

# CaLIPSO

## Un nouveau détecteur en vue de TEP (plus) efficaces

Haut rendement , Résol. Spatiale 1mm<sup>3</sup>, Uniforme en 3D

*P. Verrecchia, D. Yvon, + (A. Lepomme, V. Reithinger) (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*  
*M. Porchet (DSM/Valo), I. Buvat (CNRS/INMC)*

29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

## 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 -----  
----- Vers le 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, simulation sous GATE

### NeuroSpin: A. Amadon.

- Discussions Compatibilité TEP/RMN.

### CNRS/INMC:

I. Buvat, Simulation détecteur sous GATE,

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

- Chimie organométallique - Milieu de 2<sup>ème</sup> Génération

29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

2

# Plan

Principe de la détection TEP  
Rappel de Physique de base

L'idée CaLIPSO

Enjeux autour des détecteurs TEPs  
Intérêt du milieu médical

Progrès récents

Mesures des propriétés physiques du TMBi

Vers une démonstration technologique

Validée sur une imagerie Rat (au SHFJ).

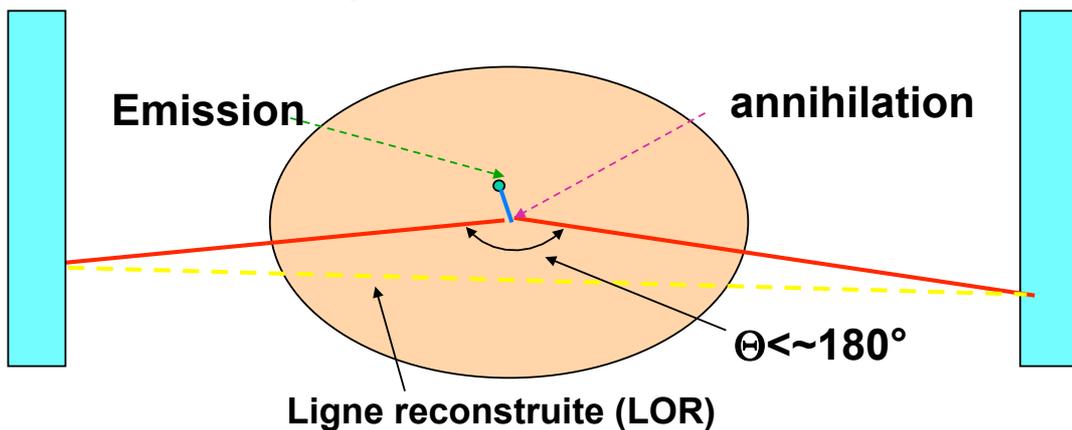
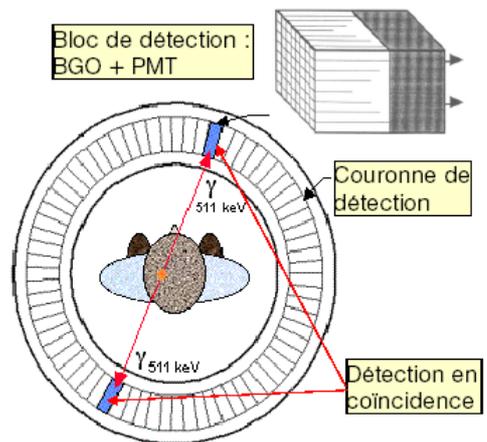
# Principe de détection TEP

Emission  $\beta^+$

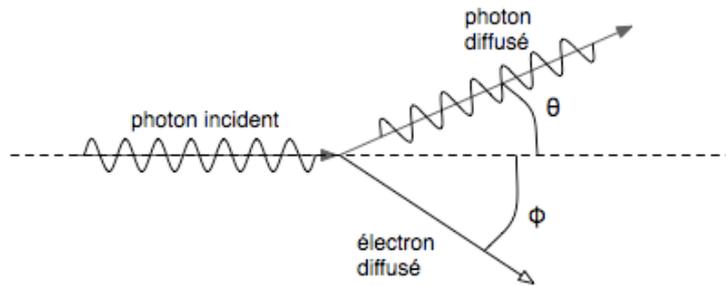
Parcours du  $\beta^+$  dans l'organe:

$^{18}\text{F}$ : Tâche : 1 mm, FWHM

Annihilation en deux  $\gamma$ :



# Diffusion Compton



Diffusion Compton: Collision d'un photon avec un électron au repos

## Interaction Gamma – Electron

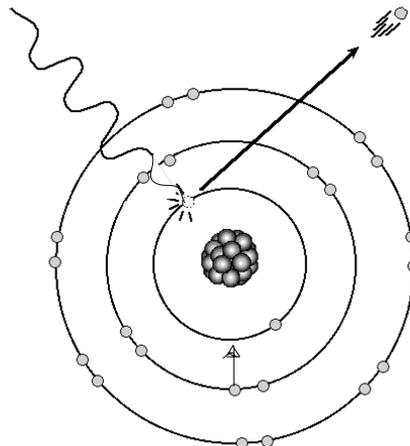
Un **Photon** énergétique en entrée

Un **Electron** et un **Photon** toujours énergétique en sortie

**Conversion Partielle de l'Energie du photon**

**Poison de l'imagerie TEP**

# Effet Photo-Electrique



## Interaction Gamma – Atome

Un **Photon** énergétique en entrée

Un **Electron** énergétique en sortie

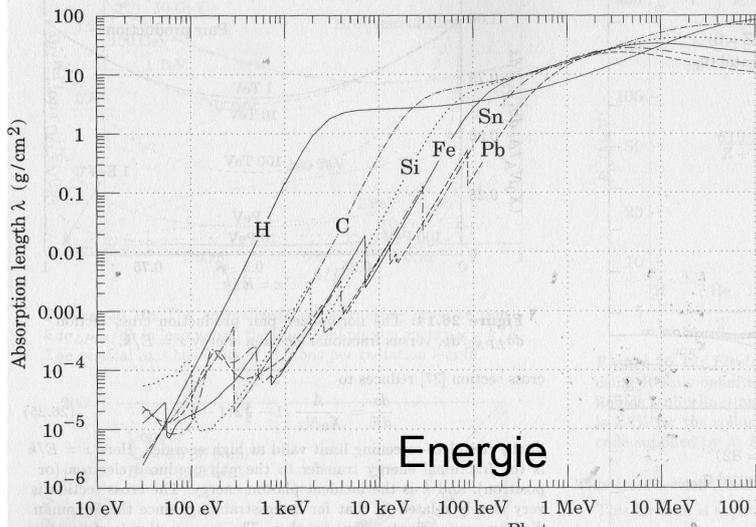
**Conversion totale et locale de l'énergie du Photon**

