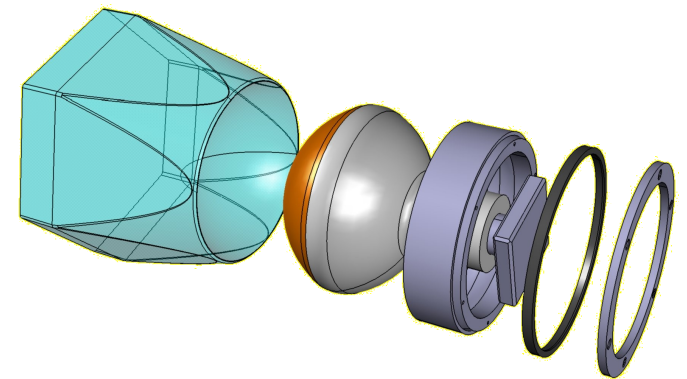
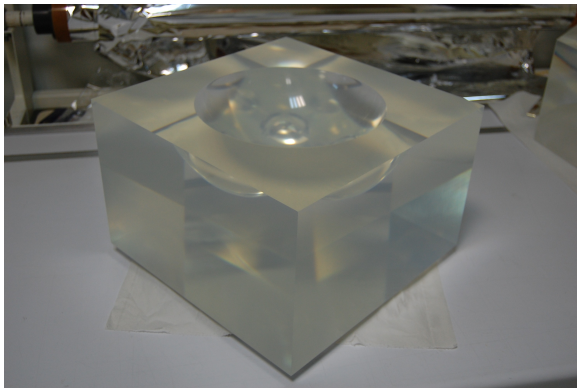


# Projet SuperNEMO

## Bilan de la R&D Calorimétrie

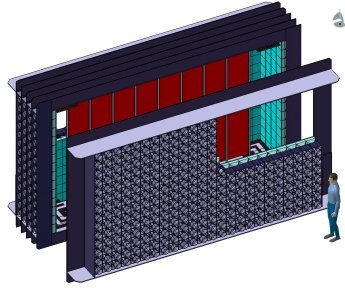


CHAUVEAU Emmanuel  
BDI CNRS - Photonis  
CEN Bordeaux - Gradignan



JRJC 2009 @ Barbaste

# PLAN

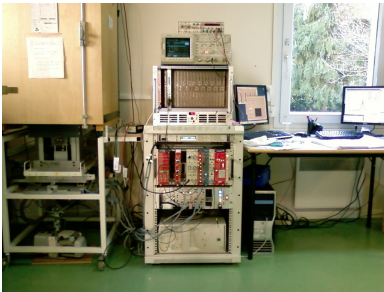


## Introduction

Double décroissance bêta

Projet SuperNEMO

Objectif de la R&D Calorimétrie



## Bancs de tests aux CENBG

Spectromètre à électrons

Acquisition et méthode d'analyse

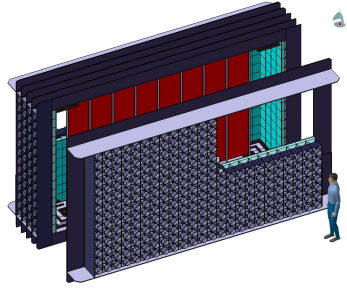


## R&D Calorimétrie

R&D Scintillateur

R&D Photomultiplicateur

# PLAN

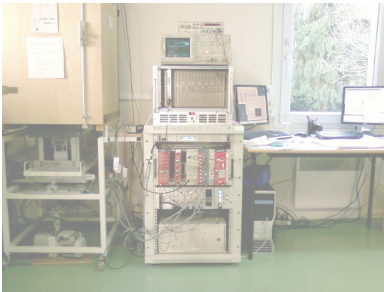


## Introduction

Double décroissance bêta

Projet SuperNEMO

Objectif de la R&D Calorimétrie



## Bancs de tests aux CENBG

Spectromètre à électrons

Acquisition et méthode d'analyse



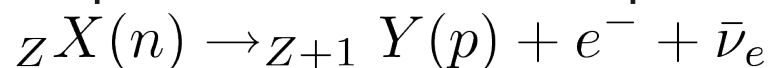
## R&D Calorimétrie

R&D Scintillateur

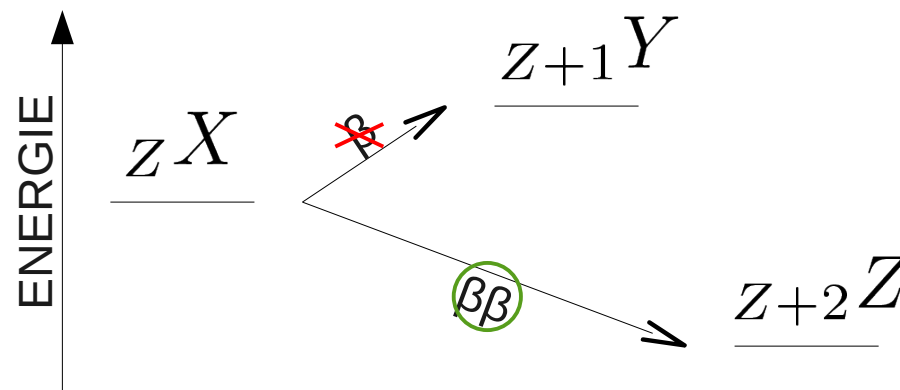
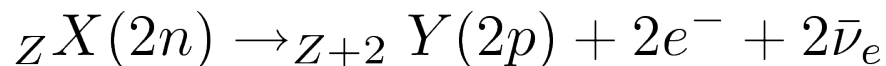
R&D Photomultiplicateur

# Double décroissance bêta

simple décroissance bêta  $\beta$



double décroissance bêta  $\beta\beta_{2\nu}$

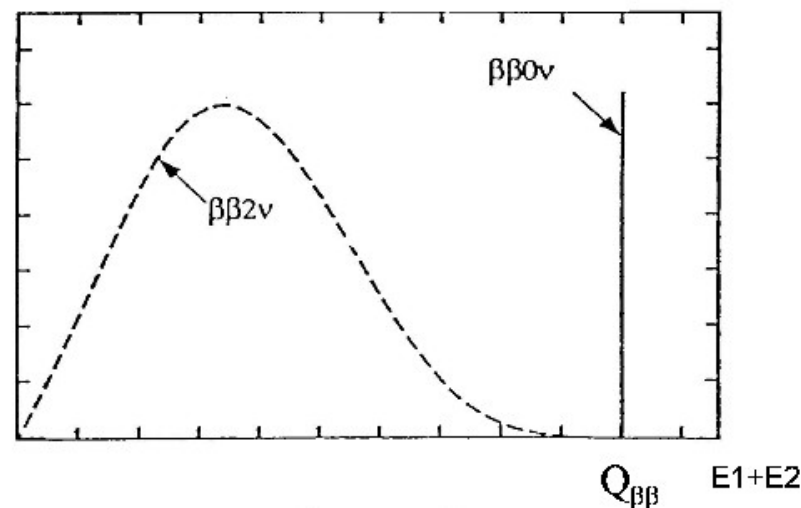


double décroissance bêta sans émission de neutrinos  $\beta\beta_{0\nu}$



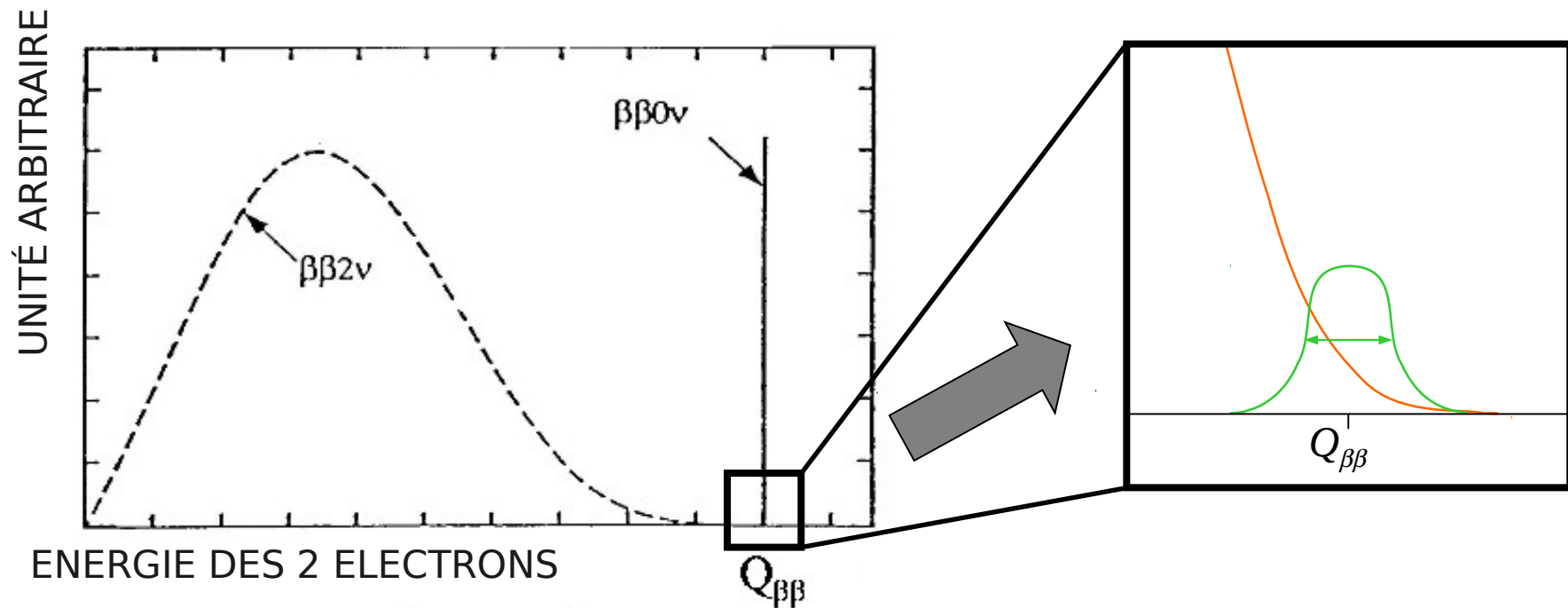
La découverte du processus  $\beta\beta_{0\nu}$  impliquerait :

- non conservation L
- neutrino de Majorana  $\nu = \bar{\nu}$
- $\left(T_{1/2}^{\beta\beta_{0\nu}}\right)^{-1} \propto |\langle m_\nu \rangle|^2$





# Contraintes de détection du signal $\beta\beta 0\nu$



la détection correcte des événements  $\beta\beta 0\nu$  implique

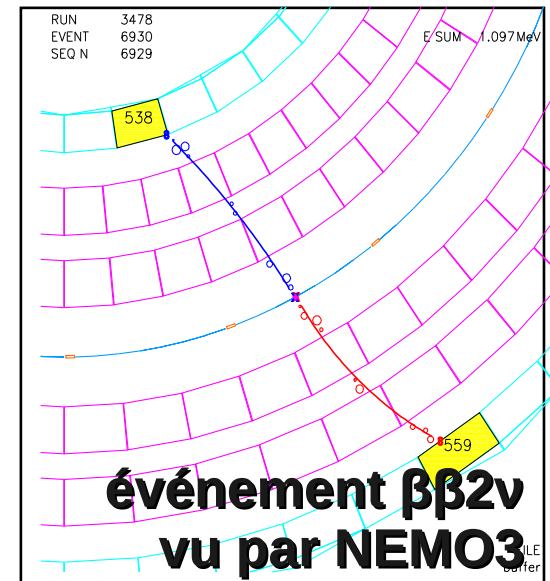
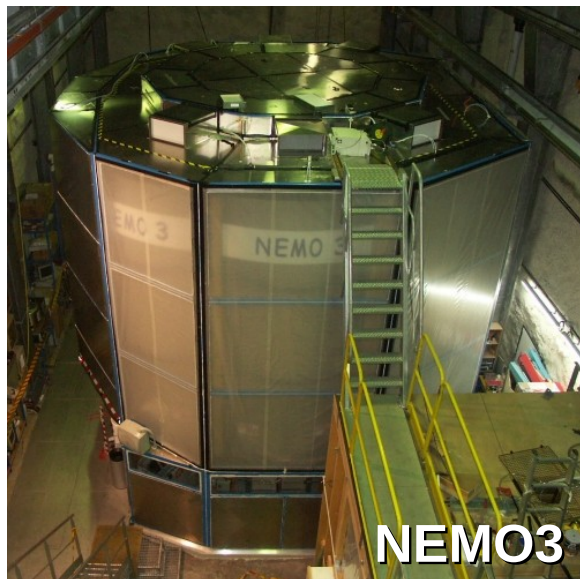
- ▮ un détecteur très bas bruit de fond radioactif
- ▮ une très bonne résolution en énergie du calorimètre

# Objectif du projet SuperNEMO

SuperNEMO est le projet successeur de l'expérience NEMO3

**OBJECTIF :** attendre une sensibilité de  $\sim 50 \text{ meV}$  sur  $\langle m_\nu \rangle$   
soit une sensibilité  $\sim 10^8$  ans sur  $T_{1/2}^{\beta\beta 0\nu}$

**MOYEN :** étendre et améliorer la technique de NEMO3 (tracker + calorimètre)  
permettant l'identification des électrons provenant de la source  $\beta\beta$



