

CaLIPSO TEP

Résolution Spatiale 1mm³, Uniforme en 3D

Haut rendement

Bas bruit

Pour la Neurologie

P. Verrecchia, D. Yvon, + A. Lepomme (IrfU/SPP)

G. Tauzin, JP. Bard, D. Desforge, A. Marcel, JP. Mols, M. Riallot,

D. Attié, F. Jeanneau, L. Liskay,

P. Starzynski, C. Jeanney (IrfU/SEDI) + JM. Reymond

JP. Renault (DSM/IRAMIS)

C. Comtat, S. Jan, R. Trébossen (DSV/I2BM) + A. Amadon

Collaborateurs du projet

DSM/IrfU

D. Yvon , P. Verrecchia, A. Lepomme (IrfU/SPP)
G. Tauzin, JP. Mols, D. Attié, JP. Bard, P. Starzynski, F. Jeanneau, L. Liskay,
D. Desforge, A. Marcel, M. Riallot, C. Jeanney (IrfU/SEDI) + JM. Reymond
Et IrfU/SACM

DSM/IRAMIS: JP. Renault (SIS2M/LRAD)

- Conseils, Sécurité, Manipulations sur instal. Agréées, Radiolyse

DSM Valorisation: M. Porchet, S. Zaninotti, L. Henrion

----- Dépôt de Brevet, réalisation d'un prototype -----

DSV/I2BM

SHFJ: C. Comtat, S. Jan, R. Trébossen.

- Définition cahier des charges (TEP pt Animal, TEP Clinique)
- Architecture Machine (Etude système)
- Traitement données/Validation

NeuroSpin: A. Amadon.

- Discussions Compatibilité TEP/RMN.

CNRS Créteil: S. Condon (CNRS/GLVT), M. Rivard (CNRS/ICMPE)

- Chimie organométallique - Milieu de 2^{ème} Génération

Plan

Principe de détection

Qualités d'un détecteur TEP

Détecteurs existant

Notre milieu actif

Enjeux autour des détecteurs TEPs

Machines TEP commerciales

CaLIPSO, une TEP en ligne?

Vers une Démonstration Physique

Elle est en cours.

..

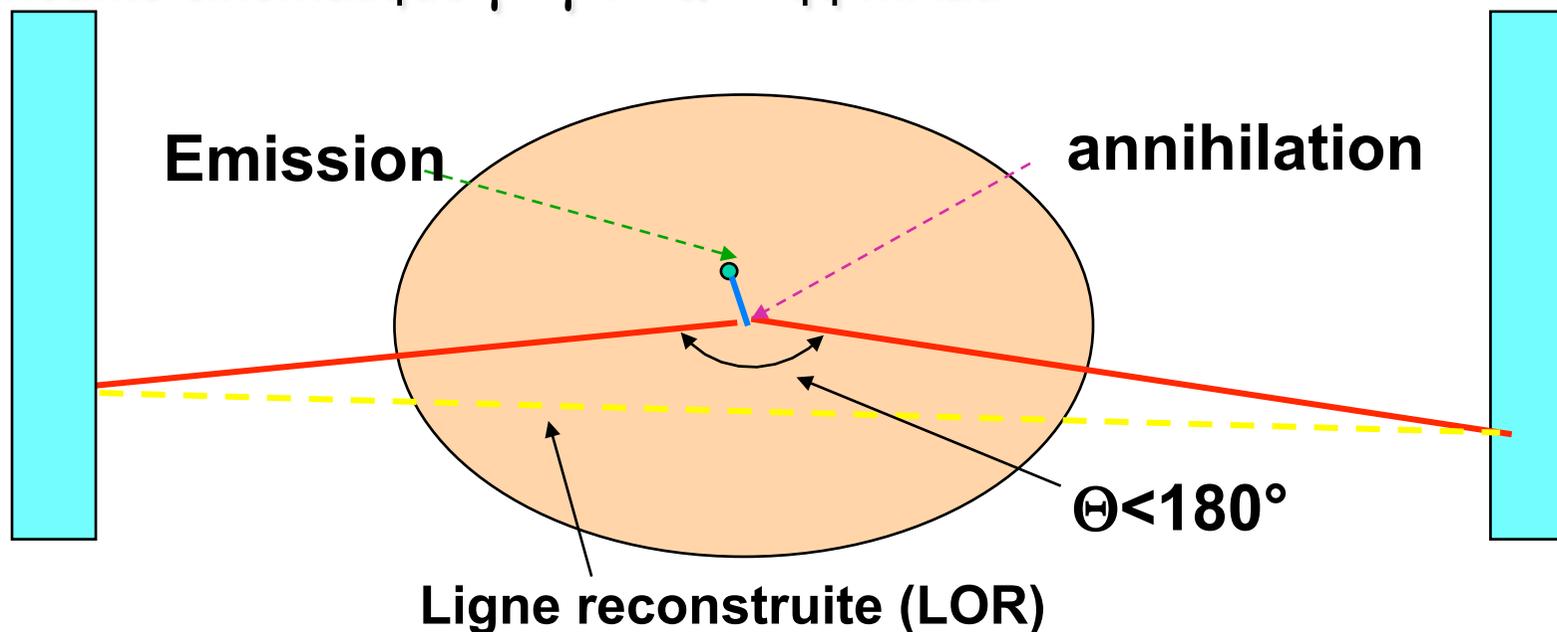
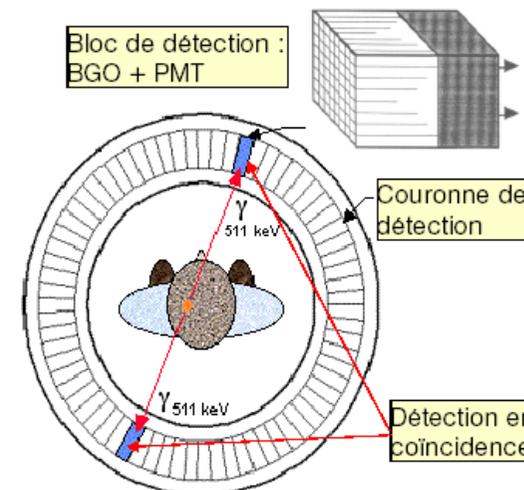
TEP: Physique – Limitations Fondamentales