**Interactions utiles dans le détecteur**

# Longueur atténuation

Longueur Atténuation

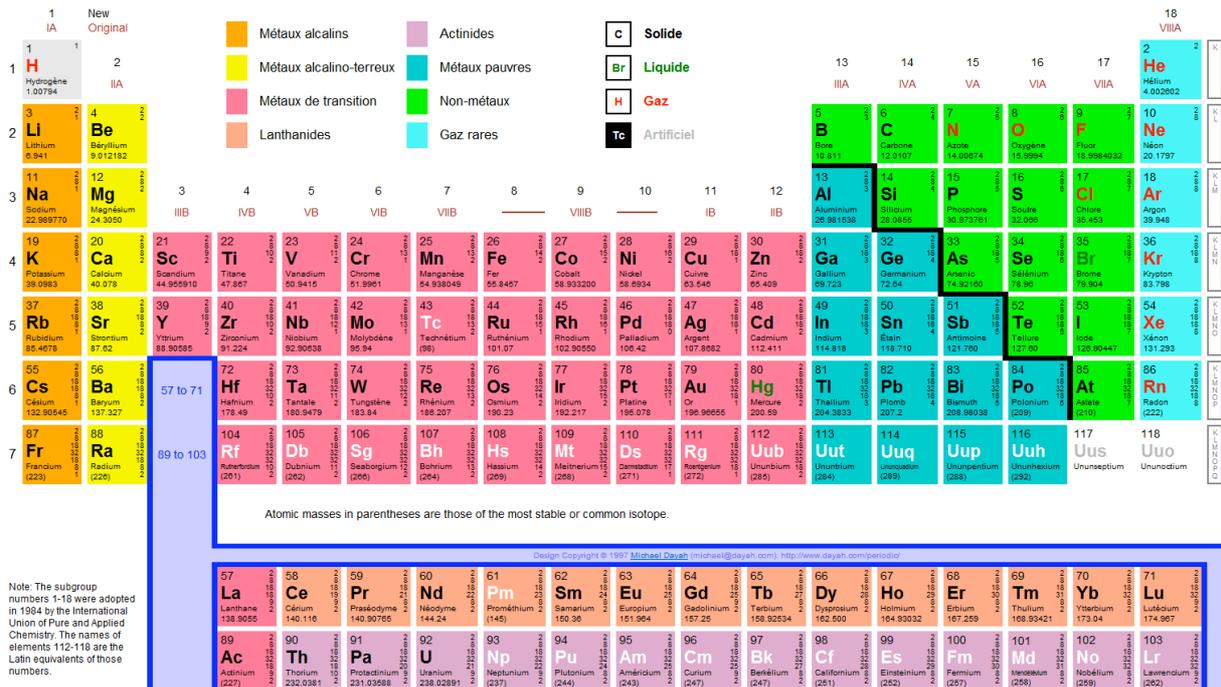
Rapporté a  $D=1\text{g/cm}^3$

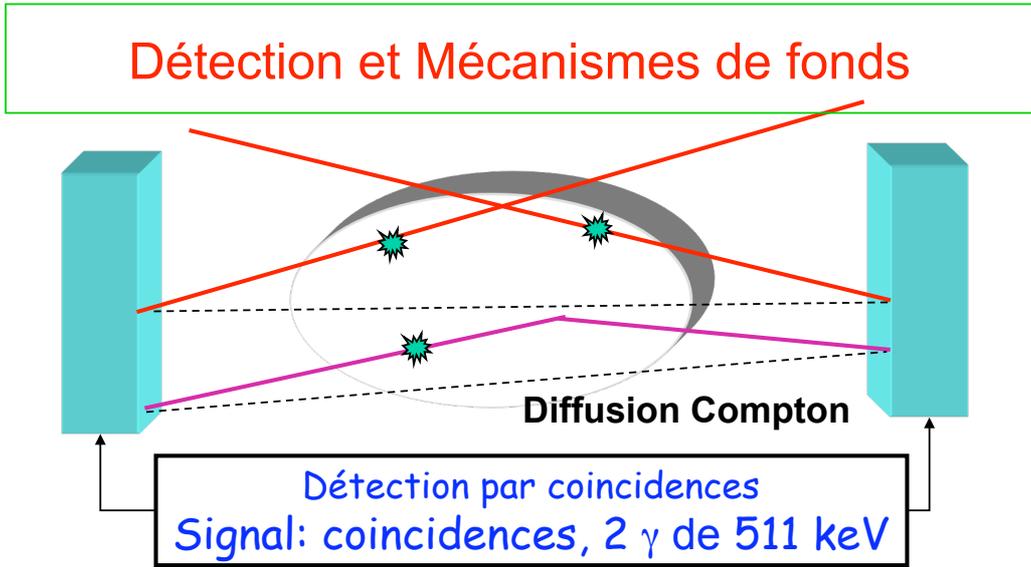


Effet Compton ne dépend pas de Z,  $\sim \text{cste}$ , puis  $1/E$

Effet Photoélectrique varie  $\sim Z^5 E_{\text{ph}}^{-3/5}$ , domine si Z grand.

# Classification périodique des Elts





**Fonds:**

Coincidence Fortuites (angle solide)  
Diffusion Compton in vivo

**Perte d'efficacité:**

Diffusion Compton dans le(s) détecteurs

**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: SigPE/(SigPE+SigComp)

**Résolution en énergie**

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

**Résolution Temporelle**

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

**Localisation des interactions**

Objectif? 1 mm

**Couverture de grand Angle Solide aisée et temps de comptage**

Objectif 4 Pi! 1 à qq kHz/cm<sup>2</sup>

**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 %

La référence!

### Résolution en énergie

15% au mieux pas excellent

### Relativement rapides:

$\tau_s \sim 40$  ns, 30 kγ/MeV, Résol. en temps  $\sim 2$  ns.

### Localisation des interactions

$\sim 1$  cm. Pas « naturel », sauf à fractionner les cristaux

### Couverture de grand Angle Solide aisée et temps de comptage

Les cristaux sont chers! 1 à qq kHz/cm<sup>2</sup>

### Simplicité - Fiabilité de mise en œuvre.

Excellente, Cristaux + PM ou APD simples et fiables

## L'idée CaLIPSO

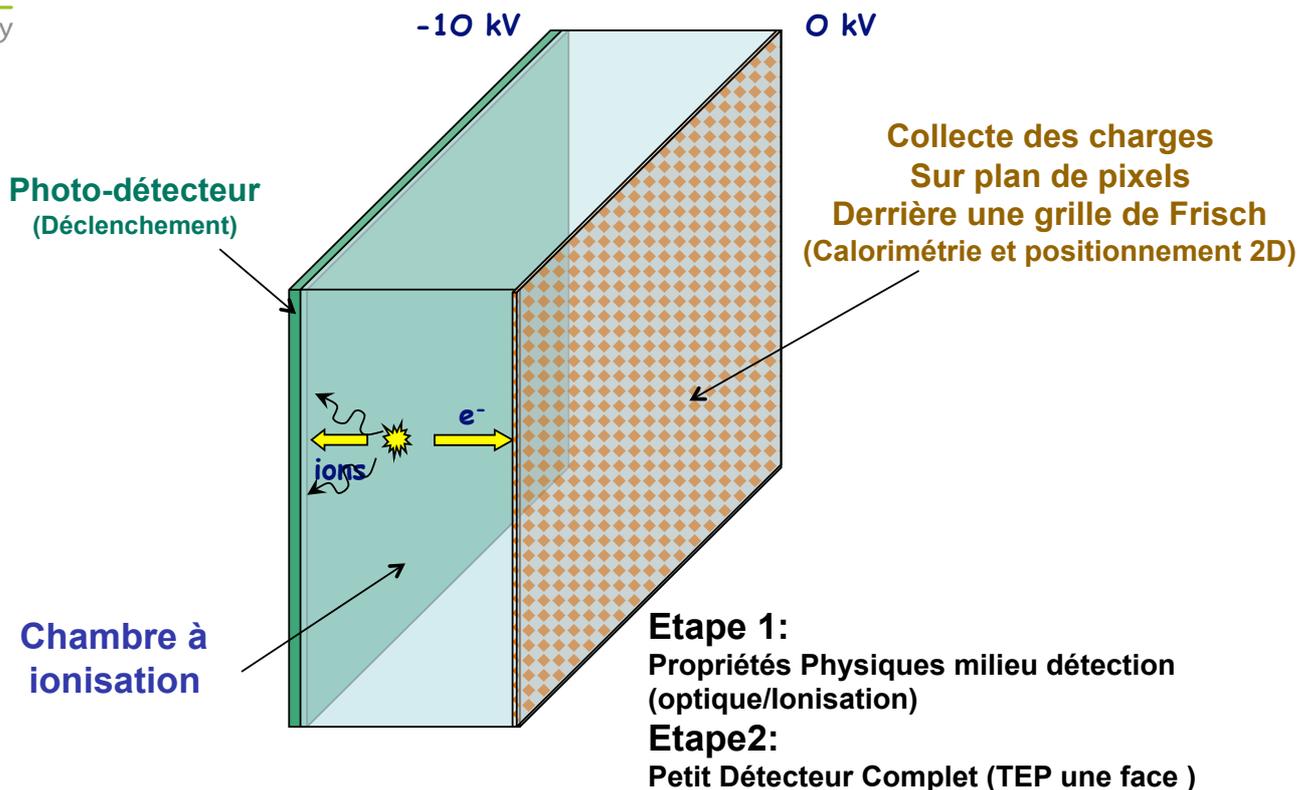
! 😊 Censuré 😊!  
.... Dépôt de brevet: FR 1 052 047 ....

## Comparatif des milieux de détection

	LSO	CdTE	Xénon liquéfié	TMBi
Longueur d'atténuation	95% (2,2cm)	95% (5cm)	95% (10cm)	85% (5cm)
Rapport photoélectrique	30%	15%	21%	57%
$\tau_{scin}$	40 ns	Lent (porteurs)	4 ns	< 1 ns
Résolution énergie (FWHM)	15%	1%	5%	<10%
Localisation des interactions	~1 - 0.2 cm Fraction.	1 – 5 mm Fraction.	150 $\mu$ m	150 $\mu$ m
Utilisateur	Facile	Facile	Difficile	Facile

*Motivant !*

## Principe du détecteur



## Bilan - 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

## Intérêt d'un TEP CaLIPSO (1)

### TEP clinique (Hospitalière, Oncologie):

Enjeux: Efficacité de détection ~ 1 %, bruit de fond, résolution spatiale.

Détection précoce de tumeurs. Irradiation du personnel hospitalier.

Potentiel CaLIPSO: Gain en Efficacité, 2 à 8 selon la résolution spatiale désirée

### TEP petit animal (souris-rat, utilisation pharmacologique):

Enjeux: Résolution spatiale (mm) et efficacité

Accès à la cinétique de fixation des médicaments

Potentiel CaLIPSO: Gain en résolution, >8 en volume.

## Intérêt d'un TEP CaLIPSO (2)

### TEP Cerveau (Neurologie fonctionnelle)

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

#### **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*

**Mais aussi Multi-Rongeurs.....**

Soutien du Neuropole de Recherche Francilien (NERF) 😊

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

## Intérêt pour le milieu médical

*S'assurer de l'intérêt médical de l'approche*  
(les améliorations apportées par le nouveau détecteur sont-elles perçues comme importantes pour les médecins)

## Imagerie de modèles animaux

Ph. Hantraye, MIRCEN  
+ R. Trébossen, SHFJ

Modèle Rongeur + Traceur ([<sup>18</sup>F]FDG, autres).

Mes. activité des Cibles.

Mais Variabilité des radio-traceurs.

ET résolution spatiale ++

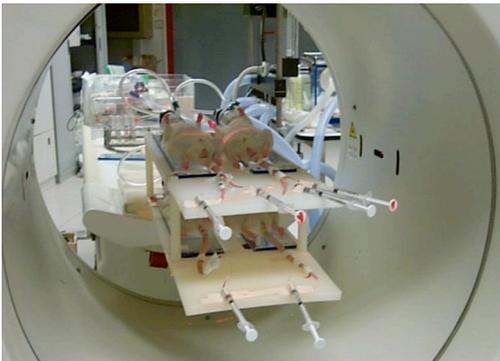
Efficacité de détection ++

=> Concent. Cibles + précise

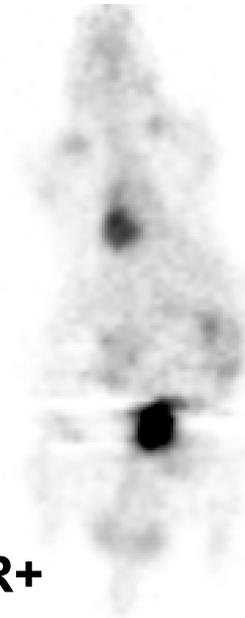
Acq. Simultanée de multi-animaux:

=> Variabilité des résultats réduite

+ Gain de temps.