# De NEMO3 à SuperNEMO

$$T_{1/2} > \frac{\ln 2 N_A \epsilon}{k_{CL} A} \sqrt{\frac{m t}{N_{bdf} R}}$$

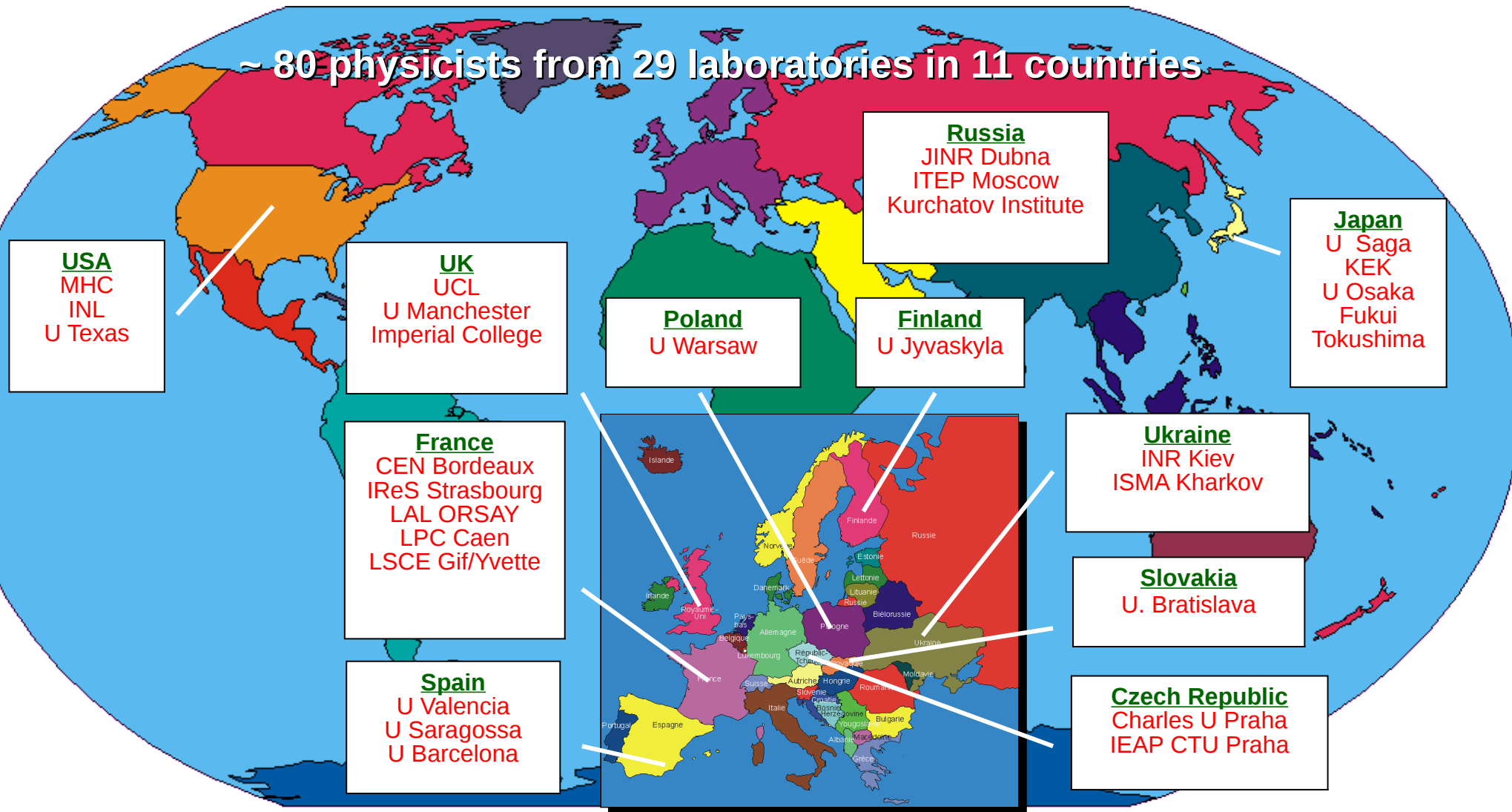
$N_A$  nombre d'Avogadro  
 $\epsilon$  efficacité de détection  
 $m t$  exposition (kg.y)  
 $k_{CL}$  facteur indice de confiance  
 $A$  masse atomique de l'isotope  
 $N_{bdf}$  bruit de fond (keV/kg/y)  
 $R$  résolution en énergie (keV)

| NEMO3                                                                                                                 |                           | SuperNEMO                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $T_{1/2} > 1.4 \times 10^{24} \text{ y}$<br>$\langle m \rangle < 390 - 810 \text{ meV}$                               | sensibilité               | $T_{1/2} > 1 - 1.5 \times 10^{26} \text{ y}$<br>$\langle m \rangle < 43 - 145 \text{ meV}$                          |
| 7 kg                                                                                                                  | masse d'isotopes          | 100 – 200 kg                                                                                                        |
| 8 % FWHM @ 3 MeV                                                                                                      | résolution du calorimètre | 4 % FWHM @ 3 MeV                                                                                                    |
| 18 %                                                                                                                  | efficacité                | 30 %                                                                                                                |
| $^{208}\text{Ti} < 20 \text{ } \mu\text{Bq} / \text{kg}$<br>$^{214}\text{Bi} < 300 \text{ } \mu\text{Bq} / \text{kg}$ | radiopureté de la source  | $^{208}\text{Ti} < 2 \text{ } \mu\text{Bq} / \text{kg}$<br>$^{214}\text{Bi} < 10 \text{ } \mu\text{Bq} / \text{kg}$ |

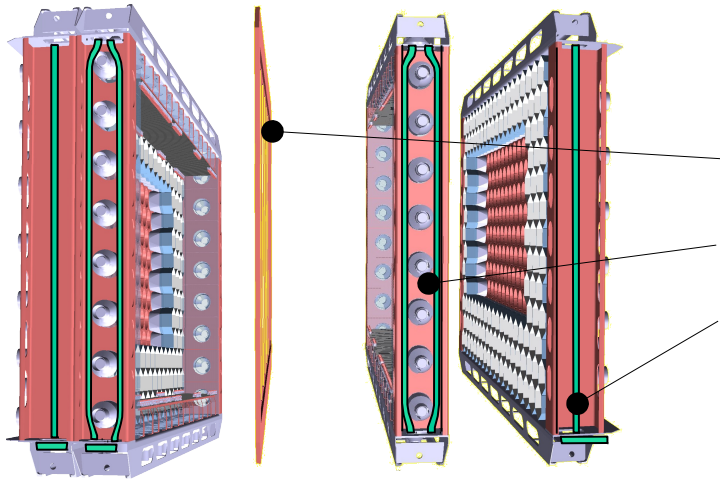
NME : E. Caurier et. al., Phys. Rev. Lett. 100 (2008) 052503  
 Tübingen Simkovic et al., Phys. Rev. C 77 (2008) 045503  
 Jyvaskyla Suhonen et al. Int. J. Mod. Phys. E 17 (2008) 1

# The SuperNEMO Collaboration

~ 80 physicists from 29 laboratories in 11 countries



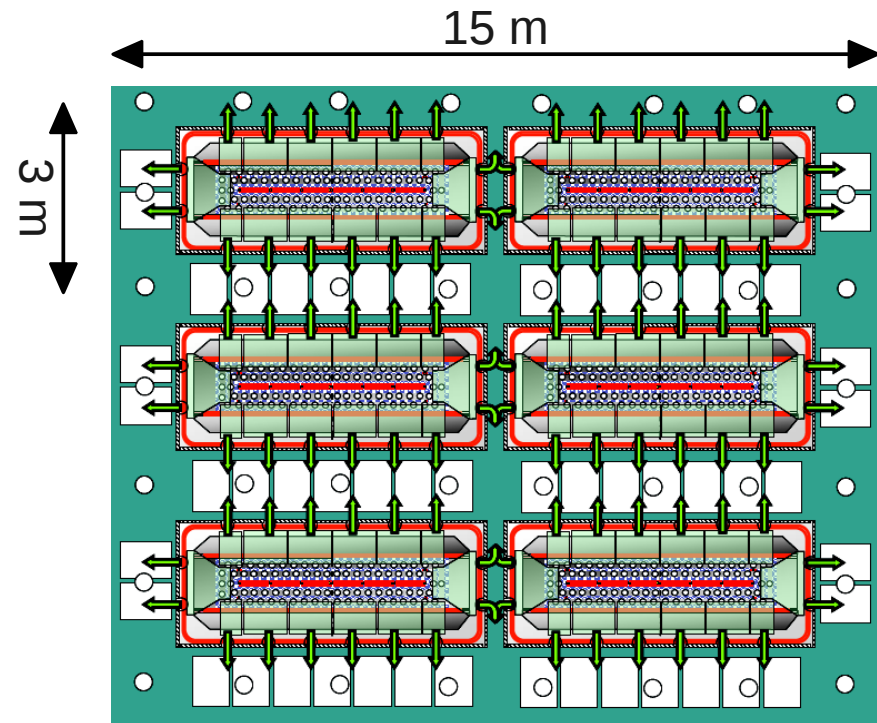
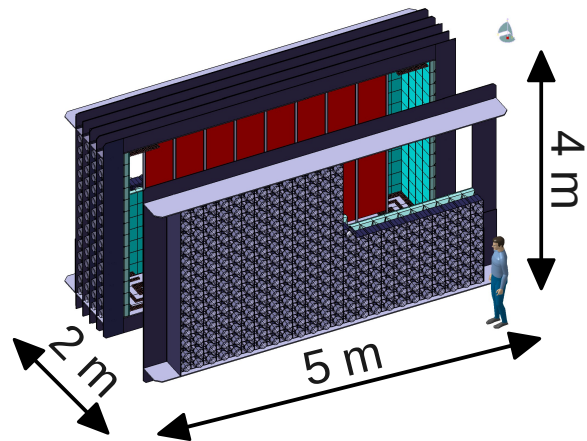
# SuperNEMO Preliminary Design



détecteur modulaire à géométrie plane

- feuille source :  $4 \times 3 \text{ m}^2$
- tracker : cellule en mode Geiger
- calorimètre : scintillateurs + photomultiplicateurs

- 5 - 7 kg d'isotopes  $\beta\beta$  par module
- 20 - 22 modules dans une cavité  
(100 – 150 kg d'isotope au total)



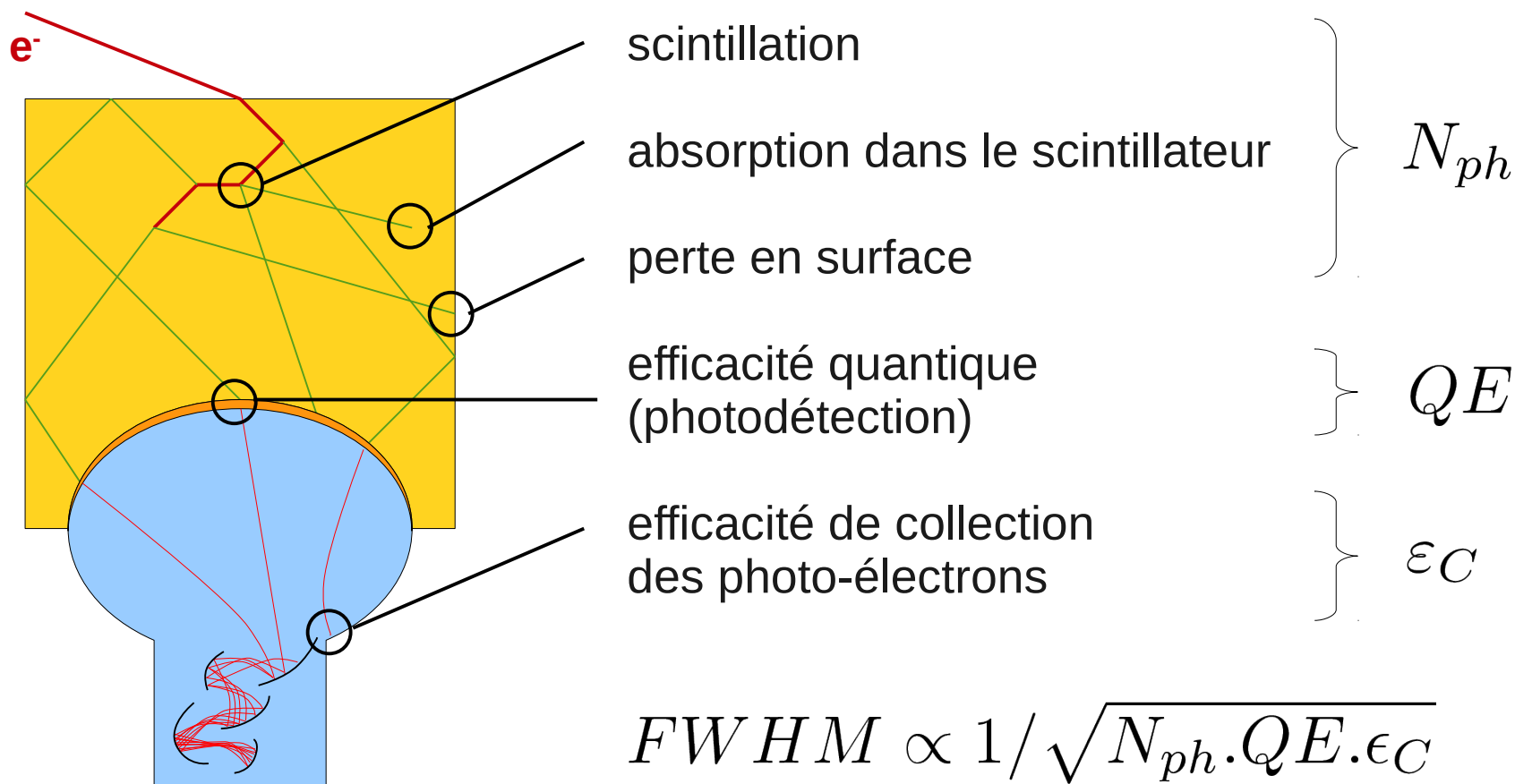
# Compteur à scintillation

scintillateur

émission de lumière suite à un dépôt d'énergie

photomultiplicateur

conversion du signal lumière en signal électrique



R&D Scintillateur

R&D PM



# Objectif de la R&D Calorimètre

Atteindre une résolution en énergie de **4 % FWHM à 3 MeV** ↔ **7 % FWHM à 1 MeV**

## Scintillateur

« **Ligth output** » maximal

Materiel **peu dense** pour éviter retrodiffusion des électrons

**Grand volume** pour garder une bonne efficacité de detection de gamma

## Photomultiplicateur 8 "

Amélioration des performances de détection

Résolution temporelle **250 ps à 1 MeV**

Réponse linéaire meilleure que **1 % de 0 à 3 MeV**

## Radiopureté (verre)

A ( $^{40}\text{K}$ ) < 100 mBq / kg

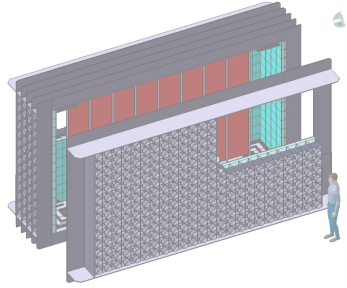
A ( $^{214}\text{Bi}$ ) < 40 mBq / kg

A ( $^{232}\text{Th}$ ) < 3 mBq / kg

Protocole de suivi des gains des PMs et calibrations (absolus / relatifs)



# PLAN

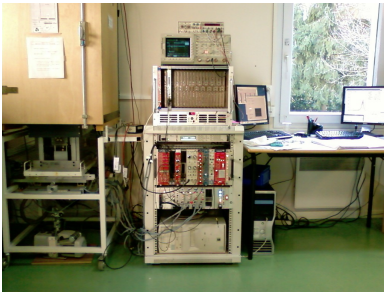


## Introduction

Double décroissance bêta

Projet SuperNEMO

Objectif de la R&D Calorimétrie



## Bancs de tests aux CENBG

Spectromètre à électrons

Acquisition et méthode d'analyse

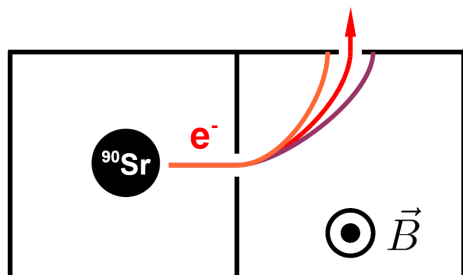


## R&D Calorimétrie

R&D Scintillateur

R&D Photomultiplicateur

# Spectromètre à électrons



Source bêta :  $^{90}\text{Sr}$  (0,55 MeV)  $^{90}\text{Y}$  (2,28 MeV) d'activité 470 MBq