Emission β^+ , Annihilation en deux γ :

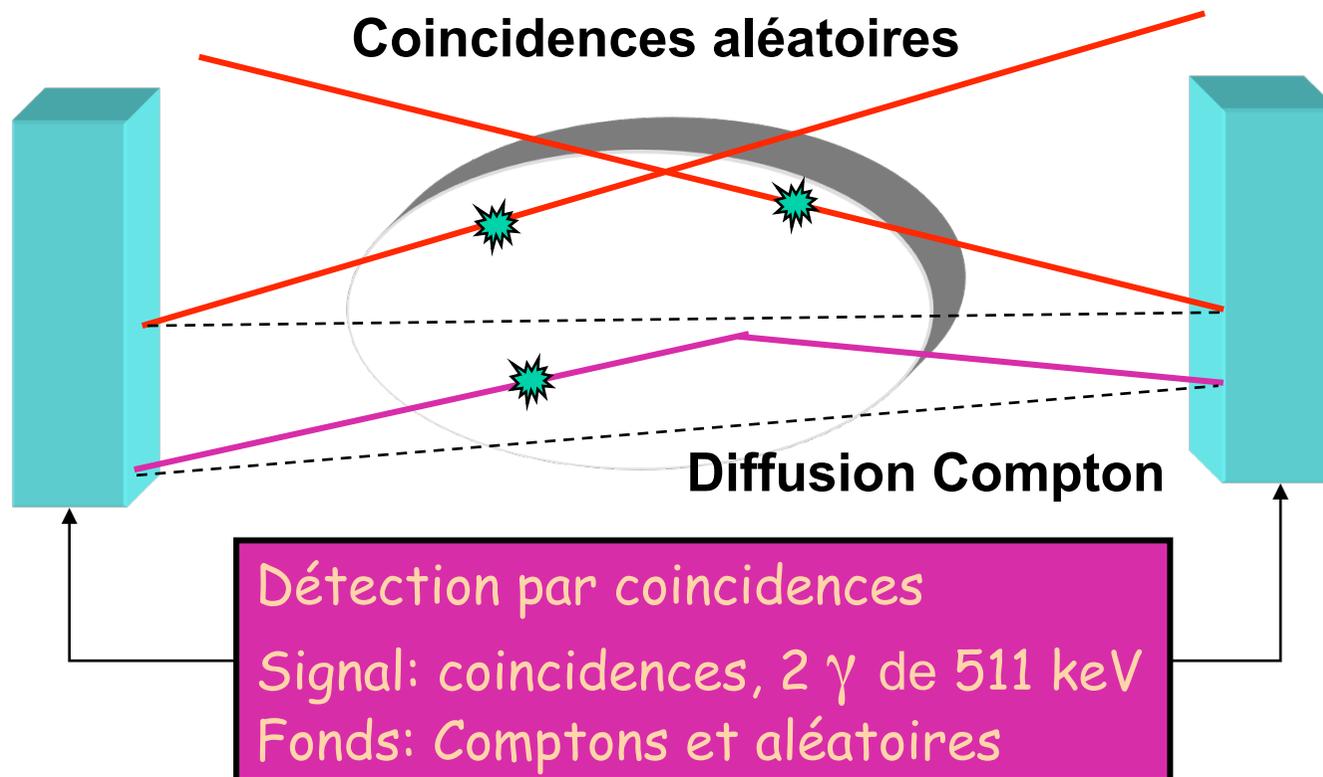
Parcours du β^+ dans l'organe, cas du ^{18}F Fluor:

Tâche d'une source ponctuelle: 1 mm, FWHM

A-colinéarité cinématique $\gamma-\gamma$: $\langle Q \rangle \sim qq$ mRad



Mécanismes d'erreur : fonds



Pour combattre les fonds: Un détecteur de qualité!

Qualités d'un calorimètre Photon au MeV

En particulier en vue d'un TEP

Efficacité de détection photoélectrique (511 keV - 1 MeV)

Longueur Atténuation (cm)

Rapport Photoélectrique: $\text{SigPE}/(\text{SigPE}+\text{SigComp})$

Résolution en énergie

Sur pic Photoélectrique: $\Delta E/E$, FWHM, %

Résolution Temporelle

<~ Temps de monté du détecteur, ns (-> 10 ps?)

Localisation des interactions

Objectif? mm

Couverture de grand Solide aisée et temps de comptage

Objectif !4 Pi! 1 à qq kHz/cm²

Simplicité - Fiabilité de mise en œuvre.

Une fois bâti, doit fonctionner en « **presse-bouton** »

Au delà de 500 keV, l'efficacité de détection requiert des matériaux actifs de grand Z et de grande densité volumique.