Dispositif d'acquisition  
29/08/11



HR+

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.



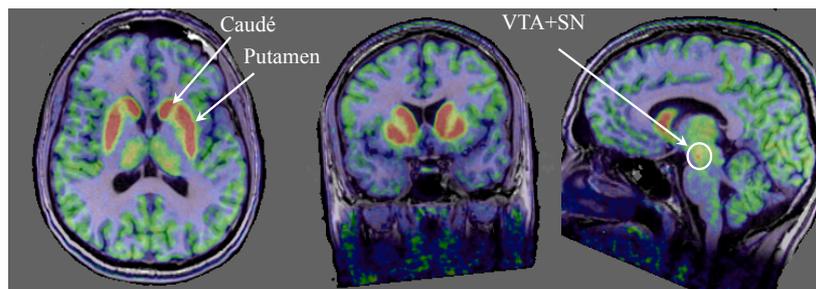
HRRT

Cibles basses concentrations

+Vers imagerie TEP « Vidéo »

## L'imagerie cérébrale TEP haute résolution spatiale

Neuro-transmetteurs travaillent à faible concentration



### ➤ Meilleure récupération de contraste

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

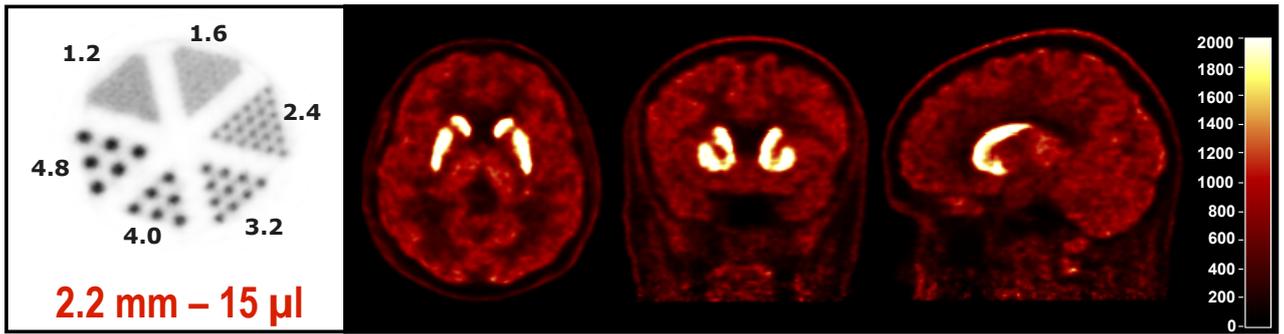
### ➤ Meilleure définition des structures d'intérêt

- 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....)

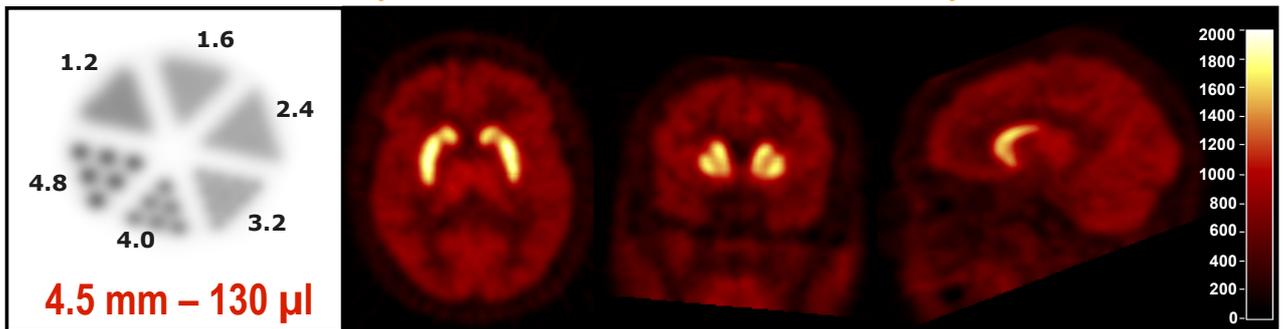
C. Leroy, J Nucl Med 48 (4), 2007 ;FC Sureau, J Nucl Med 49 (6), 2008.

E. Artiges, Psychiatre  
R. Trebossen, SHFJ

HRRT (Siemens Medical Solutions)



HR+ (Siemens Medical Solutions)



axial coronal sagittal

29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

Leroy et al, JNM, 2007

21

Hadronthérapie, TEP « en ligne »?

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

Emetteur  $\beta^+$  produits en hadronthérapie: (K. Parodi)

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

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

Ordre de grandeur de flux, cas  $^{12}\text{C}$

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

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

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

Enjeux : Efficacité, résolution spatiale

29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

22

## Plus généralement: Radiologie

### Tumeurs cérébrales ou autres:

Suivi post-opératoire

Recherche de métastases.

### L'hyper-insulinisme du Nourisson

### Diagnostic de l'épilepsie

Et plus généralement des hypo-métabolismes (efficacité, résolution mm<sup>3</sup>!)

### Souvent Image IRM Normale:

=> Accès à l'activité métabolique indispensable.

Prof. Boddart (Radiologie Pédiatrique, Hopital. Necker)

Vers le concret

## Progrès Récents

### *Banc de Purification:*

Dégazage, Distillation,  
*Tamis Moléculaire,*

### *Outil de base*

Validé, Opérationnel en routine  
En cours de montage

### Mesures Optiques

Absorbance, Fluorimétrie *Cellule Optique*  
Rendement de Scintillation *Banc de Rend. Scin.*

Liquide: *TMSi, TMBi, LAB, LAB-PPO (DRT/DETEC)*

### Mesures d'ionisation

*Gfi*

$\tau_{Vie}$ ,  $V_{deriv}$

Liquide: *TMSi, TMBi*

*Cellule Gfi, Banc Gfi,*

*Cellule TVie, Acq. Charge en Impulsion*

29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

25

## Banc de purification « propre »



29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

26



## Banc de Purif

Vide limite:  $5.5 \cdot 10^{-8}$  Torr  
 Taux Fuites  $1.1 \cdot 10^{-7}$  Torr.l.s<sup>-1</sup>