Sélection en énergie par champ magnétique variable

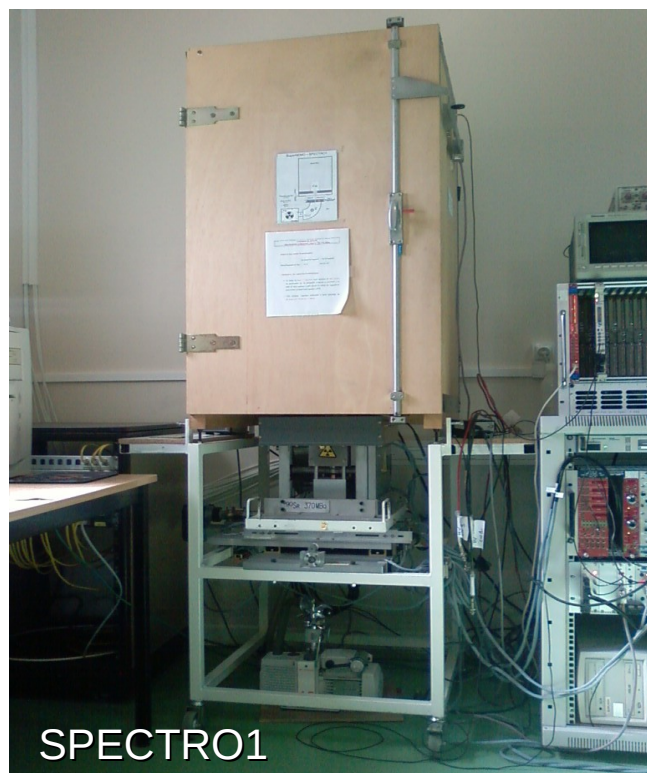
Faisceau de  $\sim 27$  Hz mono-énergétique ajustable de 0,4 à 2,0 MeV

résolu à  $< 1\%$  FWHM

Mobilité des spectromètres :

SPECTRO 1 15 cm x 15 cm

SPECTRO 2 200 cm x 60 cm



SPECTRO1



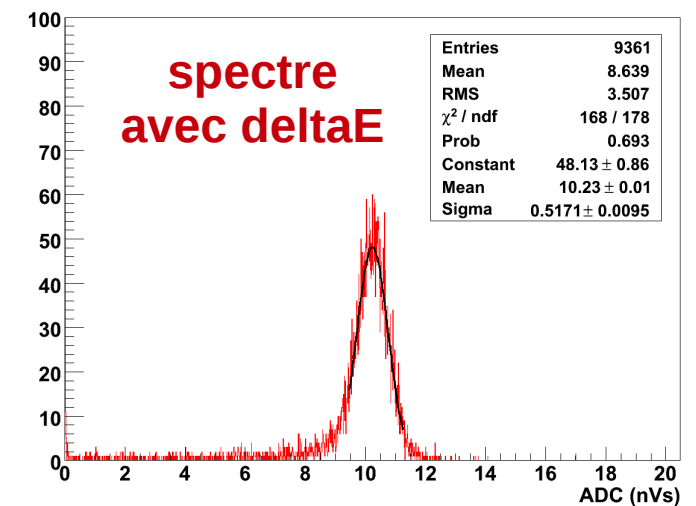
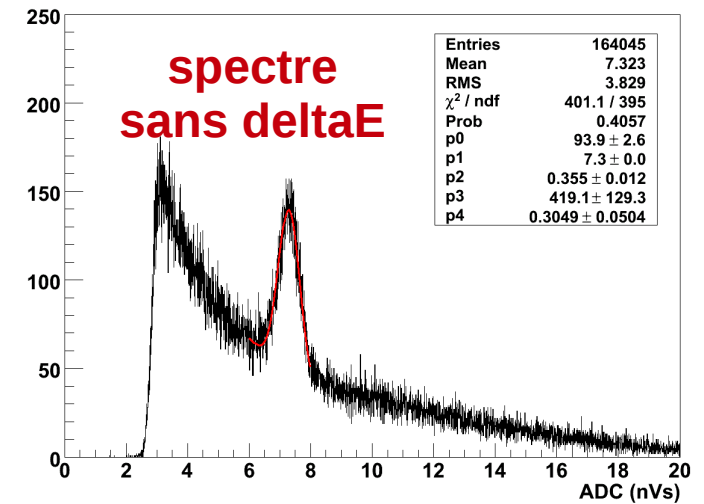
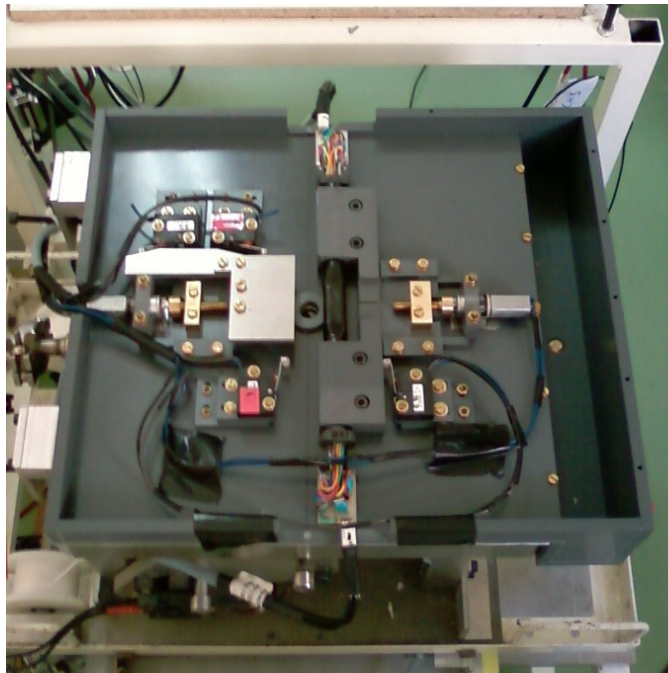
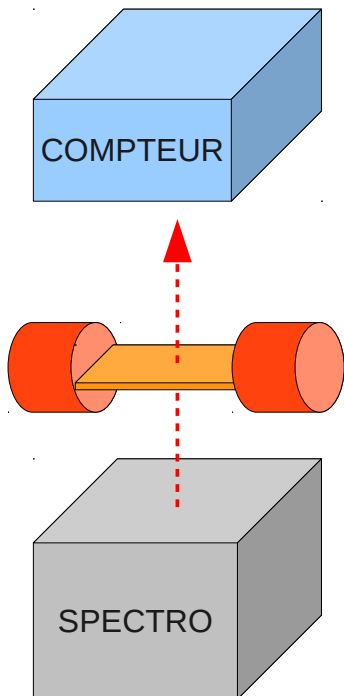
SPECTRO2

# Trigger deltaE

scintillateur de grande taille = bruit de fond important

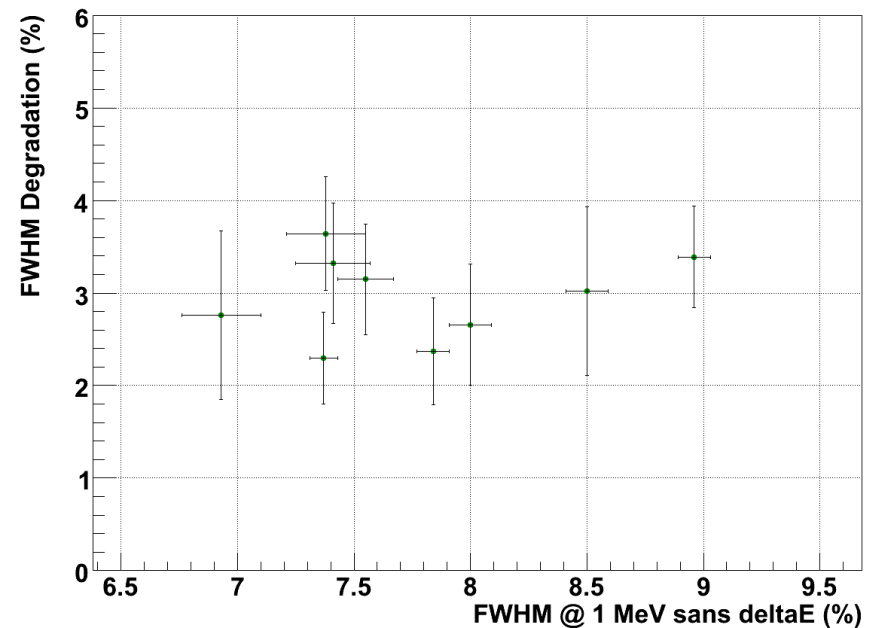
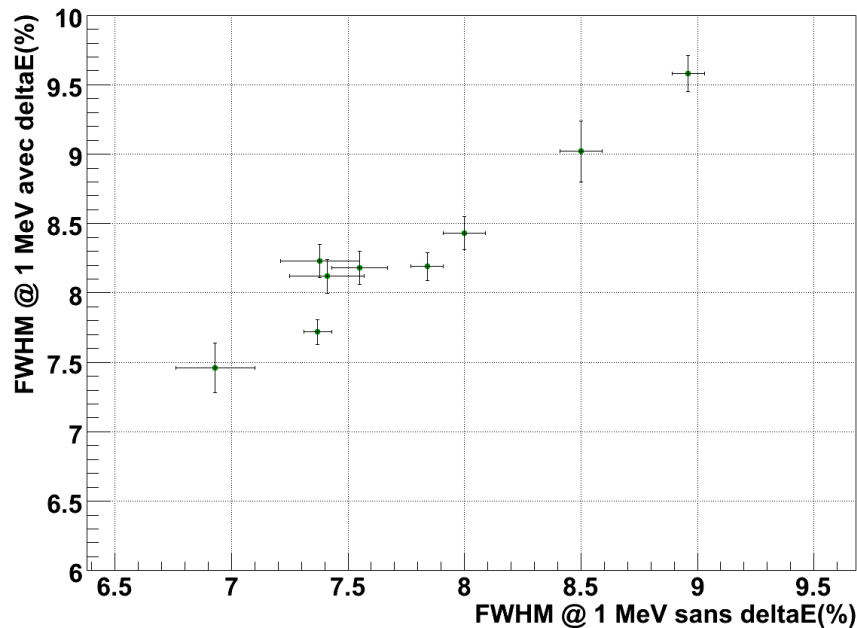
mise en place d'un trigger deltaE :

- 110  $\mu\text{m}$  de scintillateur BC404
- habillage polycarbonate 2 x 14,5  $\mu\text{m}$
- couplage optique vers 2 PMs 0.5" (XP1322)



# Effet du deltaE

perte en énergie : de **26,6 keV @ 2 MeV** à **31,4 keV @ 0.4 MeV** effet sur la résolution ?  
mesures comparatives avec/sans deltaE pour divers compteurs à scintillation



extrapolation quadratique de la dégradation en résolution à 1 MeV :

$$D = \sqrt{R_{dE}^2 - R^2} = 3,13\%$$

# Carte d'acquisition MATACQ32

Carte développée par CEA/DAPNIA et IN2P3/LAL

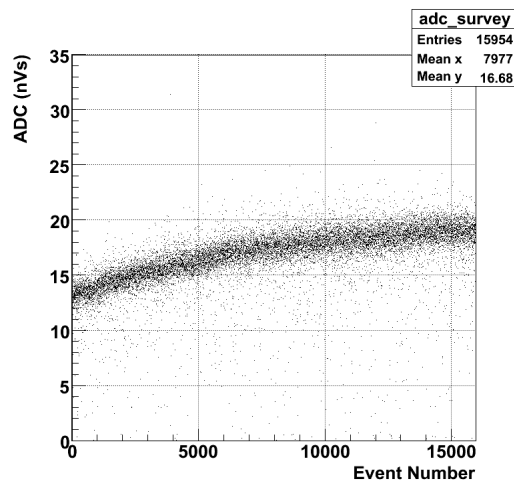
Echantillonnage à 2 GHz sur 1,250  $\mu$ s (2520 points)

LSB en amplitude de 250  $\mu$ V

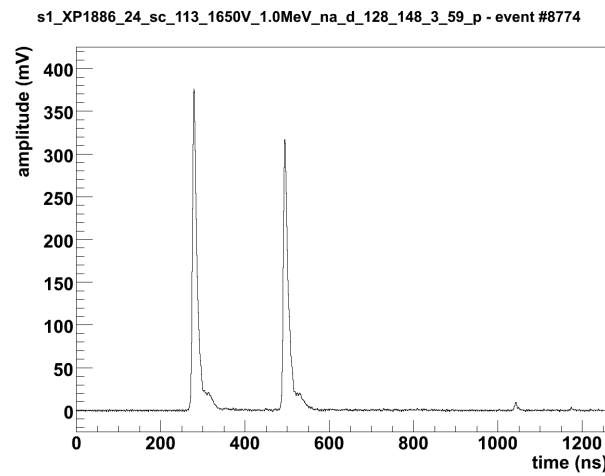


Analyse poussée des pulses **après** acquisition :

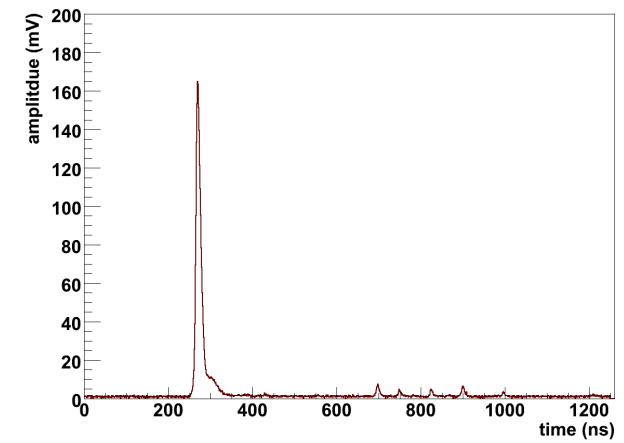
amplitude, propriétés temporelles, intégration charge, pré/after-pulses



stabilité du PM



mise en évidence  
d'événements étranges



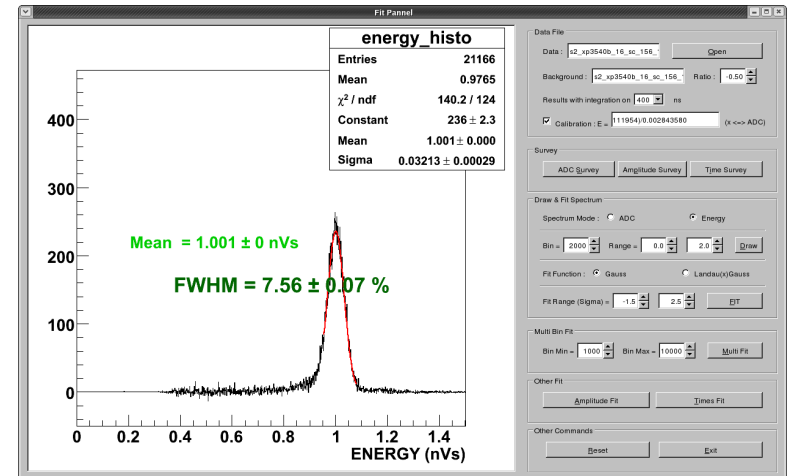
afterpulses

# Analyse des données

analyse ROOT via 2 interfaces :