Le scintillateur solide actuel: $\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}$

Efficacité de détection photoélectrique

LSO est dense, modérément haut Z

95 % conversion en 2.2 cm

RapPE de 30 %

Résolution en énergie

15% au mieux

pas excellent

Relativement rapides:

$\tau_s \sim 40$ ns, 30 k γ /MeV, Résol. en temps ~ 2 ns.

Localisation des interactions

~ 1 cm. Pas « naturel », sauf à fractionner les cristaux

Couverture de grand Solide aisée et temps de comptage

Les cristaux sont chers! 1 à qq kHz/cm²

Simplicité - Fiabilité de mise en œuvre.

Excellente, Cristaux + PM ou APD simples et fiables

Notre principe de détection

Censuré
... Dépôt de brevet: FR 1 052 047 ...

Performance du milieu de détection

Efficacité de détection photoélectrique

85 % conversion en 5 cm

RapPE, de 57 %

Résolution en énergie

10% FWHM à 511 keV

Résolution en temps à quantifier

Localisation des interactions

150 μm au mieux, confortable, coût en électronique

Couverture de grand Solide et temps de comptage

On peut faire grand! qq kHz/cm², OK

Détecteur « continu », dimensionnable à volonté

Simplicité - Fiabilité de mise en œuvre.

Ultra purification. Une fois scellé, clef en main

Tous les ingrédients pour une TEP EFFICACE

Un milieu actif de seconde génération bienvenu!

Enjeux autour des TEPs

Efficacité d'une TEP

Effet Compton dans les organes

Fond irrécupérable, *à rejeter*, Résolution en énergie, CaLIPSO!

Effet Compton dans le détecteur

Meilleur détecteur, Rap PE, CaLIPSO! Facteur 4

Ou double interaction, Perte en résolution spatiale

Couverture de l'angle solide

Détecteur continu, meilleure herméticité, CaLIPSO!

Résolution Spatiale

Reconstruction d'événement au mm.

Fractionnement des cristaux, Cher!

Ou pixellisation du plan de collection de charge CaLIPSO!

Reconstruction d'événement 3D CaLIPSO

Résolution spatiale uniforme sur le volume des organes

Marché des TEPs (1)

TEP clinique (Hospitalière, Oncologie):

Enjeux: Rendement de détection 1 %, bruit de fond, *résolution spatiale*

Potentiel CaLIPSO:

Rendement Photo-Electrique, Résolution en Energie, Couverture Angulaire

Amélioration du rendement de détection

Rejet du fond dû aux interactions intra-patients

Diminution des doses injectées au patient, ou de la durée de l'examen

Amélioration de la résolution spatiale

TEP petit animal (souris-rat, utilisation pharmacologique)

Enjeux: *Résolution spatiale (mm) et efficacité,*

Potentiel CaLIPSO:

Résolution spatiale, Couverture Angulaire.

Résolution spatiale naturelle dans cette techno.

Rendement ~ facteur 3, (cinétique des capteurs)

Marché des TEPs (2)

TEP Cerveau (Neurologie fonctionnelle)

Enjeux: **Résolution spatiale (mm) en 3D, Efficacité, Rendement**

Potentiel CaLIPSO:

Résolution au mm 3D, Rendement Photo-Electrique, Résolution en énergie, Couverture Angulaire

Résolution spatiale optimisée *et uniforme en volume, naturelle.*

Rejet du fond et résolution spatiale optimisés *sans compromettre le rendement de détection*

Rendement de détection~3: *Doses injectées, durée de l'examen, cinétique des processus neurologiques.*

Prototypes plus petits

Imagerie de modèles animaux

R. Trebossen, SHFJ

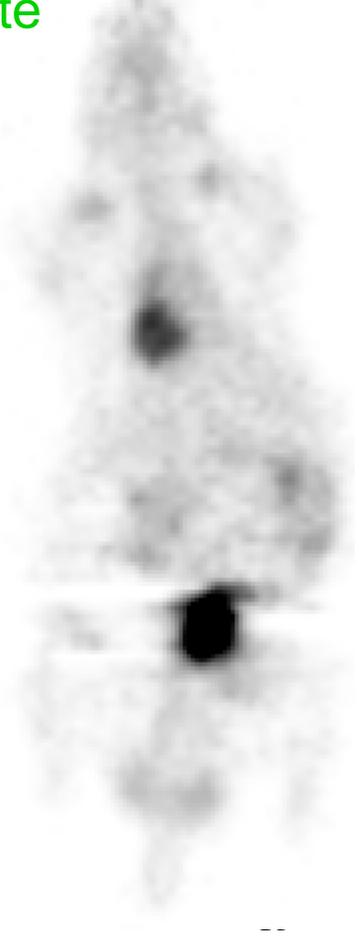
Modèle Rongeur + Traceur ([18F]FDG, autres).
Mes. activité des Cibles. Variabilité radio-traceurs
Acq. Simultanée de plusieurs animaux:
=> Variabilité des résultats réduite
+ Gain de temps.