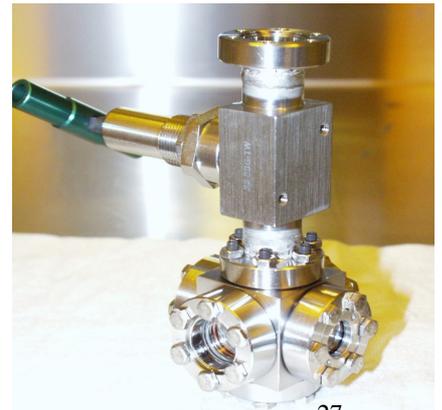


## Livraison TMBi

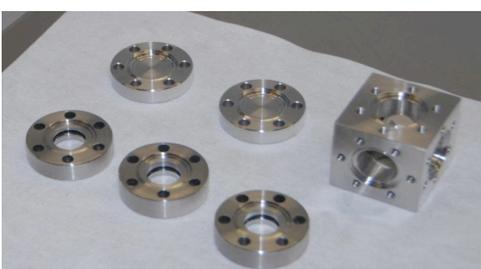
OK

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

## Cellule Optique (≈ 20ml)



27



29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

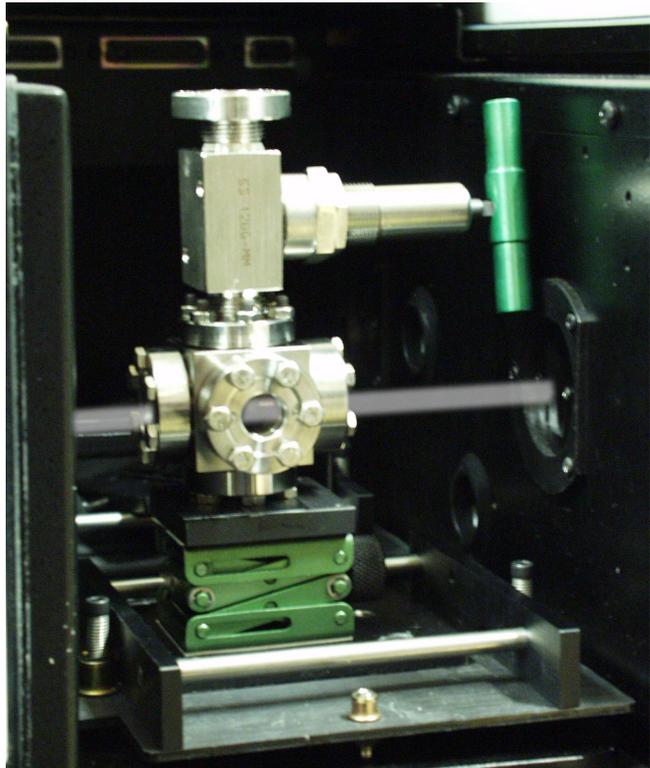
## Cellule Optique



**Fenêtres MgF2**  
 120 nm - 800 nm

28

# Mesures d'absorbance et fluorimétrie

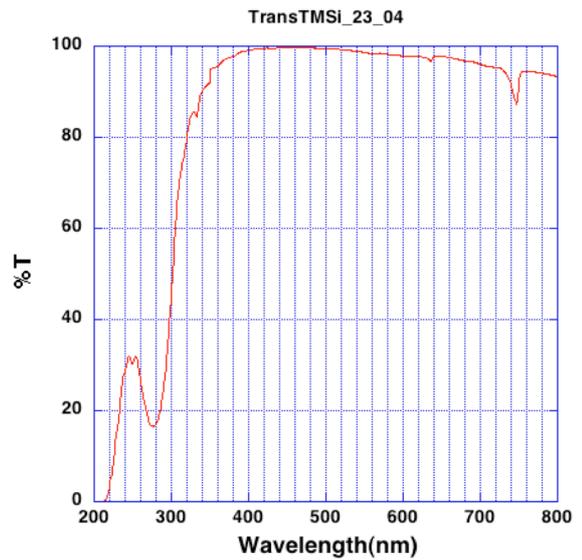
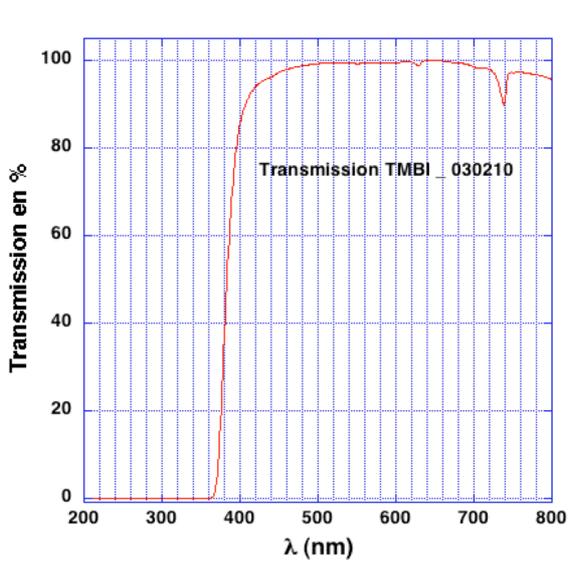


29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

29

# Spectre de transparence du TMBi (et TMSi)

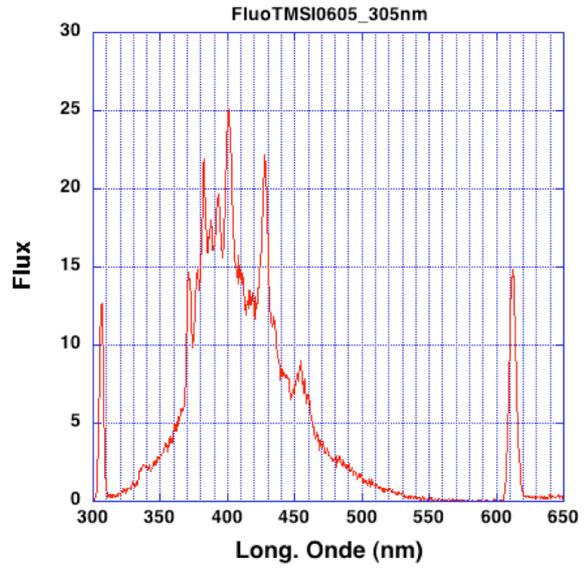
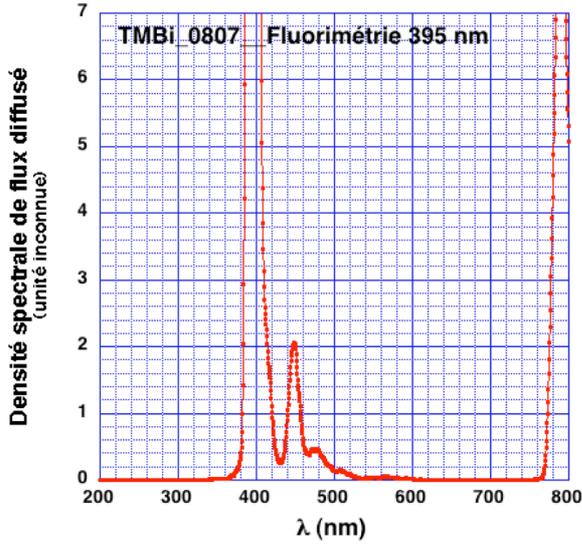


29/08/11

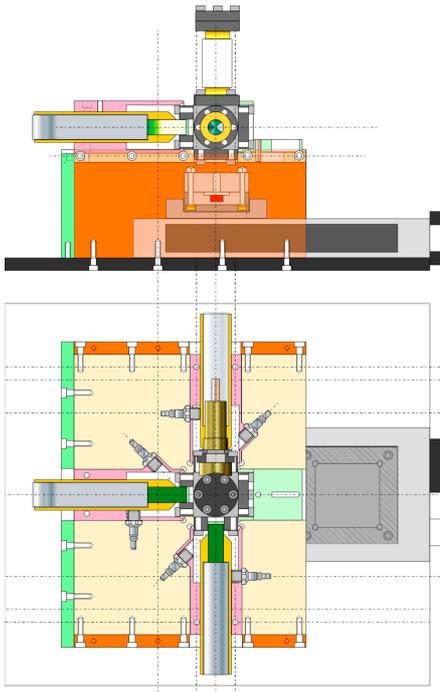
D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

30

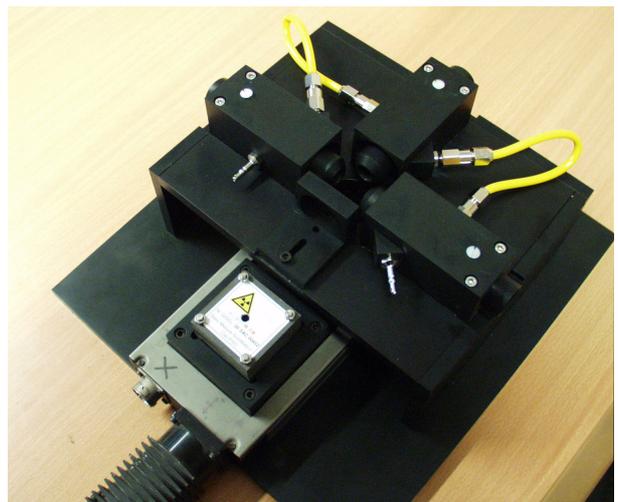
## Spectre de fluorimétrie du TMBi et TMSi



## Banc de Rendement de Scintillation



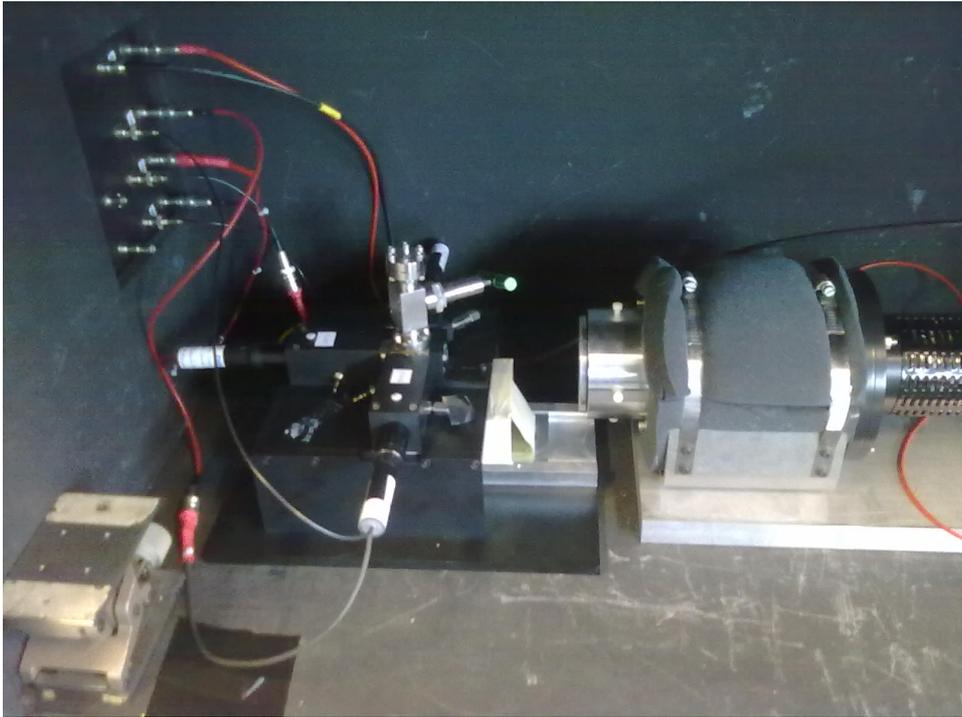
Dessins, D. Desforges



Une mécanique esthétique

Principe: Ph. Cassette, LNHB

## Banc de Rendement de Scintillation En situation



29/08/11

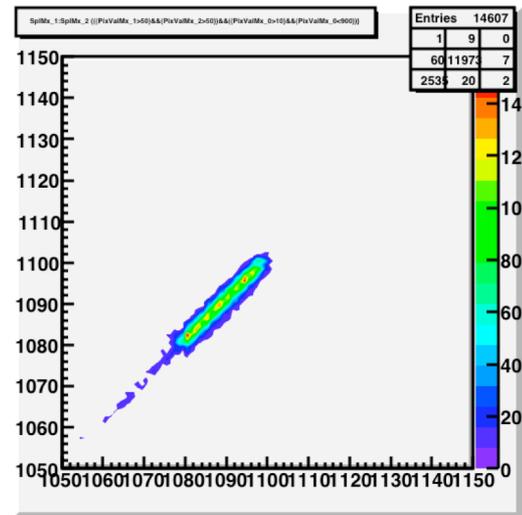
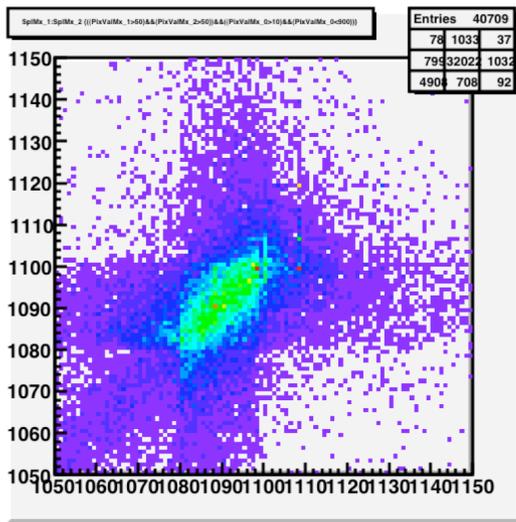
D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