## analyse rapide

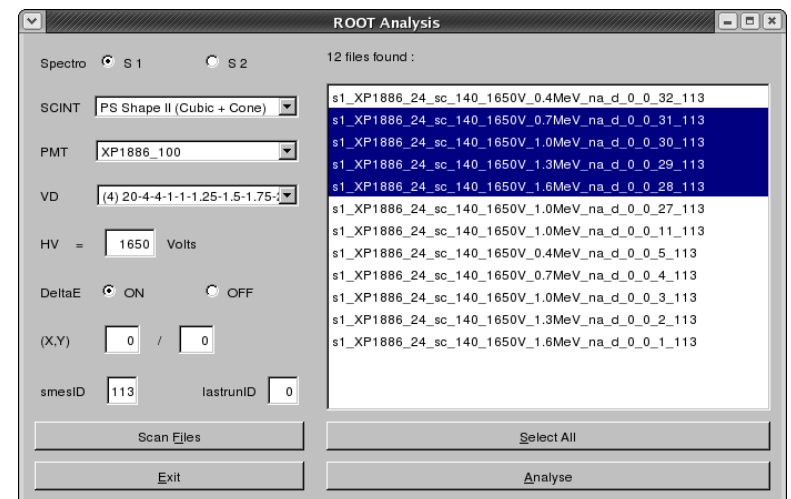
prévisualisation et analyse rapide de spectre  
analyse en amplitude, propriétés temporelles



## analyse complete

sélection des acquisitions dans la base de données  
propriétés des pulses (amplitude, temps de montée,  
largeur à mi hauteur et temps de descente)  
linéarité et calibration en énergie

→ fiche résultat





# Fiche résultat

**SCINTILLATOR**

PS 8" H=10cm I (sc\_113)

Wrapping

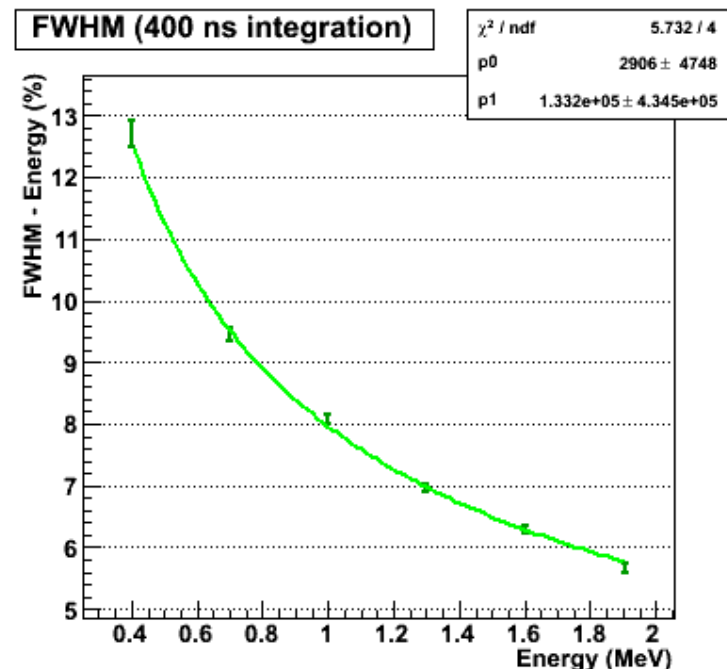
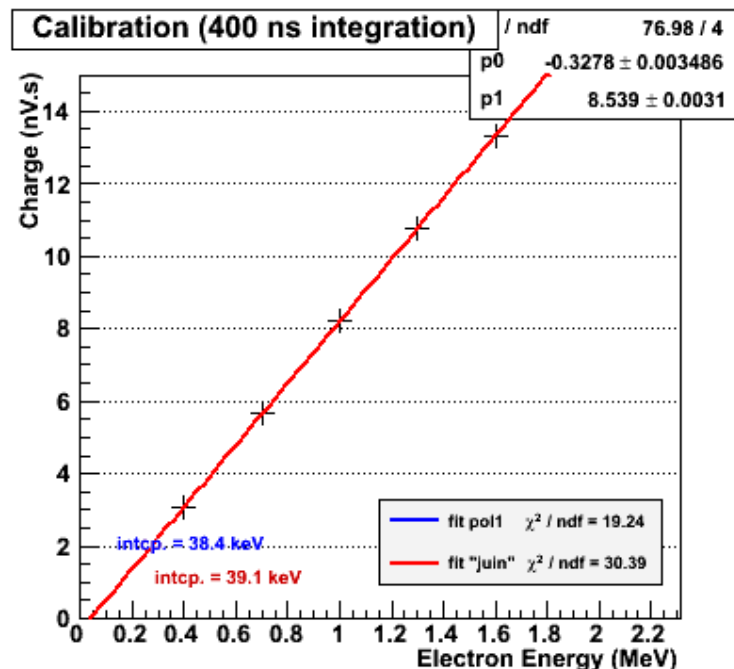
- front : \_\_\_\_\_
- sides : \_\_\_\_\_
- back : \_\_\_\_\_

**PMT**

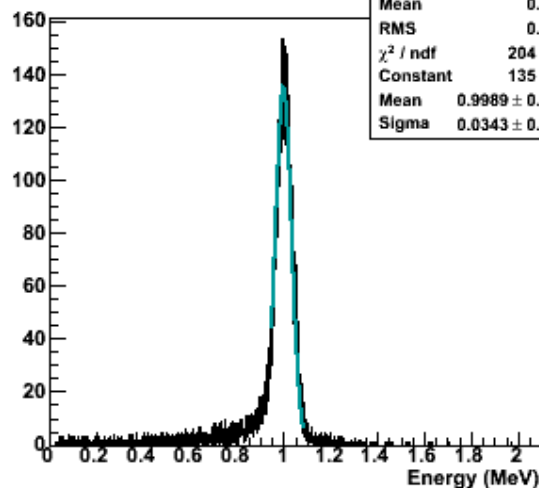
XP1886\_160

High Voltage = 1750 V

Voltage Divider #4



1.0 MeV spectrum



Entries 22537

Mean 0.9546

RMS 0.1533

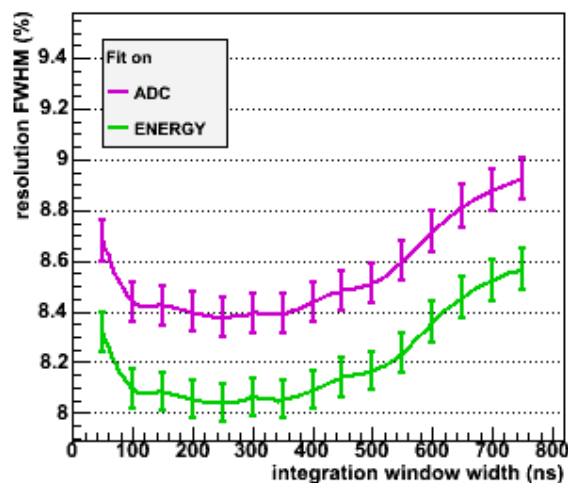
$\chi^2 / \text{ndf}$  204 / 214

Constant  $135 \pm 1.3$

Mean  $0.9989 \pm 0.0003$

Sigma  $0.0343 \pm 0.0003$

FWHM @ 1.0 MeV vs Integration Window



## \*\*\* 1 MeV RESULT (400 ns integration) \*\*\*

Pedestal =  $0.3020 \pm 0.0195$  mV [ $\chi^2=3.89$ ]

Amplitude =  $366.5 \pm 16.3$  mV

Gain @ 1 MeV =  $8.539$  nV.s / MeV

$T_{\text{RISE}} = 7.7 \pm 0.3$  ns

$T_{\text{FWHM}} = 15.9 \pm 0.5$  ns

$T_{\text{FALL}} = 35.3 \pm 1.2$  ns

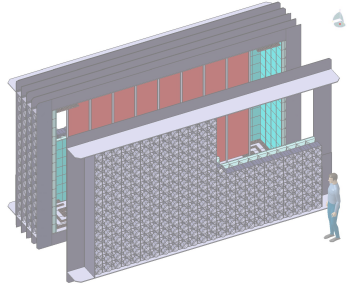
ADC =  $8.203 \pm 0.003$  nV.s

FWHM - ADC =  $8.44 \pm 0.08$  %

Energy =  $0.9990 \pm 0.0003$  MeV

FWHM - Energy =  $8.09 \pm 0.08$  %

# PLAN

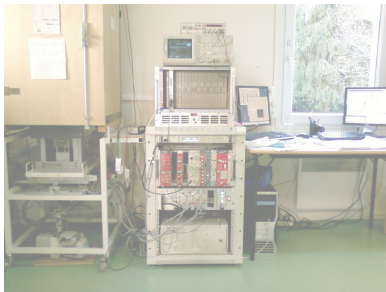


## Introduction

Double décroissance bêta

Projet SuperNEMO

Objectif de la R&D Calorimétrie



## Bancs de tests aux CENBG

Spectromètre à électrons

Acquisition et méthode d'analyse



## R&D Calorimétrie

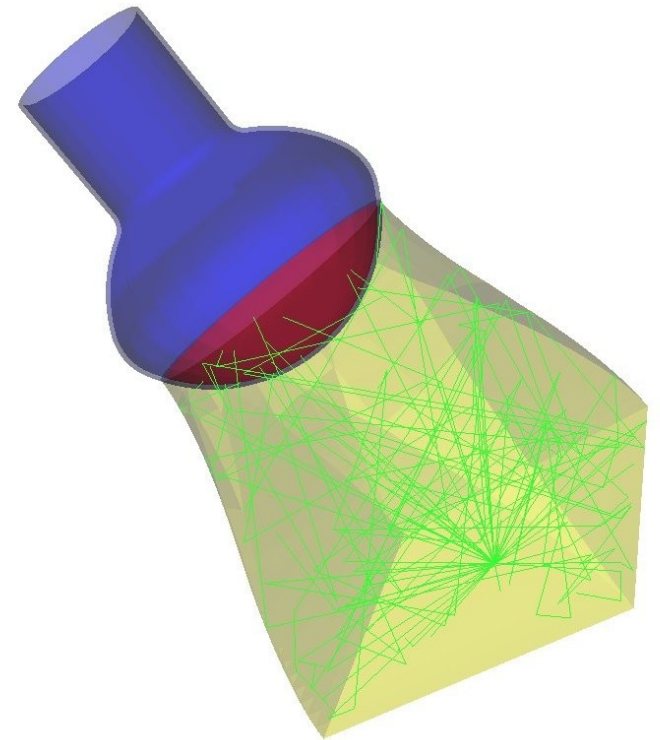
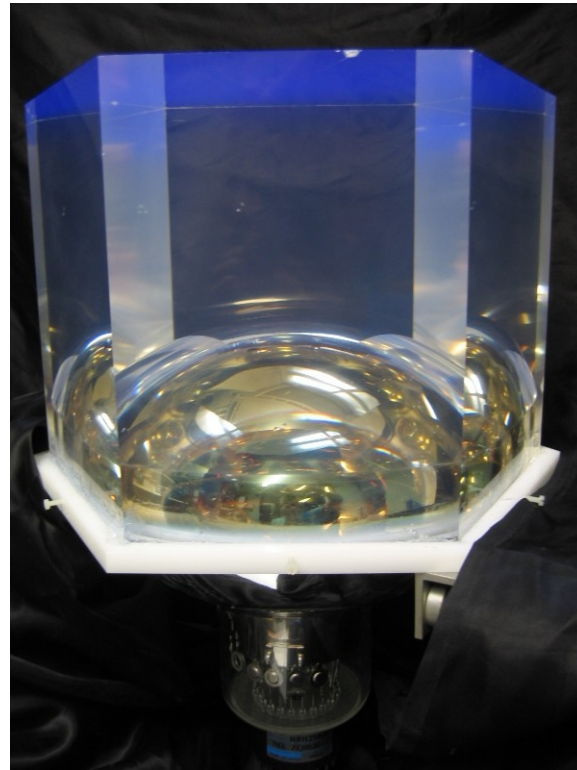
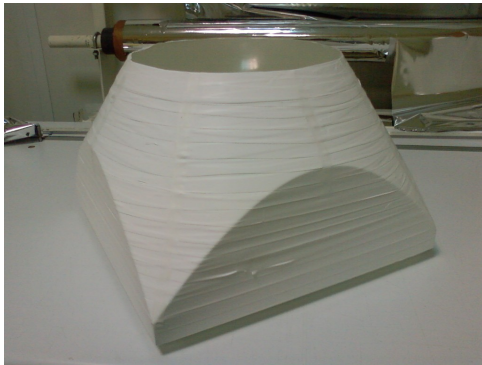
R&D Scintillateur

R&D Photomultiplicateur

# R&D Scintillateur

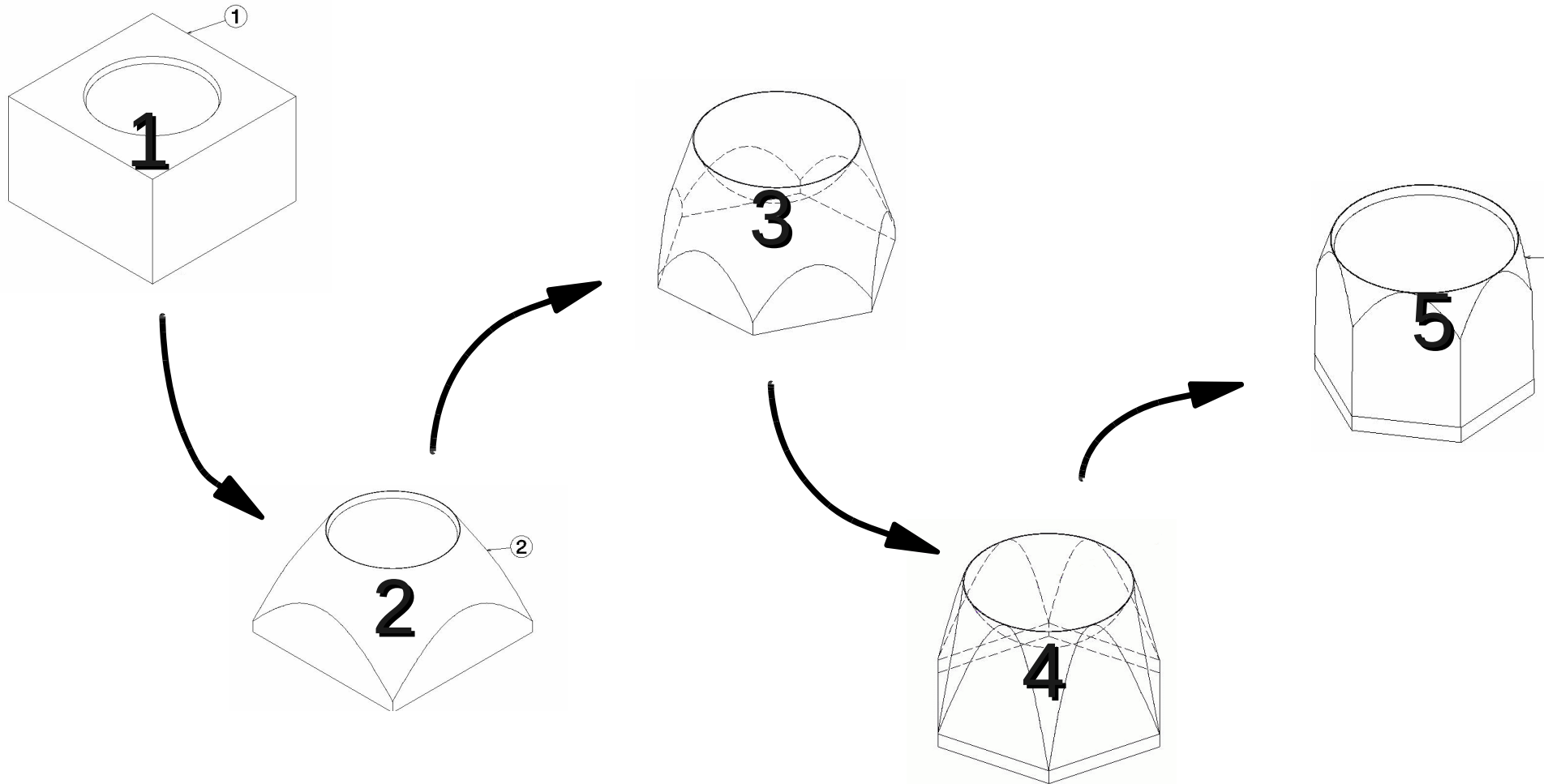
## Activités de recherche

- ▮ type de scintillateur (liquide, plastique), matériaux et composition
- ▮ amélioration des propriétés optiques : géométrie, polissage, réflecteur surface, ...
- ▮ développement d'un code de simulation optique avec GEANT4