ET résolution spatiale ++
efficacité de détection ++
=> Concent. Cibles + précise



Dispositif d'acquisition

HR+

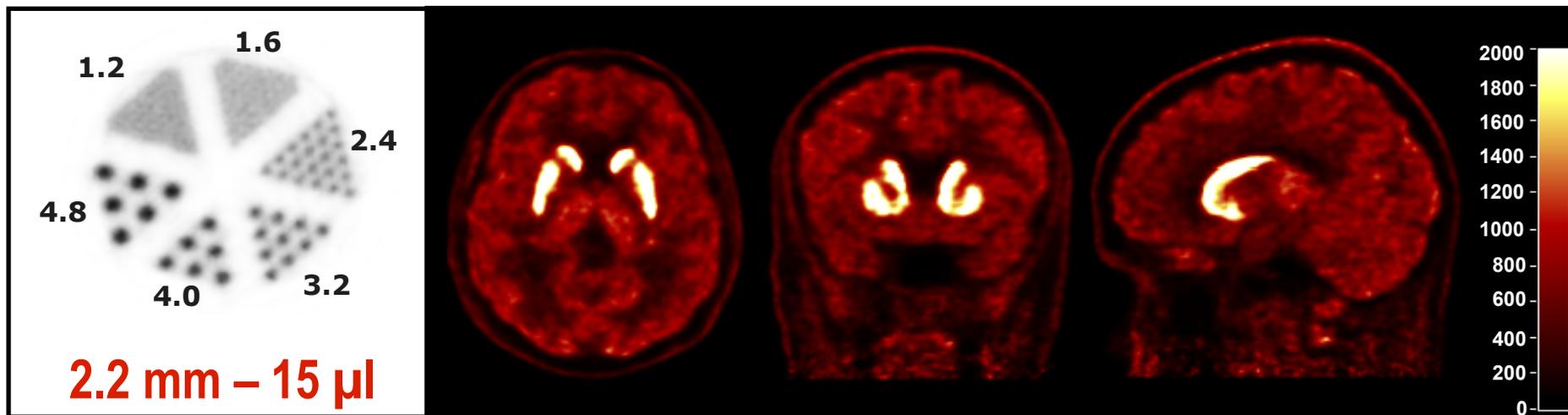


HRRT

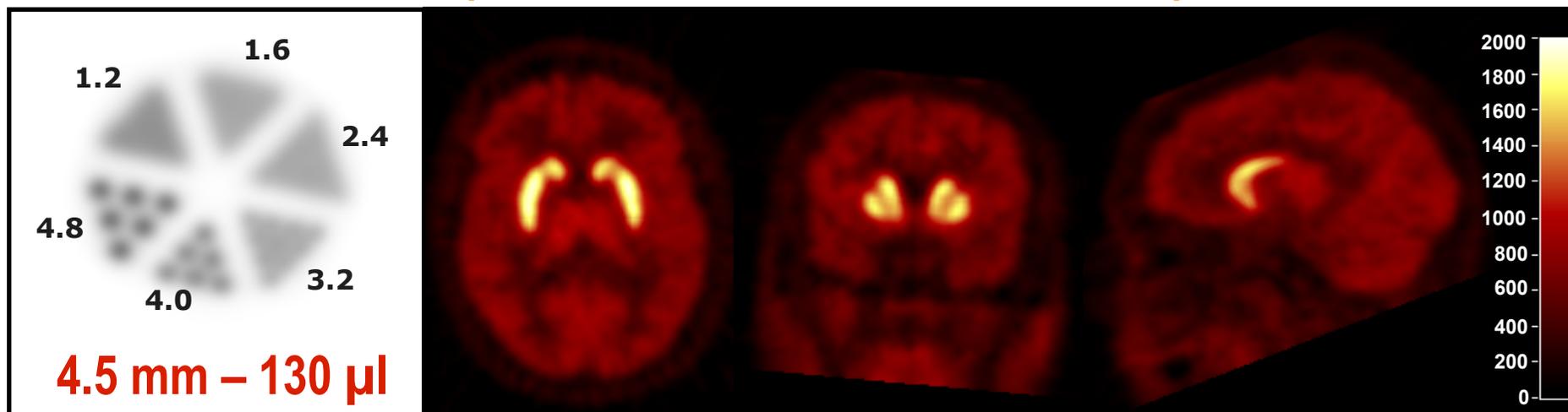
Accès cibles basses concentrations
Vers imagerie TEP « Vidéo »

Impact de la résolution spatiale pour les études cérébrales en TEP

HRRT (Siemens Medical Solutions)



HR+ (Siemens Medical Solutions)



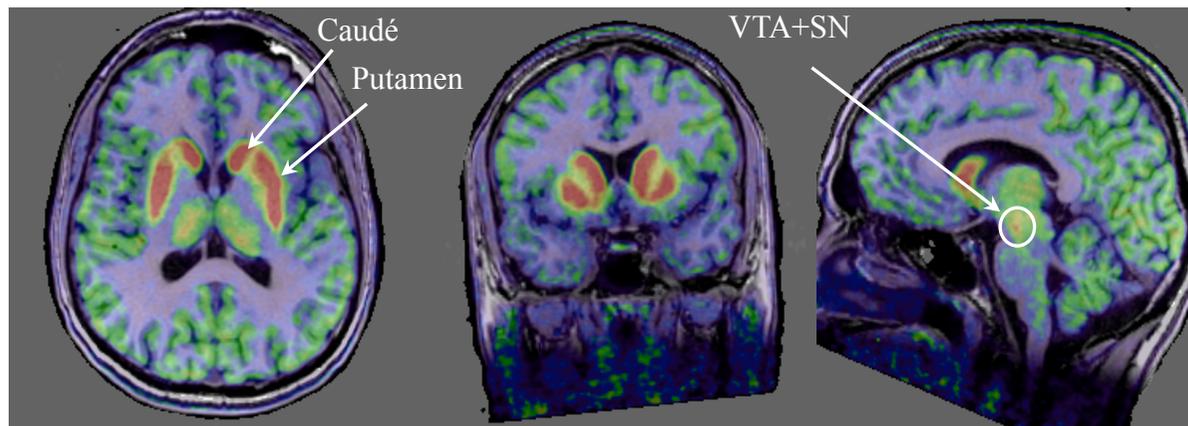
axial

coronal

sagittal

L'imagerie cérébrale TEP haute résolution spatiale

Meilleure définition des structures d'intérêt



➤ Meilleure récupération de contraste

Meilleure quantification des régions d'intérêt et des paramètres biologiques.