33

## Temps de décroissance de scintillation

LAB+PPO, LAB-Pb+PPO,

TMBi, TMSi



Temps de décroissance scintillation LAB  
~ 5 ns

Temps de décroissance scintillation  
TMBi et TMSi **Rapide! < 1.5 ns**

29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

34

## Rendement de Scintillation (Lab-Pb + PP0)

### Exploitation BPRS LABPb Run 165-167

<b>Rd Scint LAB:</b> (NbPhot/MeV)	10000						
<b>PicEm PPO:</b> (nm)	375						
<b>Eff PhEI LAB:</b> (ss dimm)	0,28		Ape (nb/MeV)	2800			
<b>Run Etalonnage LAB:</b> 165							
<b>Source:</b> 57Co	EDepMoy:	2,33E-02	(MeV)				
<b>NbCoinc1-2</b>	<b>NbCoinc1-3</b>	<b>NbCoinc2-3</b>	<b>NbCoinc1-2-3</b>	<b>NbCoinc1-2</b>	<b>NbCoinc1-3</b>	<b>NbCoinc2-3</b>	<b>NbCoinc1-2-3</b>
6119	6497	5875	2764	5381	5642	5117	2063
Rap12	Rap13	Rap23		Rap12	Rap13	Rap23	
2,21382055	2,35057887	2,12554269		1,94681621	2,04124457	1,85130246	
<b>CoupOpt1</b>	<b>CoupOpt2</b>	<b>CoupOpt3</b>		<b>CoupOpt1</b>	<b>CoupOpt2</b>	<b>CoupOpt3</b>	
9,74E-03	8,49E-03	9,21E-03		1,19E-02	1,03E-02	1,10E-02	
<b>PicEm TMBi:</b> (nm) 420							
<b>Eff PhEI TMBi:</b> (ss dimm)	0,26						
<b>RapCplOptTMBi/LAB:</b>	1						
<b>Run Etalonnage LABPb</b> 167							
<b>Source:</b> 22Na	EDepMoy:	3,00E-01	(MeV)				
<b>NbCoinc1-2</b>	<b>NbCoinc1-3</b>	<b>NbCoinc2-3</b>	<b>NbCoinc1-2-3</b>	<b>NbCoinc1-2</b>	<b>NbCoinc1-3</b>	<b>NbCoinc2-3</b>	<b>NbCoinc1-2-3</b>
3203	3709	3078	1290	2923	3257	2780	1141
Rap12	Rap13	Rap23		Rap12	Rap13	Rap23	
2,482945736	2,8751938	2,38604651		2,26589147	2,5248062	2,15503876	
<b>APE_1</b>	<b>APE_2</b>	<b>APE_3</b>		<b>APE_1</b>	<b>APE_2</b>	<b>APE_3</b>	
185,799224	167,735527	186,515012		1,75E+02	1,63E+02	1,76E+02	
<b>A_1</b>	<b>A_2</b>	<b>A_3</b>		<b>A_1</b>	<b>A_2</b>	<b>A_3</b>	
(NbPhot/MeV)	(NbPhot/MeV)	(NbPhot/MeV)		(NbPhot/MeV)	(NbPhot/MeV)	(NbPhot/MeV)	
<b>7,15E+02</b>	<b>6,45E+02</b>	<b>7,17E+02</b>		<b>6,71E+02</b>	<b>6,27E+02</b>	<b>6,76E+02</b>	

650 ph/MeV

29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

35

## Rendement de Scintillation TMBi

### Exploitation BPRS, TMBi Run 168-169

<b>Rd Scint LAB:</b> (NbPhot/MeV)	10000						
<b>PicEm PPO:</b> (nm)	375						
<b>Eff PhEI LAB:</b> (ss dimm)	0,28		Ape (nb/MeV)	2800			
<b>Run Etalonnage LAB:</b> 169							
<b>Source:</b> 57Co	EDepMoy:	2,33E-02	(MeV)				
<b>NbCoinc1-2</b>	<b>NbCoinc1-3</b>	<b>NbCoinc2-3</b>	<b>NbCoinc1-2-3</b>	<b>NbCoinc1-2</b>	<b>NbCoinc1-3</b>	<b>NbCoinc2-3</b>	<b>NbCoinc1-2-3</b>
2269	2301	2106	1046	1987	1980	1821	780
Rap12	Rap13	Rap23		Rap12	Rap13	Rap23	
2,169216061	2,1998088	2,01338432		1,89961759	1,89292543	1,74091778	
<b>CoupOpt1</b>	<b>CoupOpt2</b>	<b>CoupOpt3</b>		<b>CoupOpt1</b>	<b>CoupOpt2</b>	<b>CoupOpt3</b>	
1,05E-02	9,29E-03	9,47E-03		1,31E-02	1,15E-02	1,15E-02	
<b>PicEm TMBi:</b> (nm) 420							
<b>Eff PhEI TMBi:</b> (ss dimm)	0,28						
<b>RapCplOptTMBi/LAB:</b>	1						
<b>Run Etalonnage TMBi:</b> 168							
<b>Source:</b> 60Co	EDepMoy:	8,36E-01	(MeV)				
<b>NbCoinc1-2</b>	<b>NbCoinc1-3</b>	<b>NbCoinc2-3</b>	<b>NbCoinc1-2-3</b>	<b>NbCoinc1-2</b>	<b>NbCoinc1-3</b>	<b>NbCoinc2-3</b>	<b>NbCoinc1-2-3</b>
3994	7665	3346	411	3898	6079	3257	381
Rap12	Rap13	Rap23		Rap12	Rap13	Rap23	
9,717761557	18,649635	8,14111922		9,48418491	14,7907543	7,92457421	
<b>APE_1</b>	<b>APE_2</b>	<b>APE_3</b>		<b>APE_1</b>	<b>APE_2</b>	<b>APE_3</b>	
14,89764289	7,0945989	13,7118952		1,53E+01	9,01E+00	1,41E+01	
<b>A_1</b>	<b>A_2</b>	<b>A_3</b>		<b>A_1</b>	<b>A_2</b>	<b>A_3</b>	
(NbPhot/MeV)	(NbPhot/MeV)	(NbPhot/MeV)		(NbPhot/MeV)	(NbPhot/MeV)	(NbPhot/MeV)	
<b>5,32E+01</b>	<b>2,53E+01</b>	<b>4,90E+01</b>		<b>5,48E+01</b>	<b>3,22E+01</b>	<b>5,02E+01</b>	

Note IRFU UB/DY/292/2010

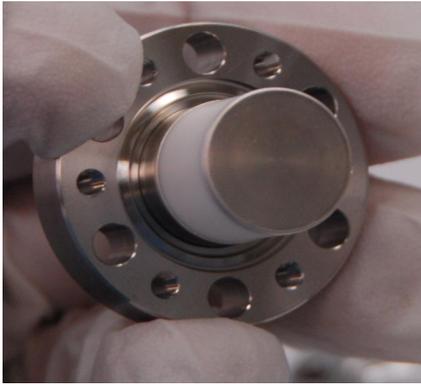
Pas de scintillation: Effet Cerenkov  
Rendement scintillation: ~130 ph/MeV

29/08/11

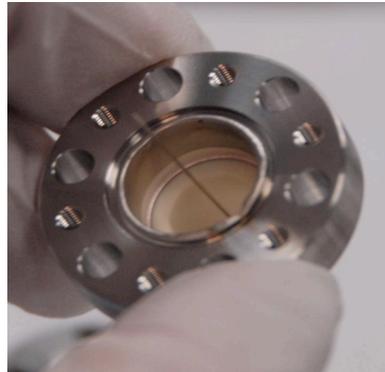
D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

36

## Cellules Gfi: Rendement d'ionisation



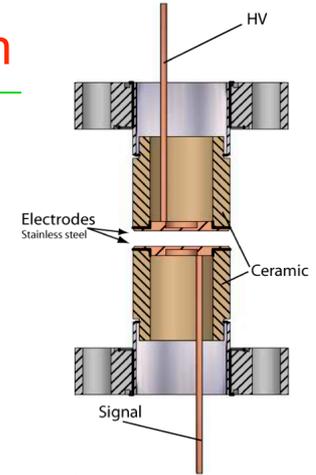
Face interne



Face externe

### Electrodes

OK



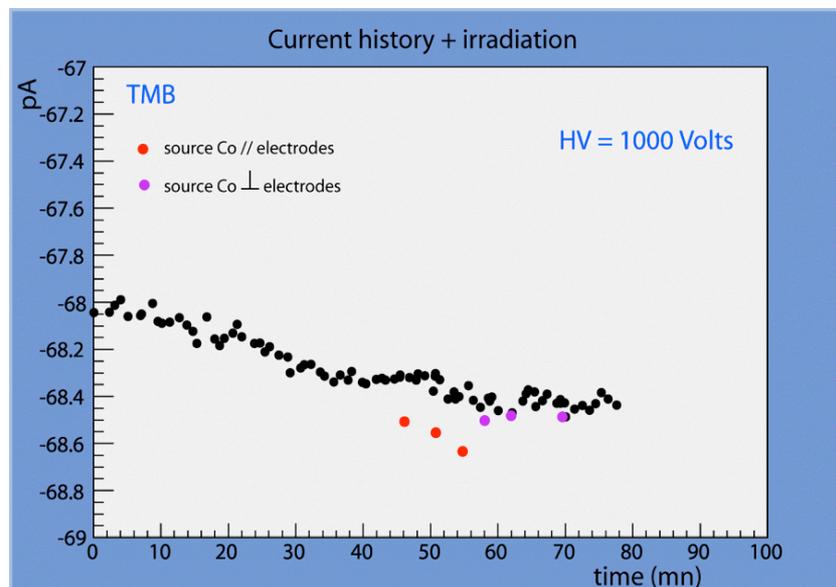
29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