# R&D Scintillateur : Géométrie

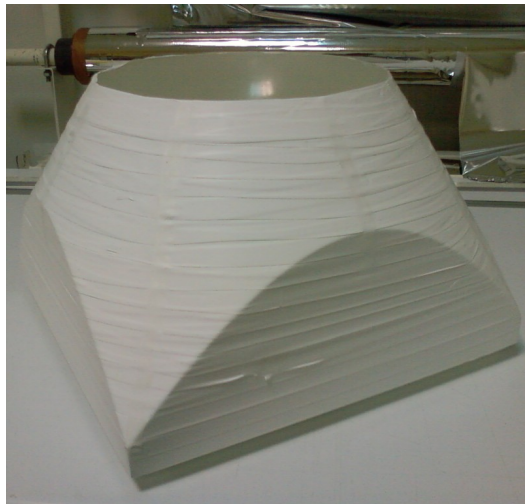
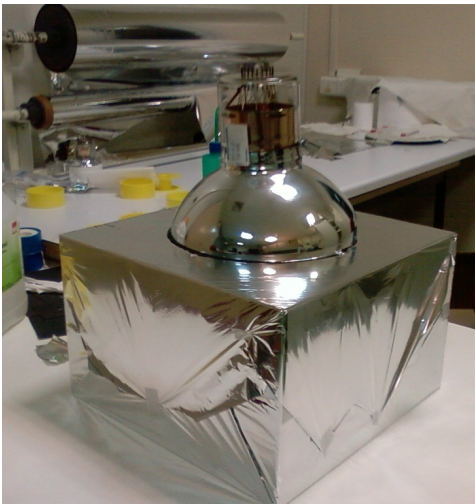
Objectif : étudier l'effet de la géométrie des scintillateurs sur la résolution  
avec 1 unique gros scintillateur (polystyrène) par coupe successive



# R&D Scintillateur : Géométrie

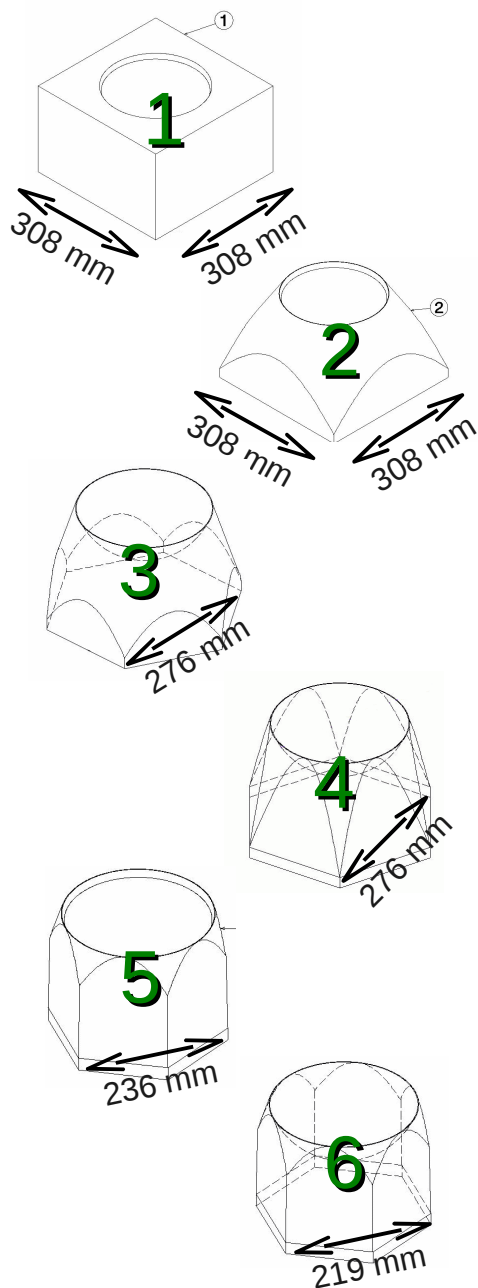
Toutes les mesures sont réalisés dans les mêmes condition :

- ℞ wrapping en téflon sur les côtés + mylar aluminisé en face d'entrée
- ℞ couplé avec le même PM Photonis (XP1886 SN100), même pont et HV (= 1650V)
- ℞ contact optique = isopropanol
- ℞ FWHM pour des électrons de 1 MeV (du spcetro 1) centrés vers la face d'entrée du bloc





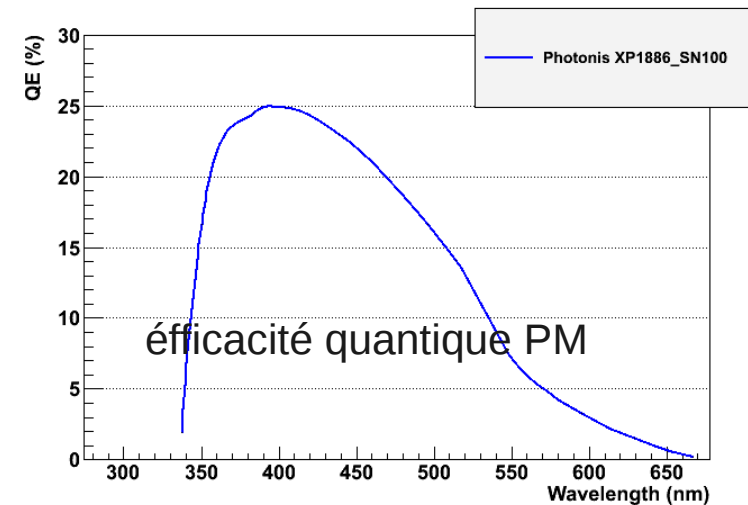
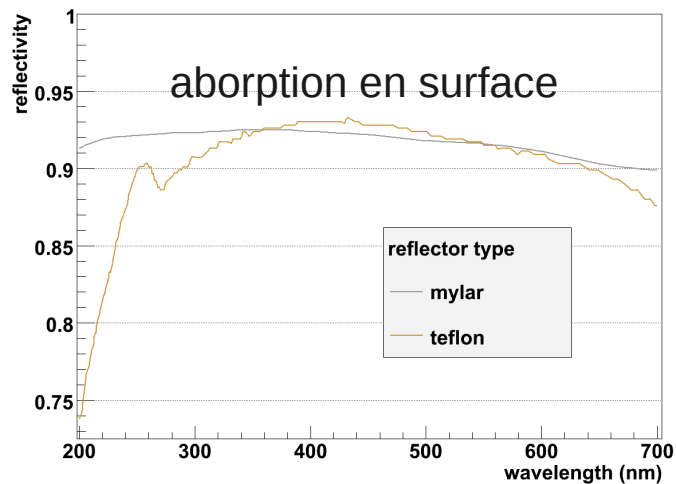
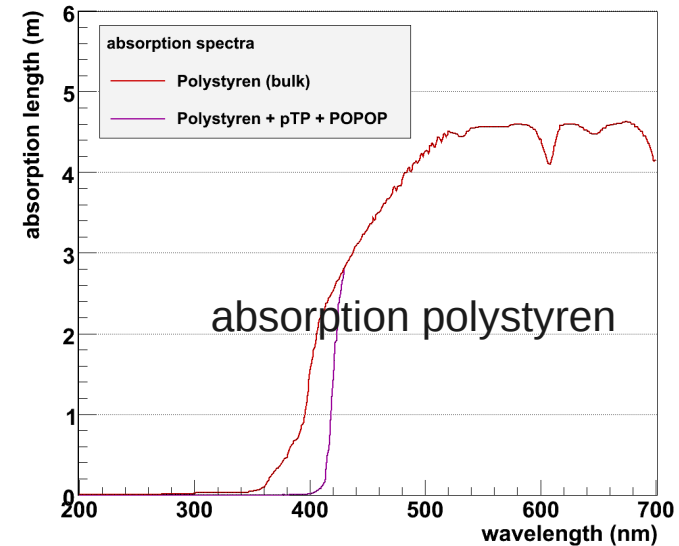
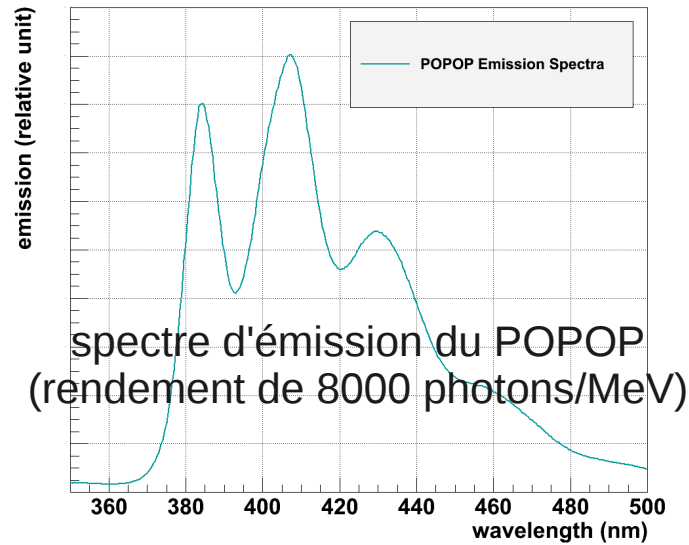
# Summary of Results



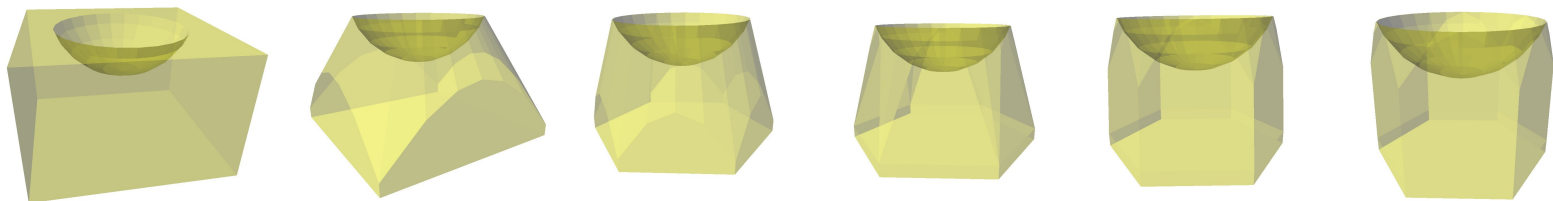
| SHAPE | CHARGE    | FWHM   | TIME<br>RISE – FWHM – FALL |
|-------|-----------|--------|----------------------------|
| # 1   | 3.73 nV.s | 10.0 % | 5.9 – 16.6 – 31.8 ns       |
| # 2   | 4.06 nV.s | 9.6 %  | 5.5 – 15.1 – 26.2 ns       |
| # 3   | 4.23 nV.s | 9.5 %  | 5.4 – 13.2 – 21.1 ns       |
| # 4   | 4.79 nV.s | 9.3 %  | 5.4 – 14.0 – 22.2 ns       |
| # 5   | 5.39 nV.s | 8.8 %  | 5.3 – 12.5 – 19.0 ns       |
| # 6   | 5.71 nV.s | 8.8 %  | 5.2 – 12.1 – 18.3 ns       |



# Modèle de simulations optiques (GEANT4)



# Simulations optiques GEANT4



| SHAPE                                   | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
|-----------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| EXPERIMENT                              | 10.5 % | 10.1 % | 10.0 % | 9.8 %  | 9.4 %  | 9.4 %  |
| SIMULATION                              | 13.8 % | 13.4 % | 12.6 % | 12.2 % | 11.3 % | 11.0 % |
| SIMULATION<br>$L_{\text{ABS}} \times 6$ | 10.4 % | 10.5 % | 10.0 % | 9.9 %  | 9.4 %  | 9.4 %  |

accord des valeurs de façon relative mais pas du tout en valeur absolue

# R&D Photomultiplicateur

Collaboration avec Photonis pour élaborer un nouveau PM 8" linéaire, à haute performance et de bas bruit de fond radioactif.



## Activités de recherches

- ▮ Amélioration de l'efficacité de détection (efficacité quantique + efficacité de collection)
- ▮ Utilisation optimale du PM ( HV, intégration des signaux, ... )
- ▮ Optimisation de la répartition des tensions sur les dynodes.