➤ Accès à des structures fines: la substance noire (SN), noyaux gris.

➤ Etude fine des circuits dopaminergiques sur des populations de patients

Maladies de Parkinson, de Huntington, troubles psychiatriques, addiction....

Références: C. Leroy, J Nucl Med 48 (4), 2007 ;FC Sureau, J Nucl Med 49 (6), 2008.

TEP « en ligne »?

Aveuglé pendant l'irradiation (qq s?). ?Après?

Emetteur β^+ produits en hadronthérapie: (K. Parodi)

$6.86 \cdot 10^4$ pour 10^6 protons, $6.25 \cdot 10^5$ pour 10^6 ^{12}C

Isotope	demi-vie (s)	λ (mm)	Fais. Proton Abondance (%)	Fais. ^{12}C Abondance (%)
^{15}O	122	~ 2.	30	27
^{11}C	1223	~ 1.2	66.6	68
^{10}C	19	?	3.2	4.8

Ordre de grandeur de flux, cas ^{12}C

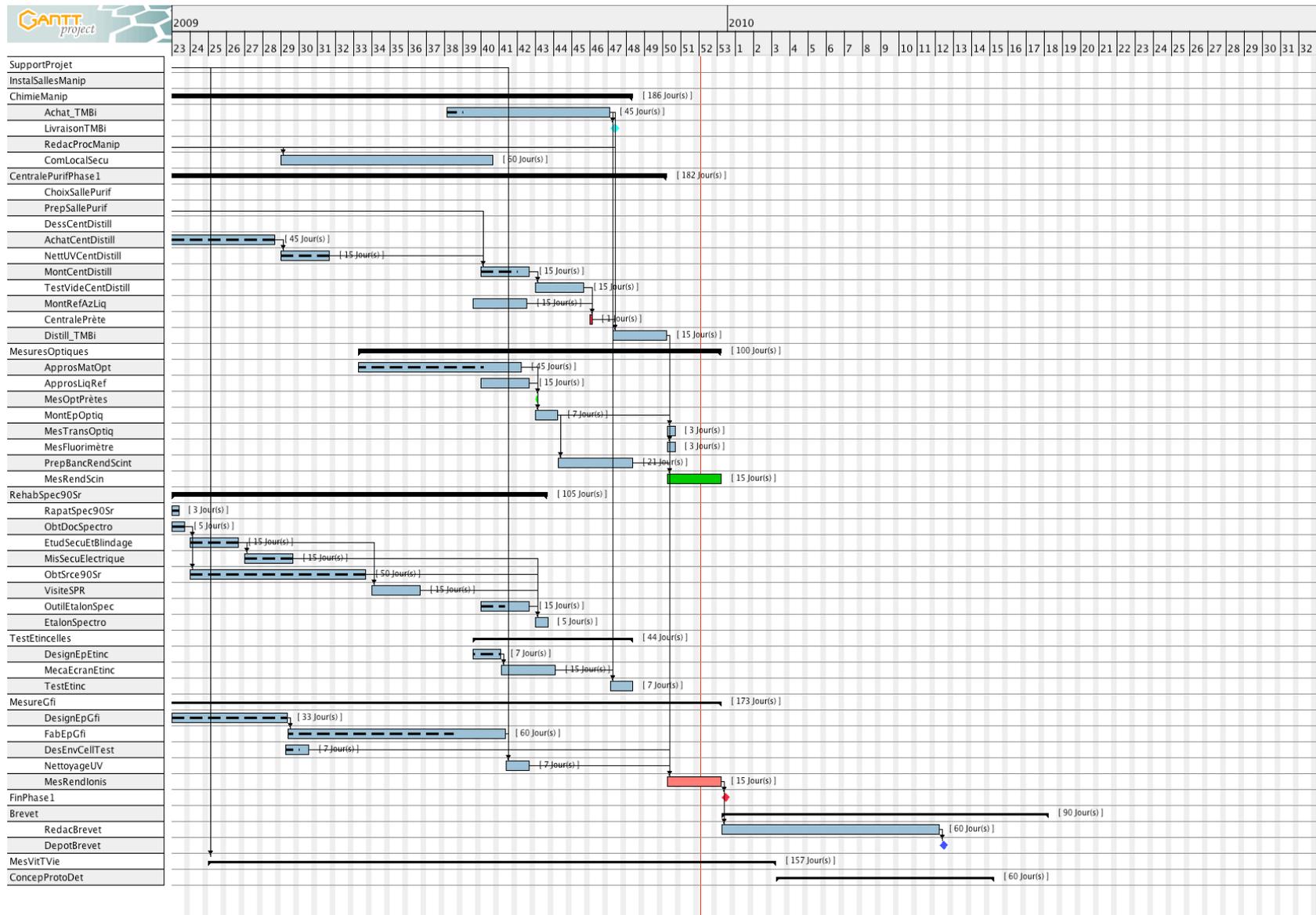
5 à 10 Gy, tumeur de 2 cm, ==> 10^9 ^{12}C . (S. Jan, SHFJ)

$1.5 \cdot 10^8$ ^{16}O , en deux minutes, 1 à qq MHz => validation faisceau rapide

$4 \cdot 10^8$ ^{11}C en 40 minutes, 170 kHz => Dosimétrie tumeur à postériori

Enjeux : Efficacité, résolution spatiale

Démonstration physique, en cours!