37

## Mobilité des électrons dans TMBi et TMSi

Cellule sous tension, 5 kV/cm. Mesure de courant ~pA.  
 sous/hors irradiation  $^{60}\text{Co}$ : Mobilité TMBi ~ au TMSi.  
 Note IRFU UB/DY/292/2010



P. Verrecchia,  
 + à la demande

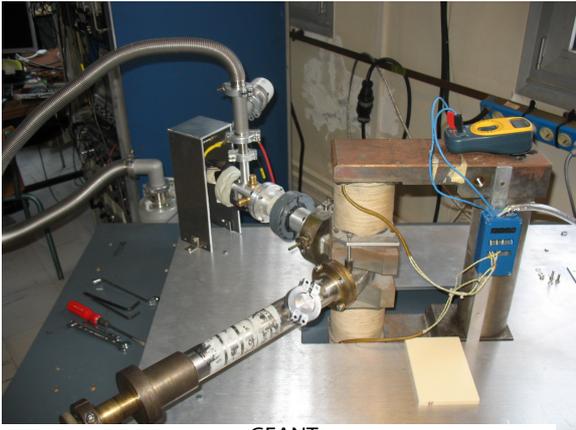
29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

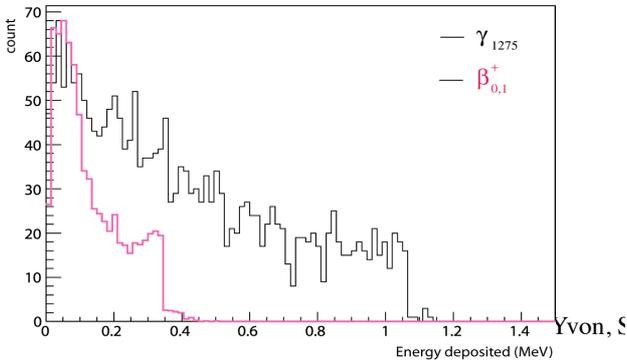
38

# Faisceau e<sup>-</sup>, énergie étalonnée

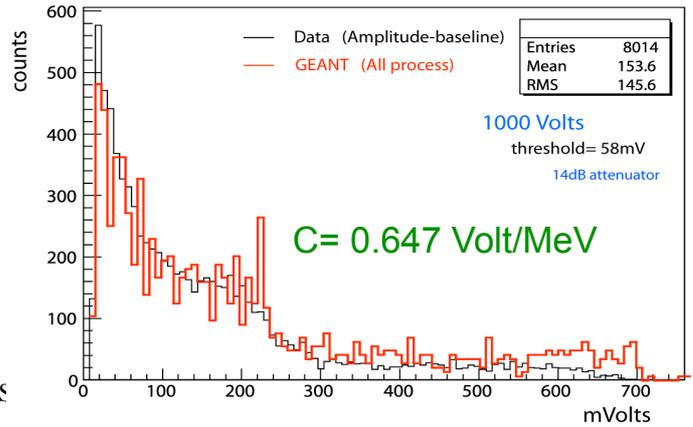
P. Verrecchia  
JP. Bard



GEANT

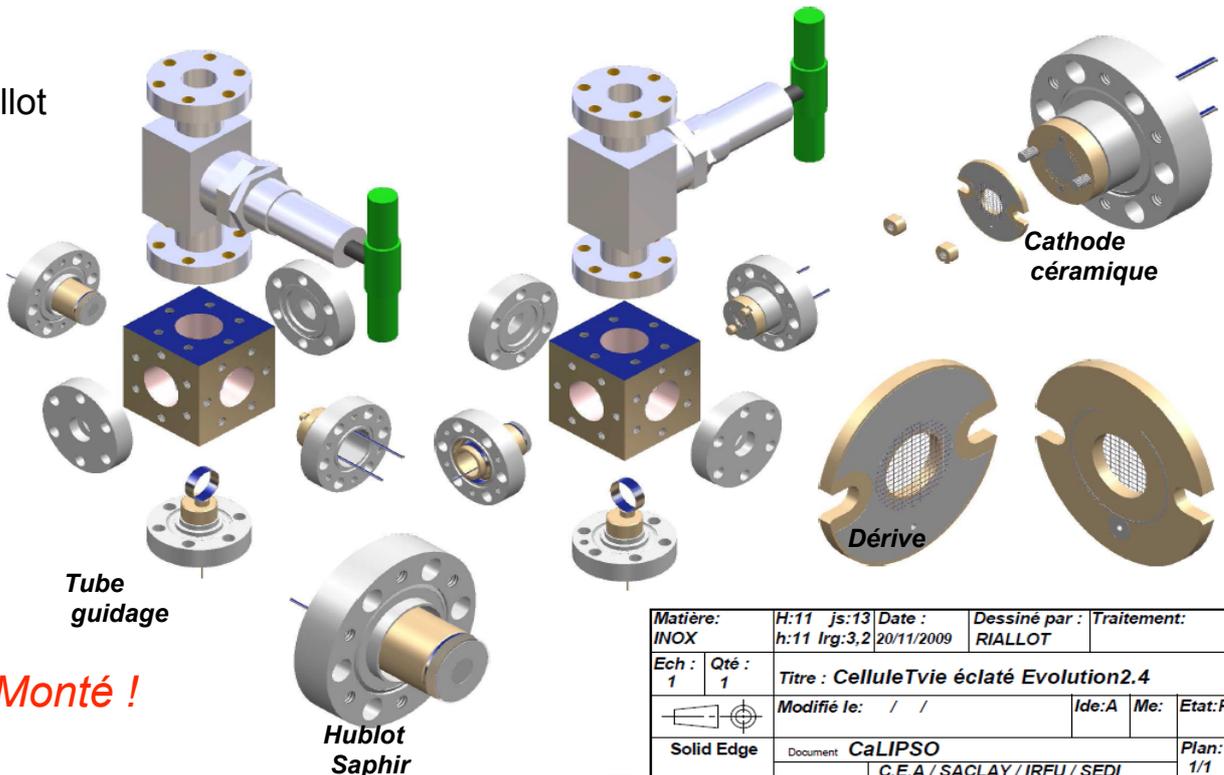


Source Sodium-22



# Cellule $\tau_{vie}$ Mesure de la vitesse de dérive des électrons

M. Riallot



## Chambre Ionisation TMSi

H. Hara et al., Rad. Measurements, 29 (1998) 1-8

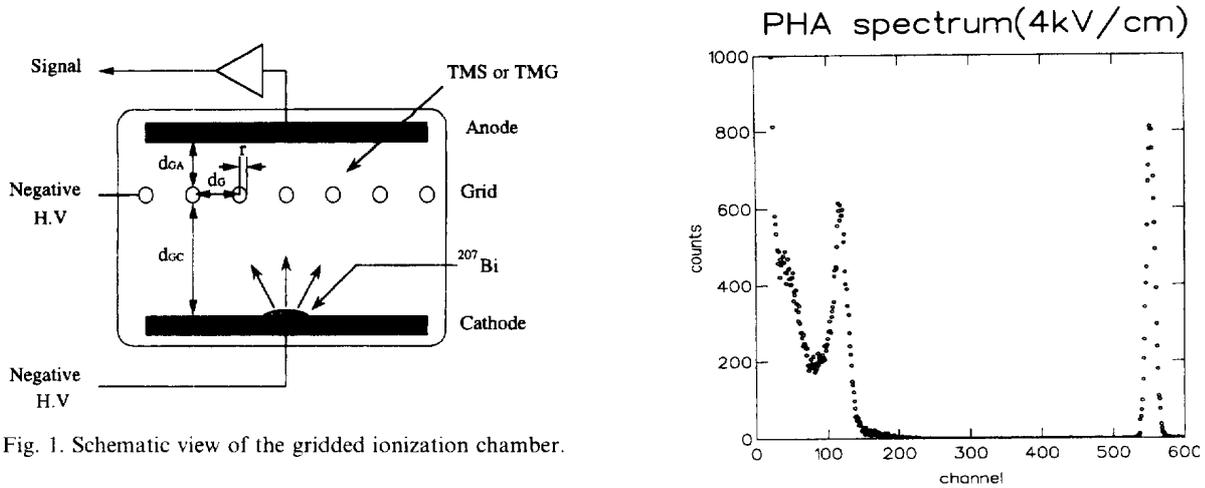


Fig. 1. Schematic view of the gridded ionization chamber.

Largeur dominée par l'électronique et le piègeage lors de la dérive de charge  
Résolution 5.4 %, 1  $\sigma$ , à 976 keV

29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

41

## Vers l'avenir: Feuille de Route

### Mesures physiques en cours:

- 5 bancs de test 4 fonctionnels et exploités ☺, 1 en cours.
- 3 configurations d'éprouvette. 2 montées, 1 en cours
- + 2 en préparation (Mesure d'indice optique + Tscint).

### Puis un démonstrateur technologique

- Un démonstrateur optique
- Banc Ultrapurification
- Un démonstrateur ionisation
- Assemblage en un détecteur, duplication détecteur.