Plus d'une 30aine de PMs prototype de Photonis – dont 7 XP1886 – ont été reçus et testé au CENBG

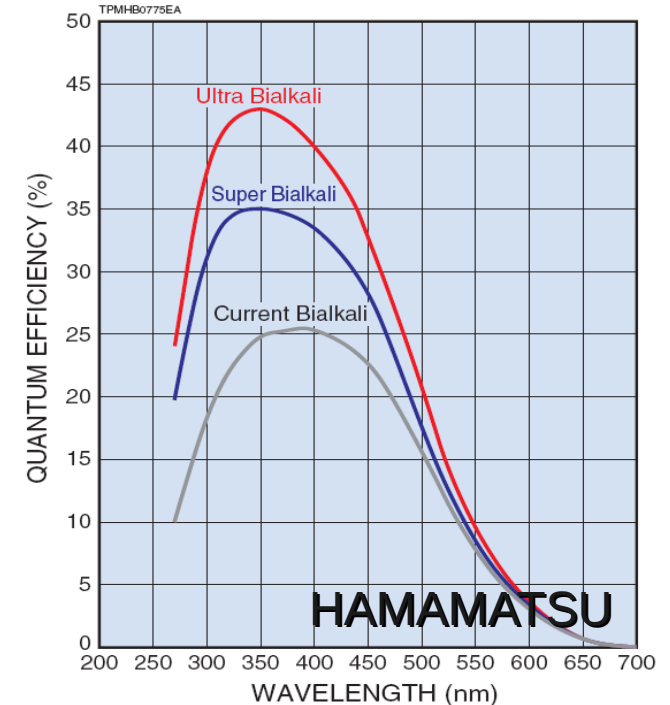
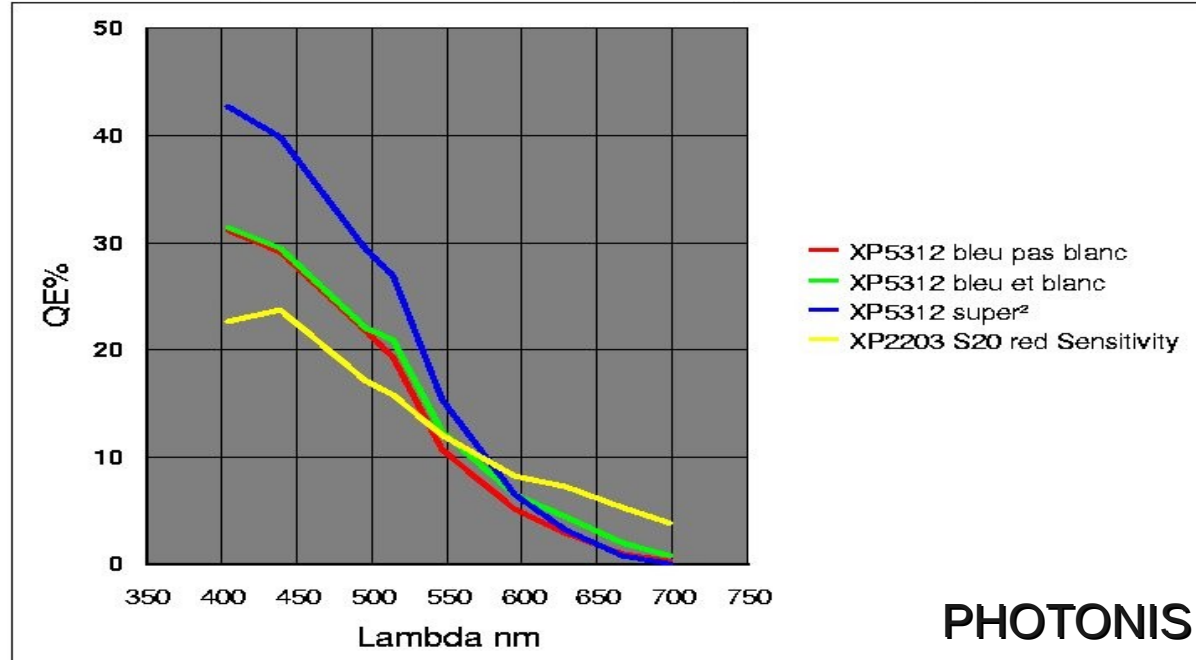
# Photocathode

Bialkali photocathode (Sb-Rb-Cs, Sb-K-Cs)

Photonis :      standard bialkali (24 %)    →    super bialkali (35 %)      →    super<sup>2</sup> bialkali (40 – 50 %)

Hamamatsu :    standard bialkali (26 %)    →    super bialkali (33 %)      →    ultra bialkali (43 %)

Développer une nouvelle photocathode implique d'étudier et d'optimiser toutes les étapes du processus : structure et propriété de la face de dépôt, composition et pureté de la photocathode, formation (épaisseurs), état final du vide ...



# Comparatif PM 8"

PM couplé a des blocs de 10 cm minimum :

- ▣ bloc polystyrène (PS) cylindrique 8"
- ▣ bloc polyvinyl-toluène (PVT) hexagonal

**PM Photonis**  
XP1886

**PM Hamamatsu**  
R5912MOD

**Bloc PVT**  
Hex. 10 cm min  
Eljen (Texas, US)

**Bloc PS**  
Cyl. 10 cm min  
Dubna (Russie)



# Comparatif PM 8"

| FWHM @ 1 MeV<br>à $\pm 0.1$ MeV        | Bloc PS | Bloc PVT |
|----------------------------------------|---------|----------|
| PHOTONIS<br>XP1886_SN100<br>[24 % QE]  | 8.1 %   | 7.3 %    |
| PHOTONIS<br>XP1886_SN124<br>[35 % QE]  | 7.9 %   | 7.1 %    |
| PHOTONIS<br>XP1886_SN160<br>[28 % QE]  | 7.5 %   | 6.7 %    |
| HAMAMATSU<br>R5912_ZQ0029<br>[33 % QE] | 8.8 %   | 7.7 %    |

amélioration QE  
mais FWHM stable

dégradation du vide  
dans le PM

nouveau process

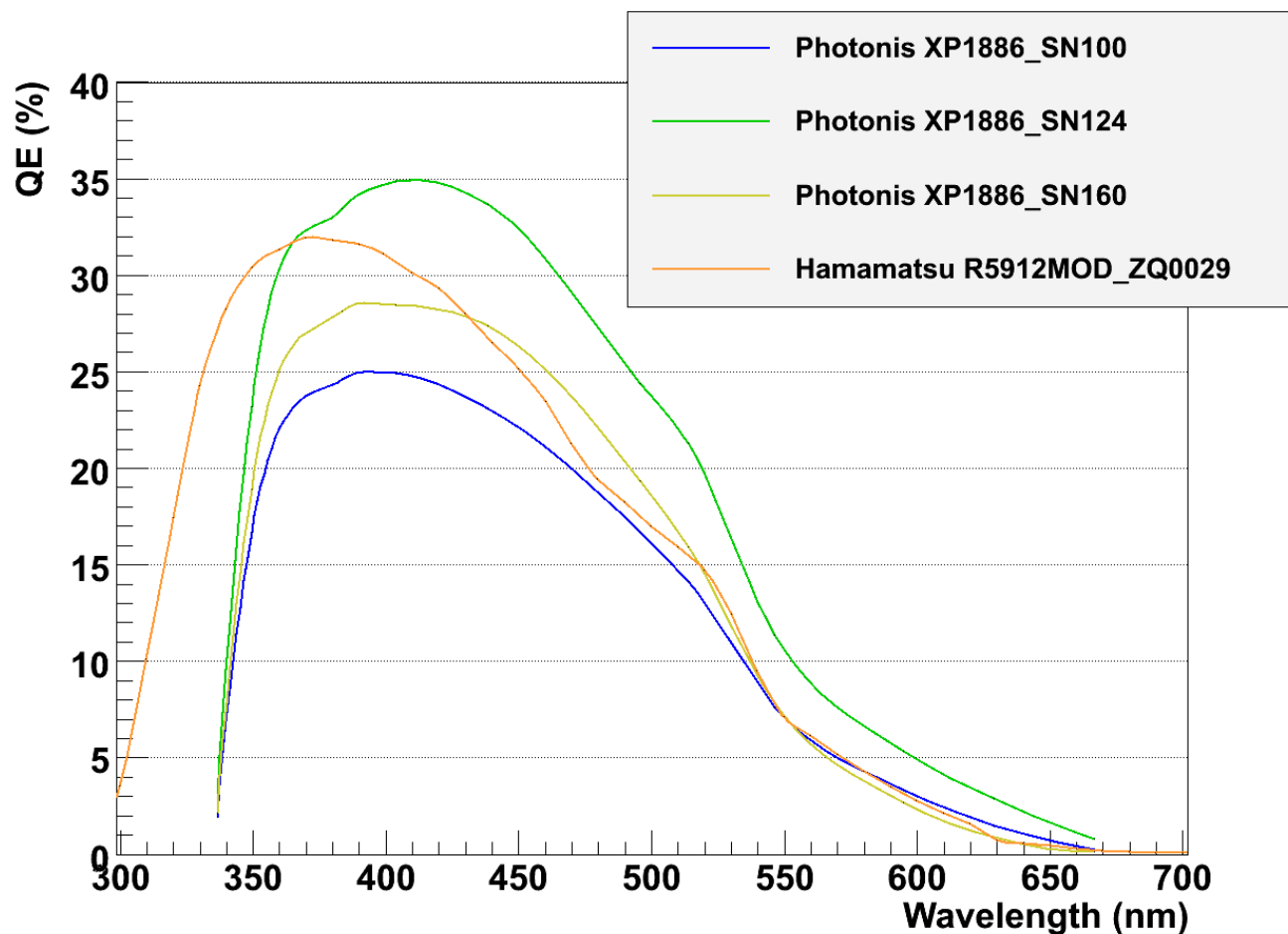
meilleure efficacité  
de collection

PM Hamamatsu moins bon

mauvaise correspondance  
sensibilité PM et spectre  
d'émission du scintillateur ?



# Efficacité Quantique des PMs



| FWHM @ 1 MeV<br>à ± 0.1 MeV | Block PVT |
|-----------------------------|-----------|
| PHOTONIS<br>XP1886_SN100    | 7.3 %     |
| PHOTONIS<br>XP1886_SN124    | 7.1 %     |
| PHOTONIS<br>XP1886_SN160    | 6.7 %     |
| HAMAMATSU<br>R5912_ZQ0029   | 7.7 %     |

décalage de la sensibilité des photocathodes entre PM Hamamatsu et Photonis

comparaison Hamamatsu et Photonis :

→ mauvaise efficacité de collection chez Hamamatsu

# R&D Bas bruit de fond radioactif

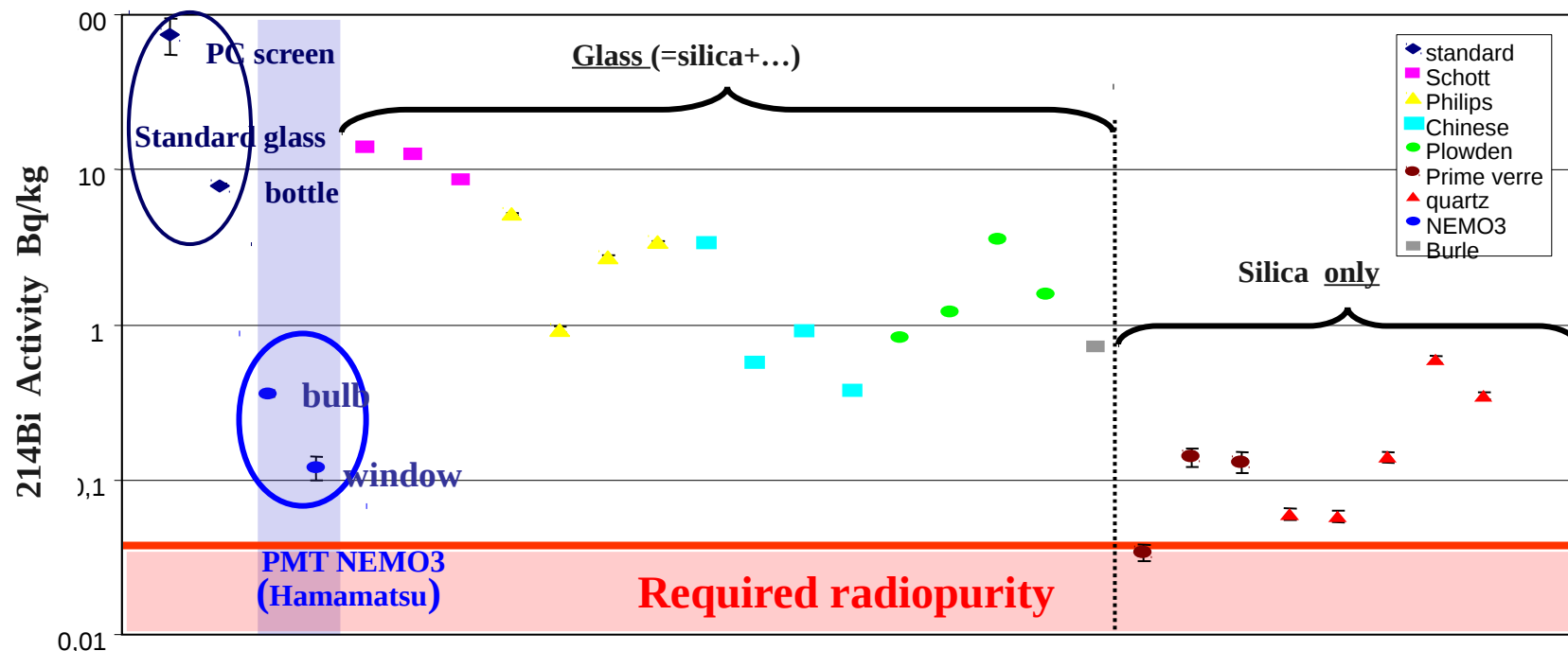
Diminution de la quantité de PM ( 5" → 8" )

Développement d'un verre très bas bruit de fond radioactif.

Contrôle/Sélection des autres composants (dynodes, céramiques, capacités, ...)

|                | $A(^{40}\text{K})$ | $A(^{214}\text{Bi})$ | $A(^{232}\text{Th})$ |
|----------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| Verre standard | ~ 100 Bq/kg        | ~ 10 Bq/kg           | ~ 1 Bq/kg            |
| NEMO3          | ~ 1 Bq/kg          | ~ 500 mBq/kg         | ~ 30 mBq/kg          |
| SuperNEMO      | < 0.1 Bq/kg        | < 40 mBq/kg          | < 3 mBq/kg           |

# Résultat Verre bas bruit



Élaboration d'une première silice de synthèse excellente par **Prime-Verre**  
1ere coulée réalisée en 2007 → radiopureté validée par mesure germanium

Cout de production très élevé : planification d'un 2e coulée plus accessible  
Pas d'accord juridique et financier avec **Photonis** pour continuer (septembre 2008)

Démarrage immédiat d'une nouvelle collaboration avec **Philips Lightning**,  
Formulation d'un nouveau verre en 2009 validée en terme de radiopureté.

# Conclusions

Résolution 7 % FWHM @ 1 MeV atteinte  
avec un calorimètre à base de scintillateur plastique + PM 8"

Prime Verre puis Philips ont développé des verres de radiopureté excellente.