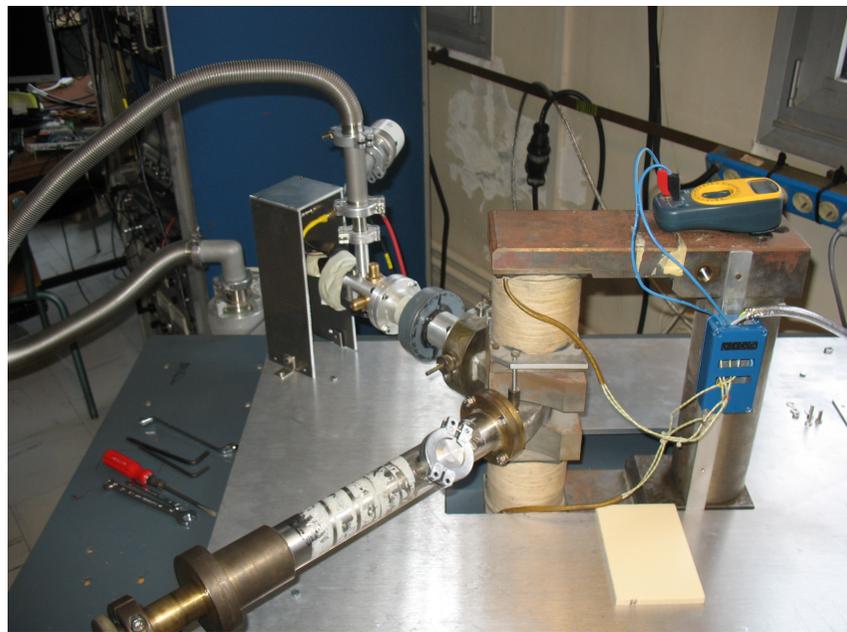


Banc de purification « propre »



Faisceau e⁻, énergie étalonnée

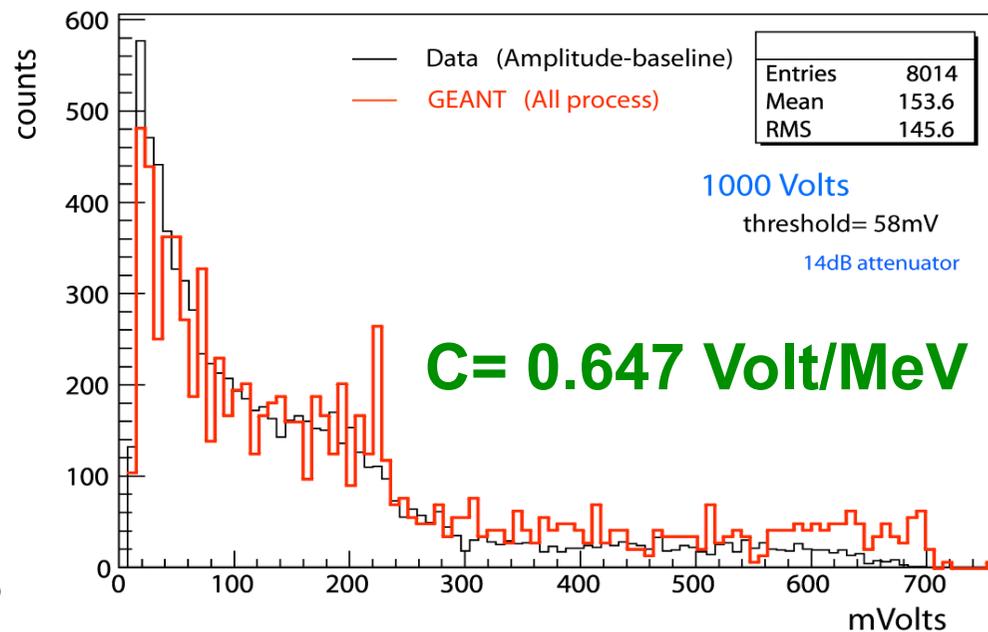
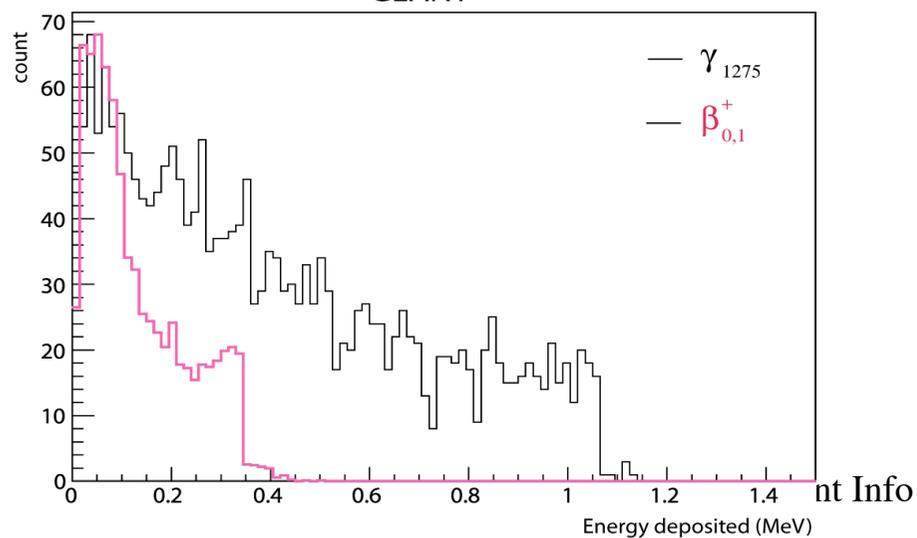
P. Verrecchia