Investissement humain *important* anticipé. *De l'aide sera la bienvenue*

### Puis validation imagerie TEP au SHFJ

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

### Financement du démonstrateur

Soutien du Neuropole de Recherche Francilien (NERF), 53%, 200 k€, 2 ans  
Merci à tout ceux qui nous ont soutenus/guidés dans ces démarches.

**Il nous faut aussi trouver 200 k€ et CDD => Demande ANR SVSE5**

29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

42

## Projet de Détecteur CaLIPSO

Réaliser « Un Plan »: un détecteur de photons au MeV 10x10 cm<sup>2</sup>

Aborder tous les points clefs *novateurs* du détecteur: *rapidement*

- Maitrise de la purification du milieu de détection
- Maitrise de l'ultra propreté des mécaniques et instruments.
- Maitrise des hautes tensions nécessaires à la dérive des charges.
- Détection en scintillation des liquides organométalliques.
- Maitrise de la densité d'électronique de lecture nécessaire
  - Conception soignée de l'intégration électronique au détecteur.
  - Recours à des technologies d'ASIC.

Critères de Réussite	
Résolution en temps	< 2 ns
Reconstruction spatiale	2x1x1 mm <sup>3</sup> , 3D
Rendement Photo-Electrique	57%
Résolution en énergie (FWHM)	10%,

Valider le détecteur en imagerie TEP

Réaliser l'imagerie TEP d'un rat de laboratoire

29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

43

## Gros effort « Ultra-propreté »

Gros progrès depuis un an, mais pas encore suffisant.

Aussi:

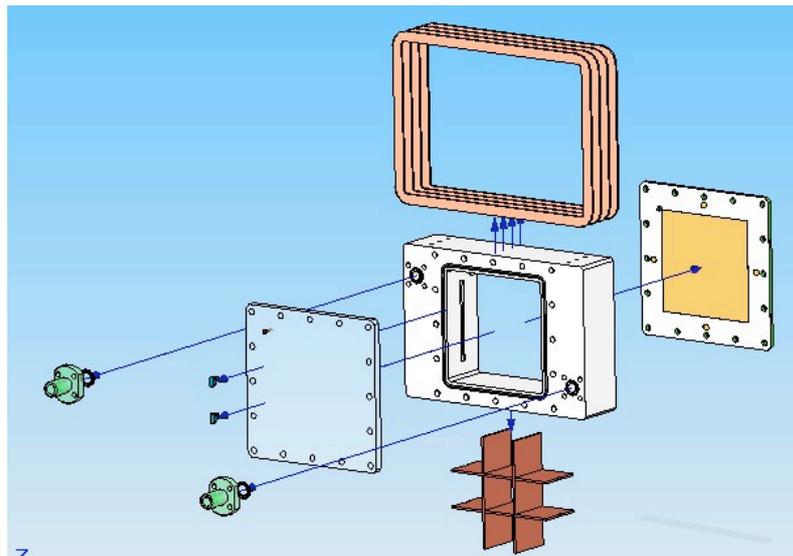
- Protocole de nettoyage révisés et optimisés  
(Merci au SACM, SAp et P. Salin)
- Installation salle grise sous flux au labo CaLIPSO
- Dégazages en étuve: Sas salle blanche.
- Manipulations et montages  
Pièces critiques en salle Blanche classe 10000 ou 100.
- Remplissages détecteurs  
En salle Grise, sous flux.
- Test de performances  
En direct lors des nettoyages.  
Sur cellules Gfi, puis Tvie.

29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

44

## L'étude avance



Dessins:  
J-Ph. Mols

### Avant-Projet

- Cahier des charges SHFJ, **OK**.
- Paramètres physiques, **OK**
- Prototypé Mécanique UHV: Discussions avec les sous-traitants **en cours**.

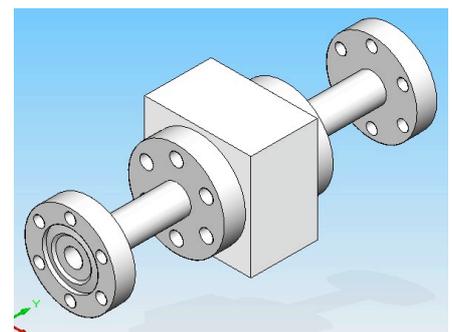
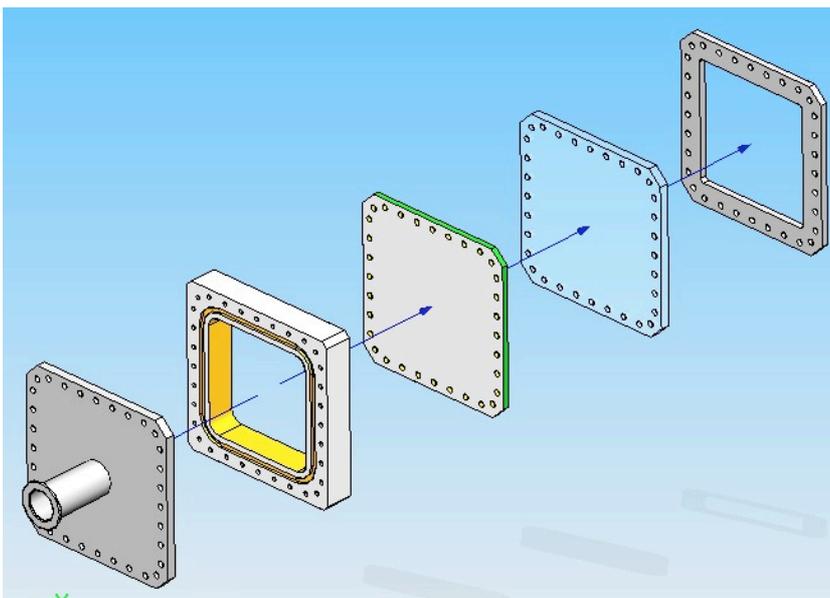
Détecteur « Hi-Tech »

29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

45

## Test des Mécanique Vide



Corps Céramiques  
Fenêtre optique verre  
Joints vides métalliques  
Ultra-propreté.

29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

46

# Simulation Optique ZEMAX

Object Type	Tilt About Y	Tilt About Z	Material	X1 Half Width	Y1 Half Width	Z Length
1 Rectangular Volume	0.000	0.000	AL2O3	15.000	15.000	50.000
2 Rectangular Volume	0.000	0.000	TMBI	14.000	14.000	50.000
3 Rectangle	0.000	0.000	ABSORB	15.000	15.000	
4 Rectangular Volume	0.000	0.000	SAPPHIRE	15.000 P	15.000 P	5.000
5 Rectangular Volume	0.000	0.000	BK7	15.000 P	15.000 P	0.100
6 Rectangular Volume	0.000	0.000	BK7	13.100	13.100	1.000
7 Source Volume Rectangle	0.000	0.000	-	1	10000	1.000
8 Detector Rectangle	0.000	0.000	ABSORB	11.800	11.800	124

Detector Image: Incoherent Irradiance

04/03/2011  
Detector 8, MFCG Surface 1:  
Size 23.600 W X 23.600 H millimeters, Pixels 124 W X 124 H, Total Bits = 2182  
Peak Irradiance = 4.9357E+001 Watts/cm<sup>2</sup>  
Total Power: 2.1028E+001 Watts

Merci à  
D. Dubreuil

5 à 10 Photo-Electrons => vers une conception de détail

# Détecteur Ionisation

Matière:	FR4	Epais:	3.2	Traitement:	Aucun	H:11 js:13	Date:	04/03/2011	Dessiné:	RIALLO
Ech:	1	Qté:	1	Etat:	1	Modifié le:	/ /			
Titre : Pièce										
Document : Manjip										
C.E.A / SACLAY / IRFU / SEDI										

Pré-Etudes pour guider nos choix de conception

## Conception et Réalisation des électroniques

La question est posée.....

29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

49

Merci de votre attention.

29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

50

## Découpage Budge, NERF

Labo	Investissement	Main d'Oeuvre
DSM/IrfU	315 k€	1.5 – 2 M€
DSV/SHFJ	35 k€	3 mois ETP
DSM/IRAMIS	13 k€	Nn mois ETP
<b>Demande:</b>	<b>373 k€</b>	<b>Sur deux ans</b>

Etuve Dégazage sous vide 300°C	25 k€
Banc de purification Tamis Moléculaire	40 k€
Chambre à ionisation pixellisée	
Mécanique et interfaces (Optiques et ionisation)	100 k€
TMBi 4+4 kg	50 k€
Electronique (IDeF-X)	25 k€
Détection de photons de scintillation fin	30 k€
Duplication démonstrateur	35 k€
Manipulateur Rat, fantôme de résolution Spatiale	35 k€
Analyseur de gaz résiduel	13 k€

29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

51

## Découpage projet

### Banc de purification par Tamis Moléculaire

Ultra-propreté.  $\tau_{vie} e^- \sim 100 \mu s$ .

