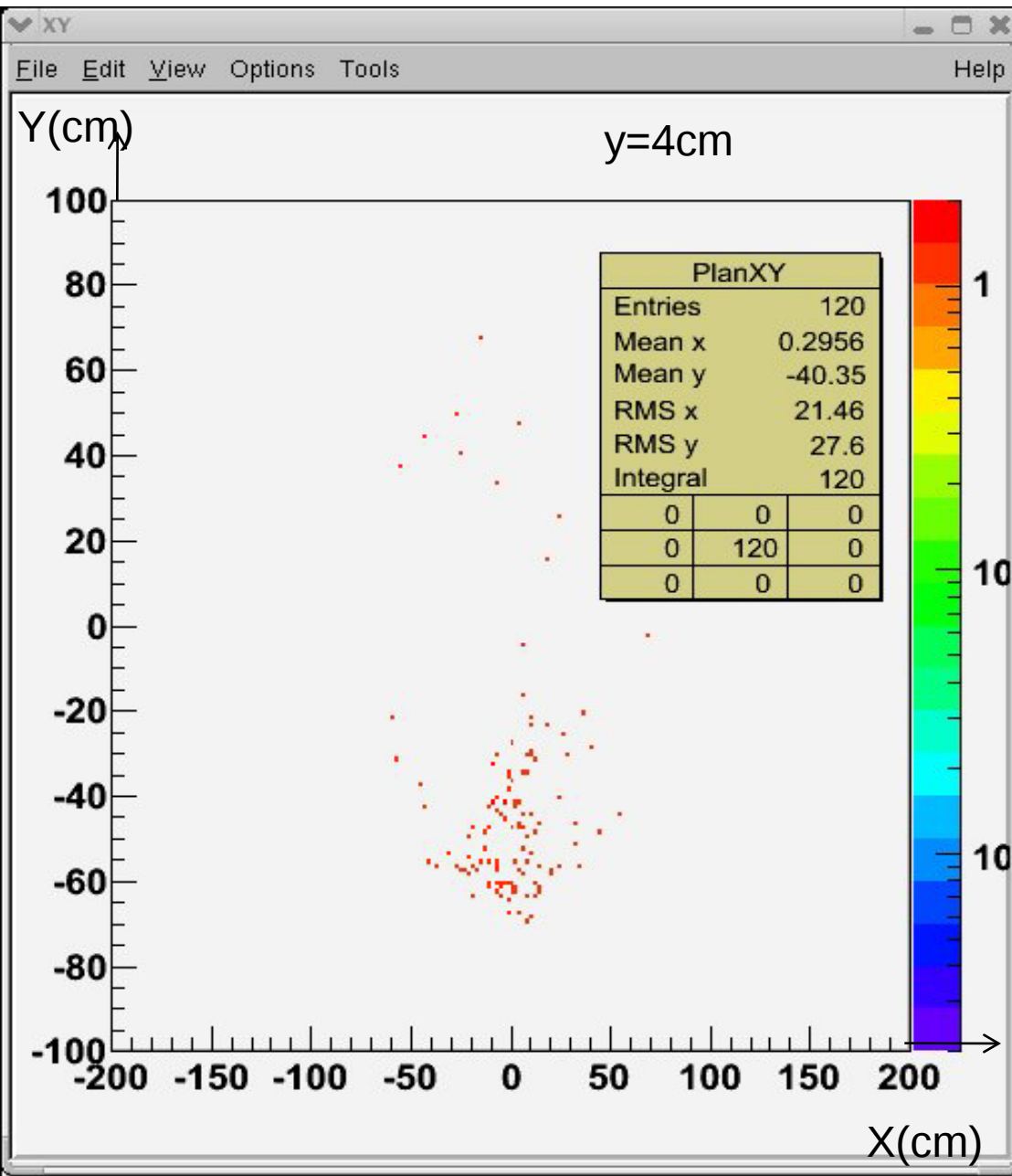
Taille du fantôme

20



Diffusés
= perte
d'énergie
> Plus dans
la fenêtre
en énergie

Déplacement de la source émettrice
 β^+ le long de l'axe y du scanner



- déplacement des points d'annihilation
 - accumulation grossière de points entre 20mm et 70mm
- ➔ un point de validation de l'algorithme de reconstruction

IV. Résultats

22

La qualité de reconstruction des points d'annihilation est directement liée au nombres d'évènements détectés en coïncidence.

Le nombre d'évènements a pu croître avec:

- Grand cristaux (10mm de profondeur)
- Augmentation de l'activité
- Diminution de la taille du fantôme

☺ très faible statistique car temps de simulations très longs (+ de 24h pour 100MBcq)

Conclusion et perspectives

- Suite de mon stage Janus 2009-2010: perte d'énergie des particules par ionisation à leur passage dans la matière
- Toucher à un aspect pluridisciplinaire de la physique au sein d'un même laboratoire
- Balayage de connaissances pluridisciplinaires (biologie, radio-biologie, physique, informatique, géométrie des systèmes)
- De nouvelles simulations envisagées afin d'approfondir et de mieux comprendre les résultats obtenus au cours de ce stage
- Hadronthérapie: mobilisation importante en Europe

Ouverture d'un centre d'hadronthérapie à Lyon en 2014