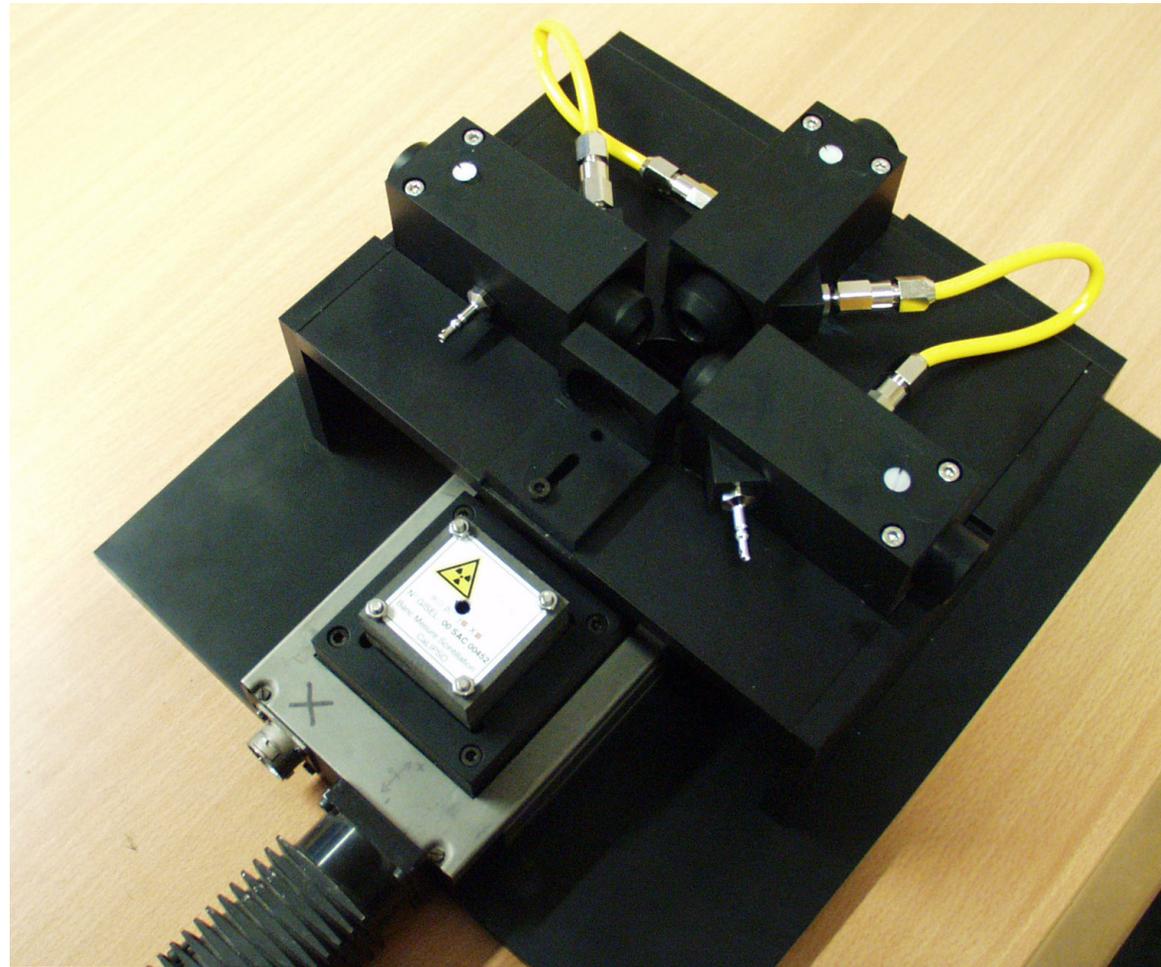
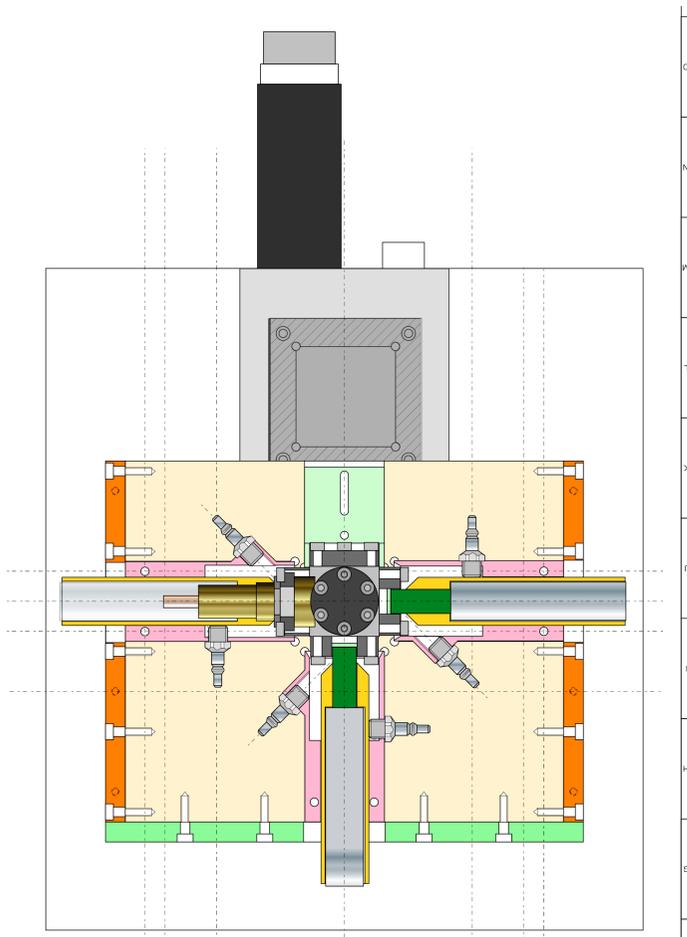
GEANT