### Chambre à ionisation pixellisée:

Haute tension – Ultra-propreté

Interface détection de photons de scintillation

Interface + Intégration électronique de détection de charge

### Etude du détecteur de photons de scintillation

Choix de technologie. Optimisation du seuil et résolution en temps

### Intégration finale du détecteur de démonstration

Caractérisation – Performances

### Duplication démonstrateur

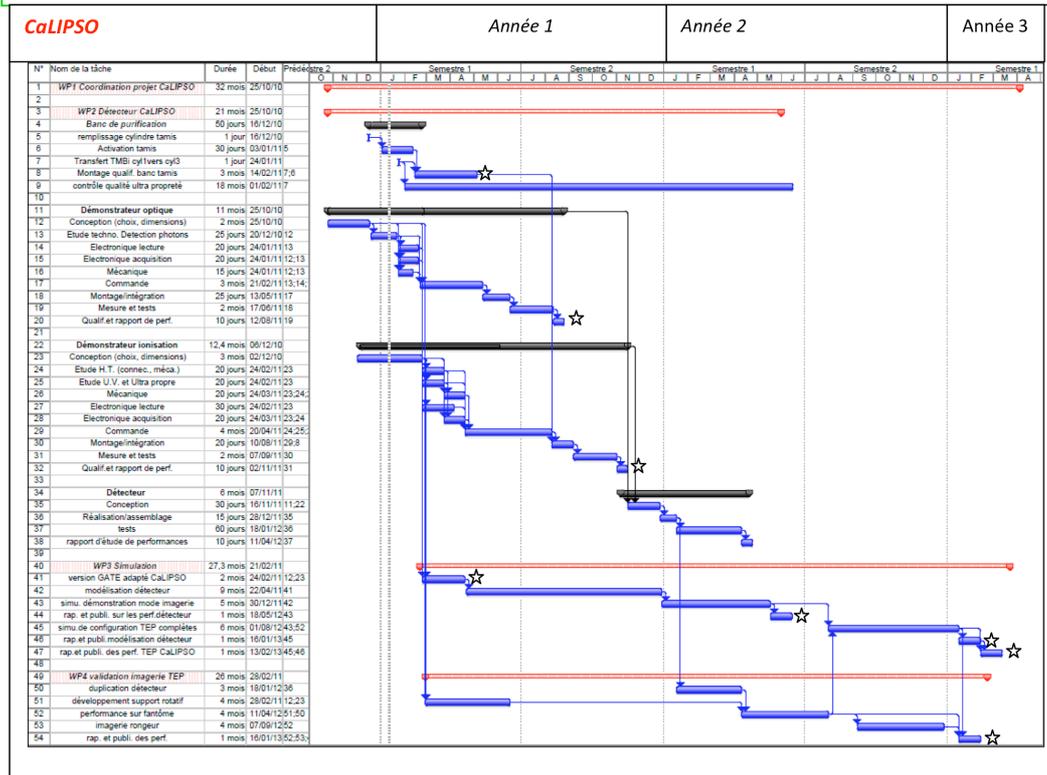
### Validation en Imagerie + Etude en simulation

29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

52

## Planning Diag. Gantt CaLIPSO



29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

53

## Etudes de sécurité

Bien étudier tous les aspects de sécurité liés à l'utilisation du TMBi qui pourraient compromettre l'acceptabilité du projet.

*Note IRFU/SIS/1916-.09./TV.AL, « Dossier global expérience CaLIPSO CLS 315 R »,*

*53 pages.*

*Au CEA, pour un labo, tout est clair.*

*Dans un contexte hospitalier:*

*Mener un tel dossier est un travail de professionnel.*

*Il faut disposer d'un prototype pour être constructif.*

29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

54

# Financement

Fournir un descriptif précis des moyens nécessaires à la mise en œuvre du projet.

5 demandes de financement élaborées en 2010 et début 2011.

- DGA/REI. (M. Duchaussoy)
- DIM/NeRF, Ile de France. (Ph. Vernier)
- ANR Emergence. (Non soumis, projet trop amont)
- LabEx Interface Physique Médecine. (J. Bittoun)
- ANR Blanc SVSE5. (A-S. Belmont)

Soutien du DIM NeRF Ile de France, Investissement

CaLIPSO 2<sup>ème</sup> classé / 12 projets financés ☺

50% de l'investissement, 200 k€. Mais .... Deadline 4 ans.

En attente de réponse pour LabEx et ANR SVSE5

29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

55

# Demande à l'ANR Blanc SVSE5

Complément du financement DIM NeRF

5.3.1 PARTENAIRE CEA-IRFU

Partenaire CEA-IRFU	Nom	Prénom	Emploi actuel n	Discipline	Personne. mois*	Rôle/Responsabilité dans la proposition de projet 4 lignes max
Responsable Scientifique	Yvon	Dominique	Physicien, Directeur de Recherche au CEA	Physique expérimentale	32.4	Détenteur du brevet. Coordination de la conception/réalisation et des tests sur les prototypes CaLIPSO.
Chef de Projet	Tauzin	Gérard	Ingénieur CEA	Mesures Physiques	29	Gestion du projet. Responsabilité du banc d'ultrapurification
	Verrecchia	Patrice	Physicien, Directeur de Recherche au CEA	Concep. mesures sur det. Liq. Chaud.	32.4	Physicien des détecteurs liquide chaud. Responsabilité du démonstrateur Ionisation
	Jeanneau	Fabien	Physicien CEA	Phys. détecteur	7.2	Expert-Simul détecteur Ionisation
	Starzynski	Pierre	Technicien au CEA	Mécanicien vide.	12	Expert Vide et Ultravide.
	Mols	J-Philippe	Projeteur au CEA	CAO, mécanique et détecteur	7.2	Conception mécanique et des interfaces détecteurs
	CDD Ingé		Ingénieur à recruter		24	Electronique analogique et digitale de proximité des détecteurs
	Ingénieur		Ingénieur CEA		2	Encadrement CDD ingé et logiciel d'Acquisition
	Bard	J-Pierre	Technicien au CEA		7.2	Technicien labo: électronique
	Marcel	Alain	Technicien au CEA		7.2	Montage mécanique
	Desforge	Daniel	Technicien au CEA	Mesures Optiques	3.6	Mesures Optiques
	CDD-Post Doctorant		Post-Doc à recruter		24	Post-Doc instrumentation physique
	Renault	Jean-Philippe	Chercheur au CEA	Chimie sous rayonnement	3	Chimie du milieu de détection. Co-détenteur du Brevet

\* à renseigner par rapport à la durée totale du projet  
29/08/11

- 2 ans CDD Ingé. Elec.
- 2 ans Post-Doc Instru. Phys. ( /Thésard)
- +
- 18 mois Post-Doc, au SHFJ/INMC.
- +
- 200 k€ investissement.
- Total : 550 k€ sur 3 ans.

+ 1 bourse CFR à l'IRFU

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

56

## Valorisation des savoir-faire

### Instrumentation à l'IRFU

Purification et ultrapropreté: Projet WALIC, Détecteur Argon, Zénon Liq.  
Détecteur dérive ionisation: Techno Micromegas. Calo. Micro-structuré  
Electronique Intégrée: Lab. Micro-Elec à l'IrfU/SEDI, Intégration  
Instrumentation autour des détecteurs: tout l'IRFU

### TEP au CEA/SHFJ

Mesures et Imagerie TEP sur modèle animal.  
Méthodologie et applications cliniques de l'imagerie TEP.  
Simulation, Caractérisation, Cahier des charges instrument.

### Mais aller vite: Eviter le développement d'ASIC

Long, cher et moins attractif pour les industriels.  
On utilise le chip IDeF-X (Spatial), résolution 2x2 mm<sup>2</sup>

29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

57

## Innovation technologique

- **Chambre à ionisation liquide organométallique lourd est**  
*Une idée nouvelle.*  
Projet de brevet. Cellule de valo. du CEA/DSM (M. Porchet)
- **Détecteurs de photon de scintillation « optiquement minces »;**  
Développement de labo, non industriel.  
Techno labo Micromegas (ForFire) si UV
- **Assembler les deux technologies**  
Une reconstruction de la position de l'interaction 3D,  
*Principe jamais été proposé*
- **Performances anticipées des CaLIPSO sont uniques:**  
Un détecteur rapide : résolution en temps 1 ns.  
Position des interaction en 3D : précision 1 mm.  
Efficacité photo-électrique de 57%  
Résolution en énergie ~ 10% FWHM

29/08/11

D.Yvon, SPP, Semin. Instru.

58

## Recherches de Financement

**Proposition REI à la DGA - Déposée le 2 Février.**

+ Cofinancement Thèse CEA-DGA

C. Bossuet, JPh. Nicolai, JL. Zimmerman (CEA) et H. Duchaussoy, B. Azais (DGA)

**Programme Transversal TechnoSanté - Présentations Mars 2009 - Février 2010**

**Proposition DIM IdF NERF (Neurosciences) - Déposée, Mars 2010**

Soutien de: Ph. Vernier (Prés.), Ph. Hantraye (DSV), R. Vidal (C. Région.)

P. Chagvardieff, L. Henrion, F. LeThimonnier, *JL. Martinot*

+? demande de financement CDD ?

**Proposition ANR – Emergence - Juin 2010**

M. Porchet (DSM/Valo), P. Chagvardieff, E. Kamph (DSV),

**Medicen - A discuter**

*Programme Imagerie. Ph. Hantraye (DSV/Mircen), P. Chagvardieff(DSV/DIR)*

## Notre milieu de détection: TMBi

**Détection simultanée Charge et Scintillation** (idem Xénon, mais)  
Dans un liquide Organométallique

**Efficacité de détection photoélectrique**

85 % conversion en 5 cm (densité 2.3)

RapPE, de 57 % (Z=83)

**Déclenchement par scintillation:**

Scintillateur organique,  $\tau_s \sim$  qq ns.

A quantifier + Rendement Scint.

**Résolution en énergie (ionisation)**

10% FWHM à 511 keV,

Si bonne collection de charge

**Localisation des interactions (ionisation)**

150  $\mu$ m au mieux, confortable, coût en électronique

**Couverture de grand Solide et temps de comptage**

Détecteur « continu », dimensionnable à volonté, qq kHz/cm<sup>2</sup>, OK

**Simplicité - Fiabilité de mise en œuvre.**

liquide purifié. Une fois scellé, clef en main

**Tous les ingrédients pour une TEP EFFICACE**

# Mesure d'opacité TMSi