→ possibilité de faire un PM haute performance et très bas bruit de fond radioactif

# Perspectives

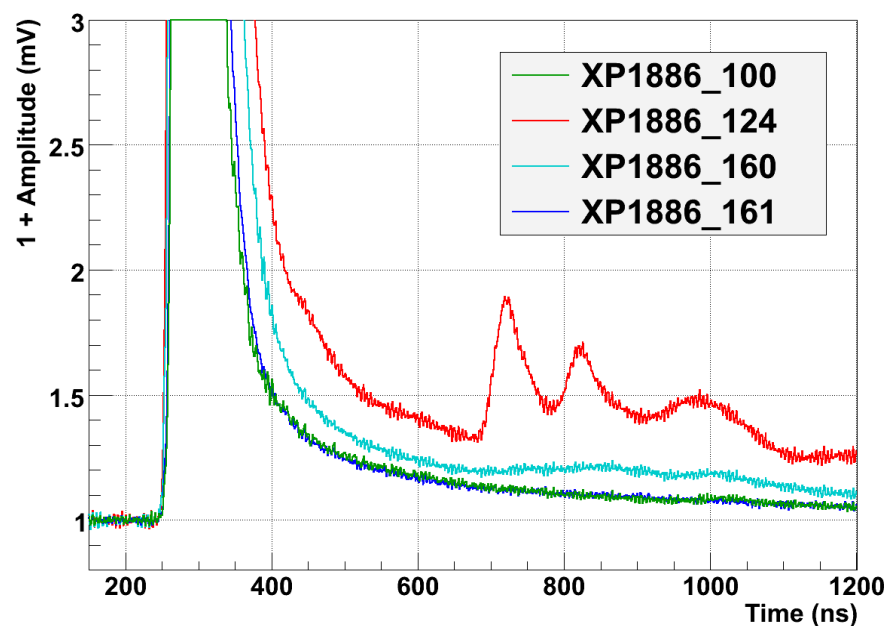
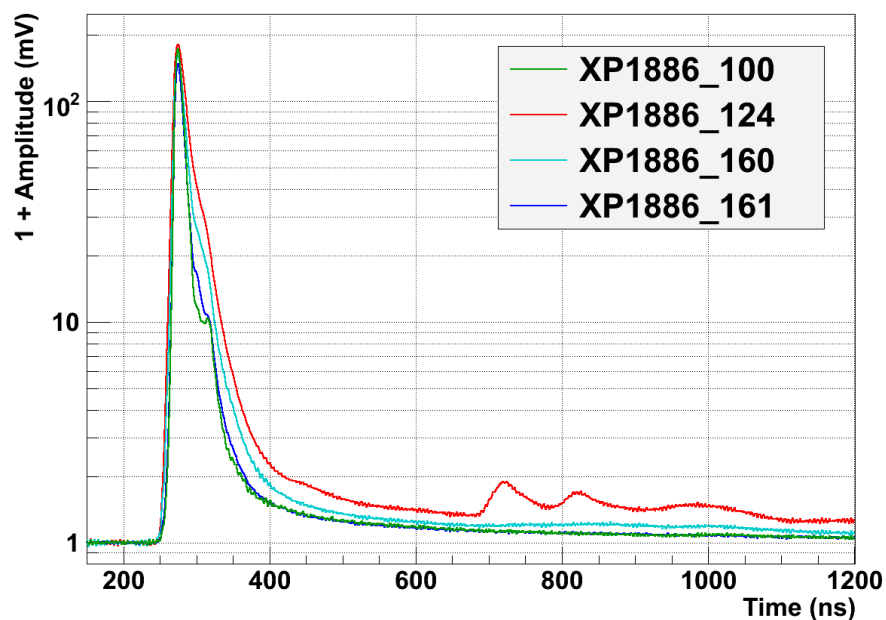
Reprise rapide du travail avec Hamamatsu

Septembre 2009 :      Transfert des caractéristiques du verre bas bruit  
développé par Philips vers Hamamatsu



# Problème de vide / Afterpulses

Pulses moyens pour  $\sim 25000$  électrons de 1 MeV  
(échantillonnage à 2 Ghz via carte MATACQ)



AP rares avec le SN100

probabilité  $\sim 100\%$  avec le PM SN124

forte amélioration sur les derniers tubes (SN160, SN161)



# Choice of the $\beta\beta$ isotope

ideal isotope should satisfy :

- an easy enrichment / purification (natural abundance, technical feasibility)
- a high  $\beta\beta_{2\nu}$  half-life
- a high  $Q_{\beta\beta}$  value (at least  $> 2.6$  MeV :  $\gamma$ -line from  $^{203}\text{Tl}$ )
- a favorable (high) phase space factor  $G_{0\nu}$

best candidates are  $^{82}\text{Se}$ ,  $^{48}\text{Ca}$ ,  $^{150}\text{Nd}$

$$\frac{1}{T_{0\nu}} = G_{0\nu} M_{0\nu}^2 < m_\nu >^2$$

SuperNEMO baseline with  $^{82}\text{Se}$

| Isotope           | Abundance (%) | $T_{1/2} \beta\beta_{2\nu}$    | $Q_{\beta\beta}$ | $G_{0\nu} (\text{y}^{-1}.\text{eV}^2)$ |
|-------------------|---------------|--------------------------------|------------------|----------------------------------------|
| $^{48}\text{Ca}$  | 0.19 %        | $4 \times 10^{19} \text{ y}$   | 4.27 MeV         | $2.5 \times 10^{-25}$                  |
| $^{82}\text{Se}$  | 9.2 %         | $9 \times 10^{19} \text{ y}$   | 2.99 MeV         | $1 \times 10^{-25}$                    |
| $^{150}\text{Nd}$ | 5.6 %         | $0.9 \times 10^{19} \text{ y}$ | 3.37 MeV         | $8 \times 10^{-25}$                    |

# R&D for $^{82}\text{Se}$

## Enriched Selenium

3.5 kg from ILIAS European Program (Tomsk facility)

1.0 kg currently being measured in NEMO3

## Purified Selenium

Chemical purification of 1 kg natural Se at INL (US)

Purification by distillation of 1 kg  $^{82}\text{Se}$  in Russia

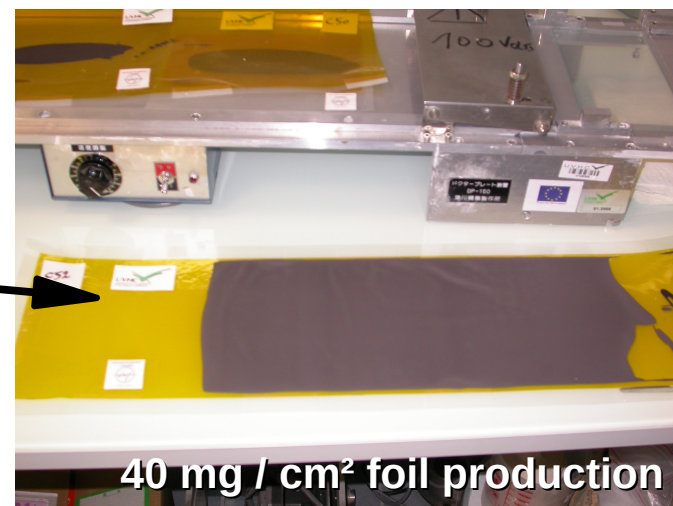


Enriched  $^{82}\text{Se}$   
in a quartz bottle

## Foil Production

Still standard ITEP's method (Russia)

New coating test at LAL (France)



40 mg / cm<sup>2</sup> foil production

## Mass Production

Possibility to enrich 100 kg in Russia by centrifugation  
within the timescale

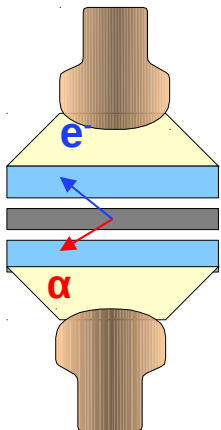
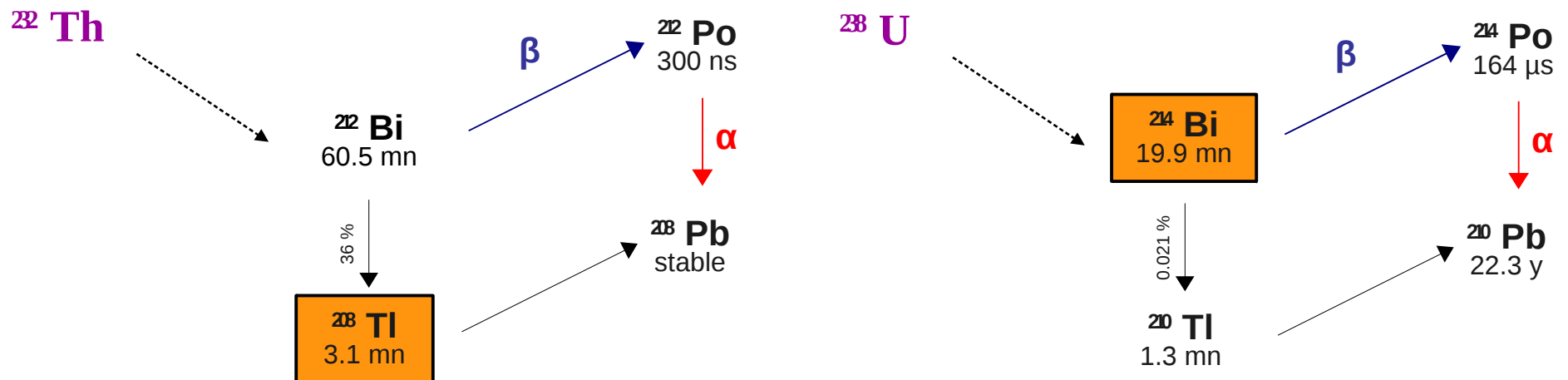
# Source Radiopurity : BiPo detector

Dedicated detector for qualification of SuperNEMO source background.

Measure the radiopurity in  $^{238}\text{Th}$  and  $^{238}\text{U}$  of thin  $\beta\beta$  foils with a sensitivity of :

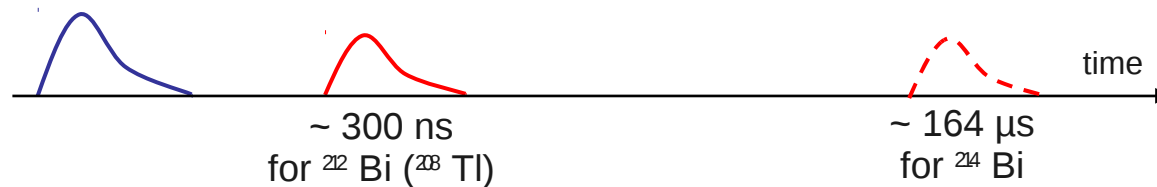
$$^{238}\text{Th} < 2 \mu\text{Bq} / \text{kg} \quad ^{238}\text{U} < 10 \mu\text{Bq} / \text{kg} \quad (10 \text{ m}^2 / \text{month})$$

using the BiPo decay cascade : **beta** + delayed **alpha**



Sandwich of two low radioactive thin plastic scintillators

Time topology signature: **1 hit** + **1 delayed hit**



## BiPo 1 prototype

Prototype of 0.8 m<sup>2</sup> **running in LSM**

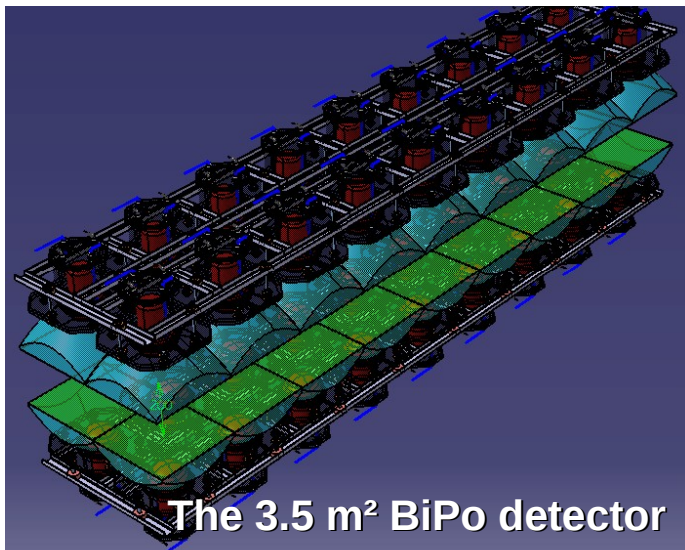
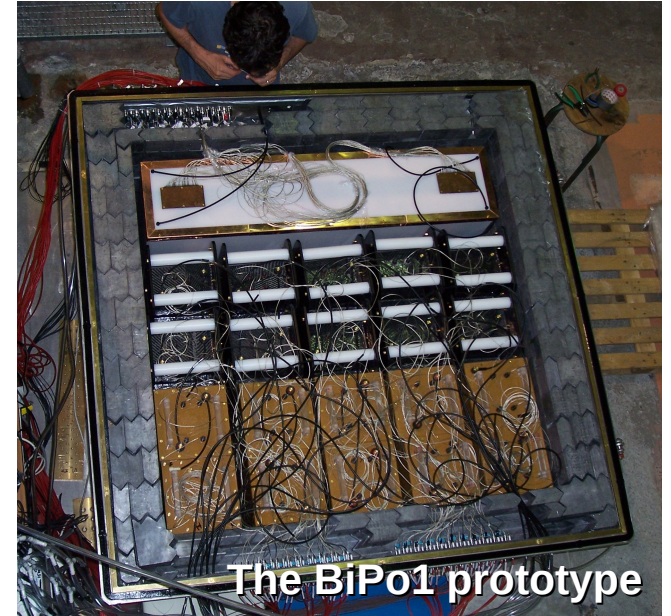
= 20 modules of 20 x 20 cm<sup>2</sup> scintillators

**Goal :** Measurement of the background level  
(surface radiopurity of the scintillators)

**Results :** 21 BiPo events detected after 310 days

► **surface background level**  $A(^{208}\text{Tl}) = 1 \mu\text{Bq} / \text{m}^2$

Data on <sup>24</sup>Bi background under studies



## Next Step : a BiPo detector of 3.5 m<sup>2</sup>

Construction in 2009-2010

**Goal :** Radiopurity control of <sup>76</sup>Se ββ source foils

One can achieve a sensitivity of  $A(^{208}\text{Tl}) < 3 \mu\text{Bq} / \text{kg}^2$

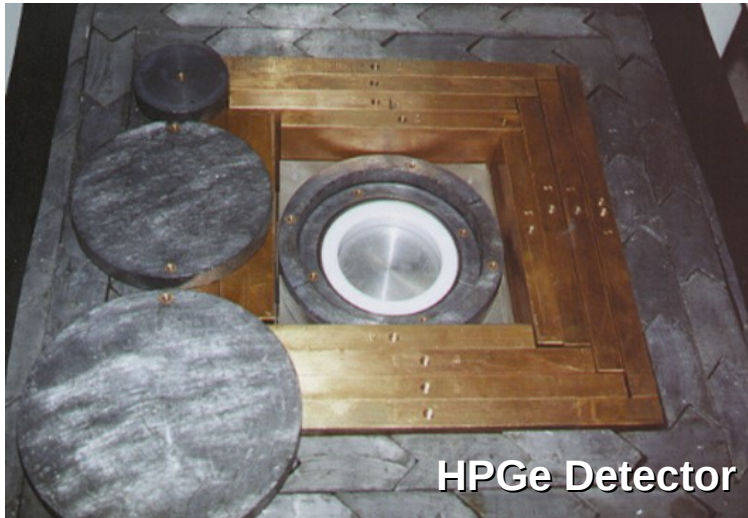
after 6 months of measurement

(assuming that background = measured BiPo1 background)



# Ge and Radon Detectors

All the SuperNEMO material (~ 1000 samples) must be selected by radiopurity control



2 x **HPGe 400 cm<sup>3</sup>** at LSM

sensitivity is (for 1kg in 1 month)

60  $\mu\text{Bq} / \text{kg}$  on  $^{208}\text{Tl}$

200  $\mu\text{Bq} / \text{kg}$  on  $^{214}\text{Bi}$

A new 600 cm<sup>3</sup> detector in development

**Goal : a better sensitivity by improving detection**

**efficiency + background reduction**

Studies on radon emanation / diffusion

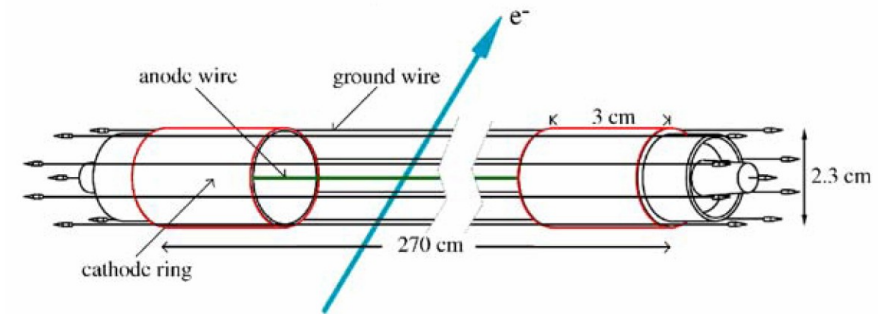
Development of new radon detector  
for a sensitivity of **0.1 mBq / m<sup>3</sup>**  
(NEMO3 : 1 mBq / m<sup>3</sup>)