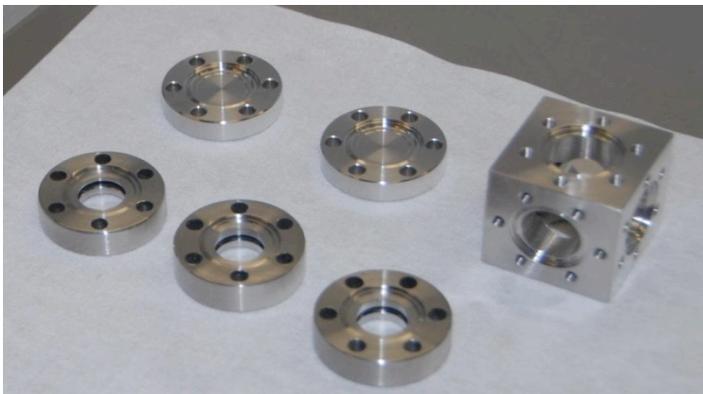


Source Sodium-22

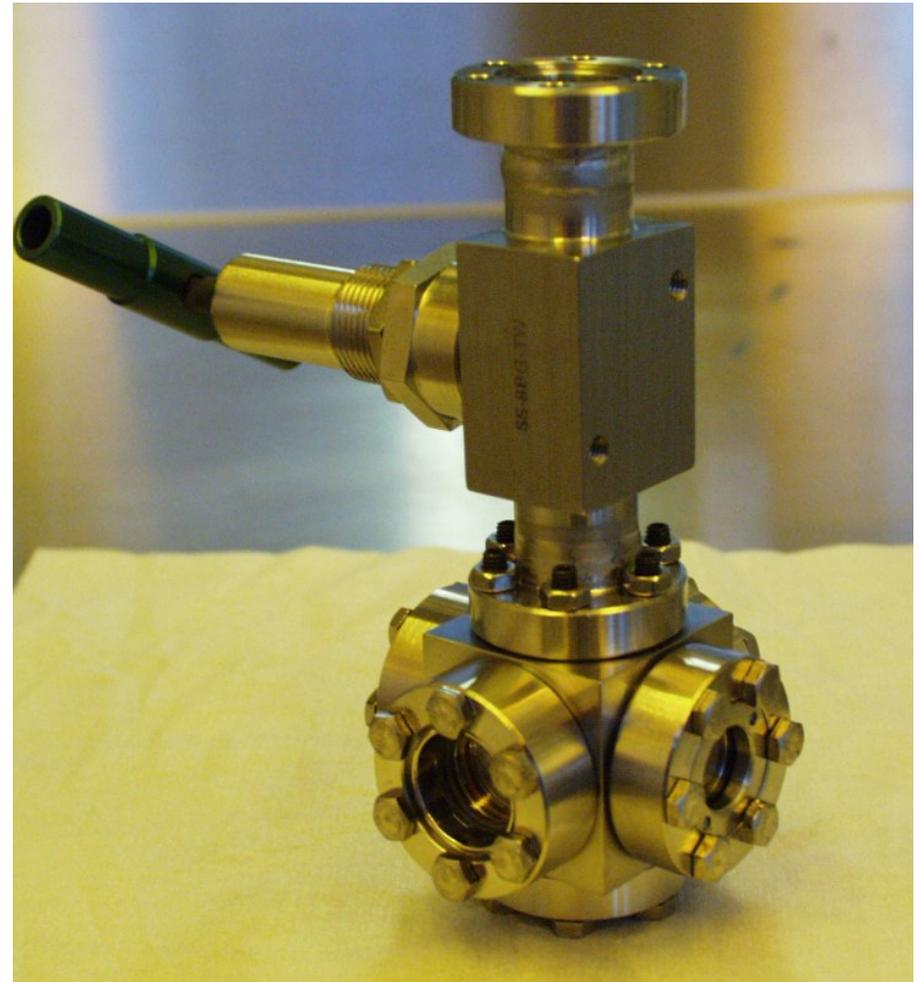


Caractérisation Optique





Cellule Optique



Fenêtres MgF2
120 nm - 800 nm

Vers l'avenir

Mesures physiques en cours:

5 bancs de test 😊. 3 fonctionnels, 2 à monter et exploiter.

3 configurations d'éprouvette. 2 montées, une en cours.

Nous recherchons un étudiant thésitif, un volontaire....

Puis un démonstrateur technologique

? 2 ans ?

Investissement humain important anticipé

Puis validation TEP au SHFJ

6 mois de plus..... sur rats vivants

Financement du démonstrateur

Soutien du Neuropole de Recherche Francilien (NERF), 66%, 200 k€, 2 ans



Merci à tout ceux qui nous ont soutenus/guidés dans ces démarches.