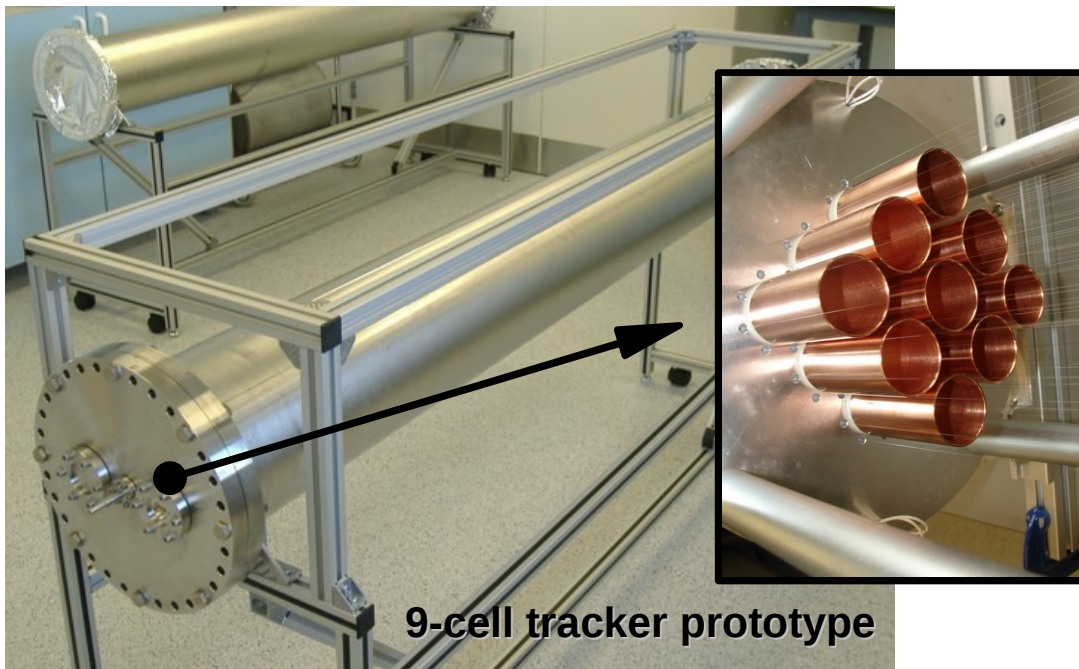
# Tracker R&D

Optimization of operating parameters :

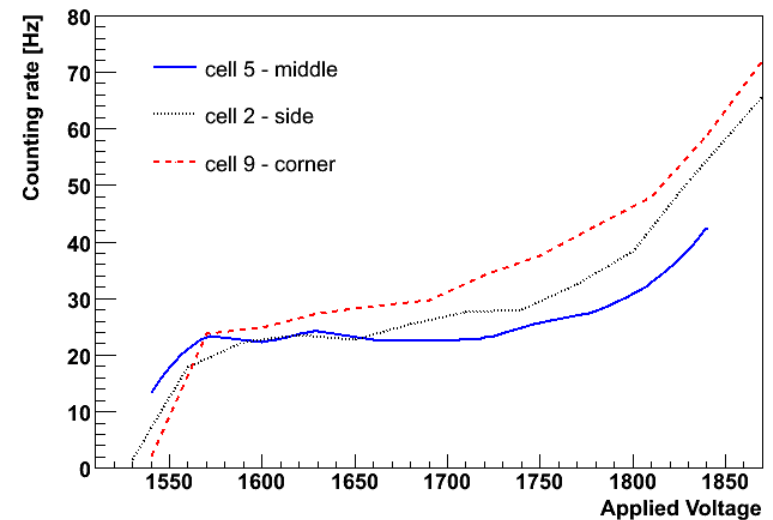
- ☐ wire material and gas mixture
- ☐ wire configuration, length, diameter
- ☐ readout



Two 9-cell tracker prototypes were built in 2007 (manual wiring)  
100% plasma propagation efficiency over wire length of 4 m.



9-cell tracker prototype



Geiger plateau for 3 wires



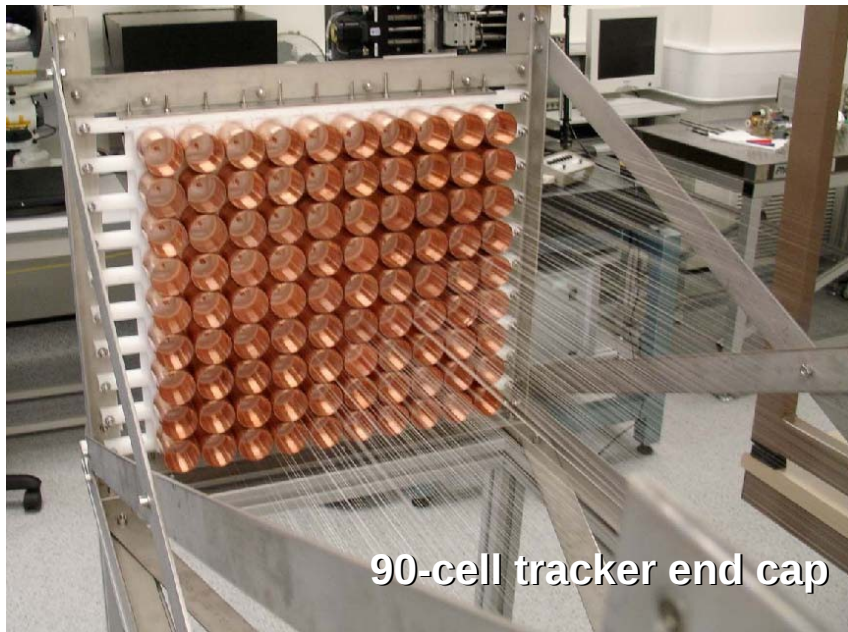
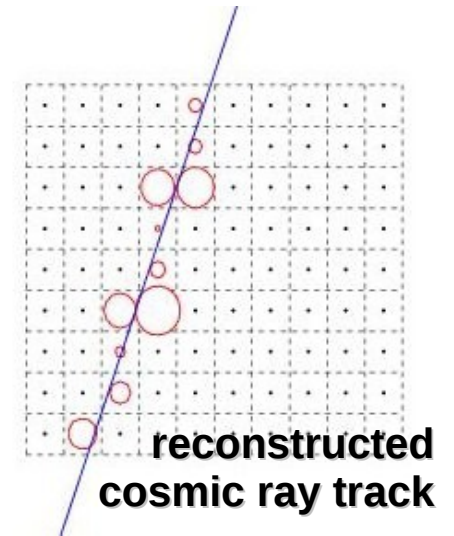
# Tracker R&D : 90-cell prototype

A 90-cell tracker is currently being tested at Manchester (UK)  
Intermediate step to validate engineering and mechanisms.

Preliminary results from tracking studies :

**r – resolution 0.7 mm**

**z – resolution 1.3 cm**

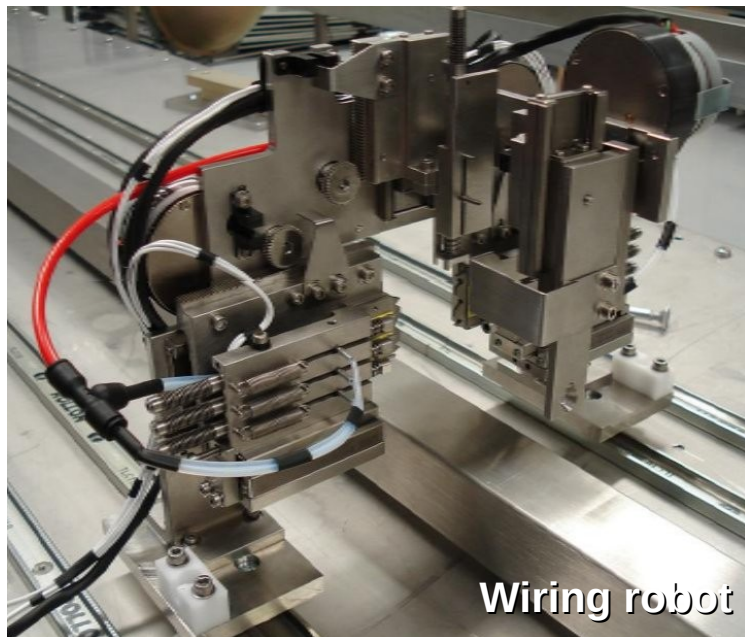




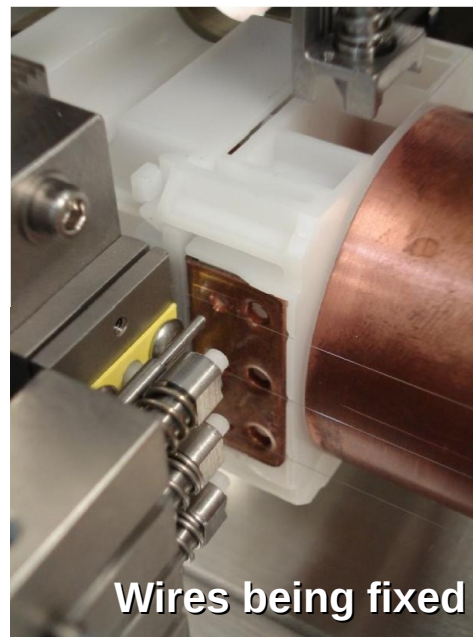
# Tracker R&D : Automated Wiring

~ 500 000 wires have to be strung, crimped and terminated  
A wiring robot is being developed at MSSL (UK)

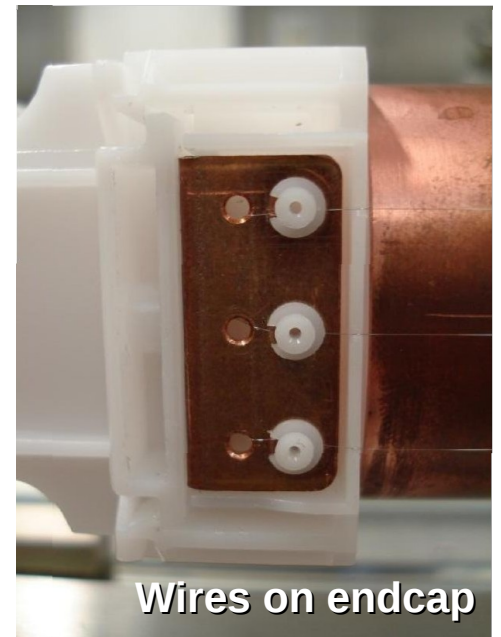
The 90 Cell Prototype was assembled using prototype mechanisms of the wiring robot.  
Based on this experience, a number of developments were identified for the design of the semi-automatic wiring robot.



Wiring robot



Wires being fixed



Wires on endcap

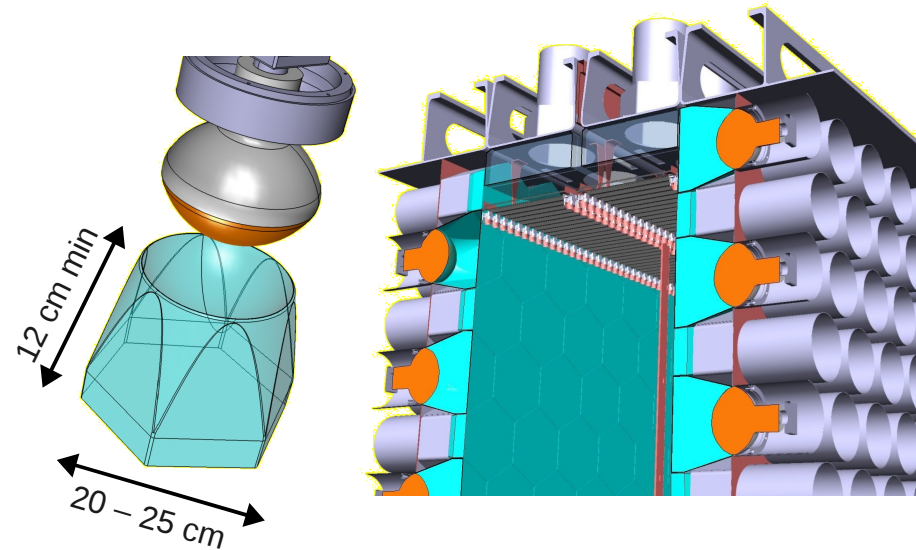
# Possible Calorimeter Design

## Block Design

Hexagonal blocks + 8" PMTs

Excellent energy resolution (7 % FWHM @ 1 MeV)

15 000 PMT channels for the full detector



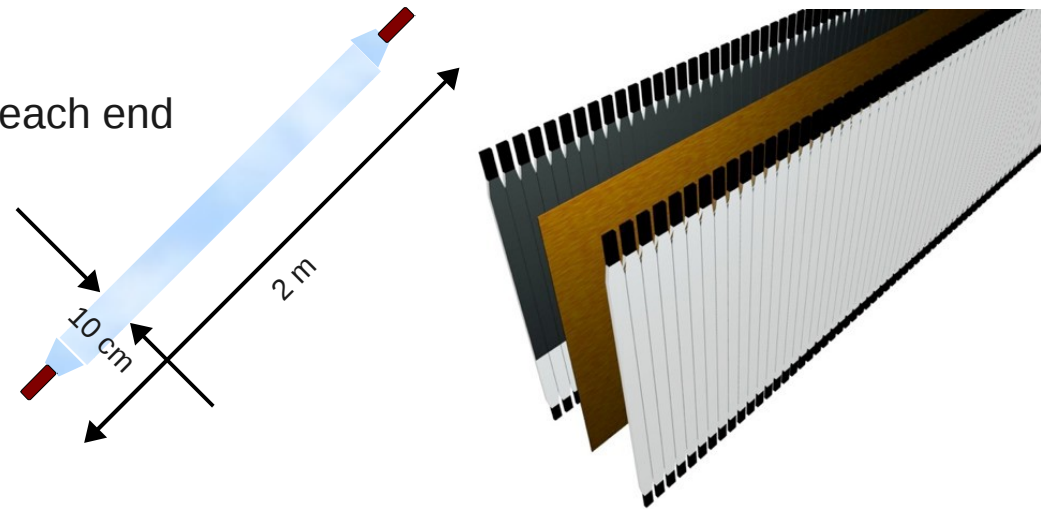
## Bar Design

2 m long bars, 2.5 cm thick with one 3" PMT at each end

Energy resolution ~ 10 % FWHM @ 1 MeV

≤ 7 500 PMT channels required

More compact design, efficient  $\gamma$  tagging



Currently working on choosing which design to use :

Can bar design advantages compensate a worse energy resolution ?

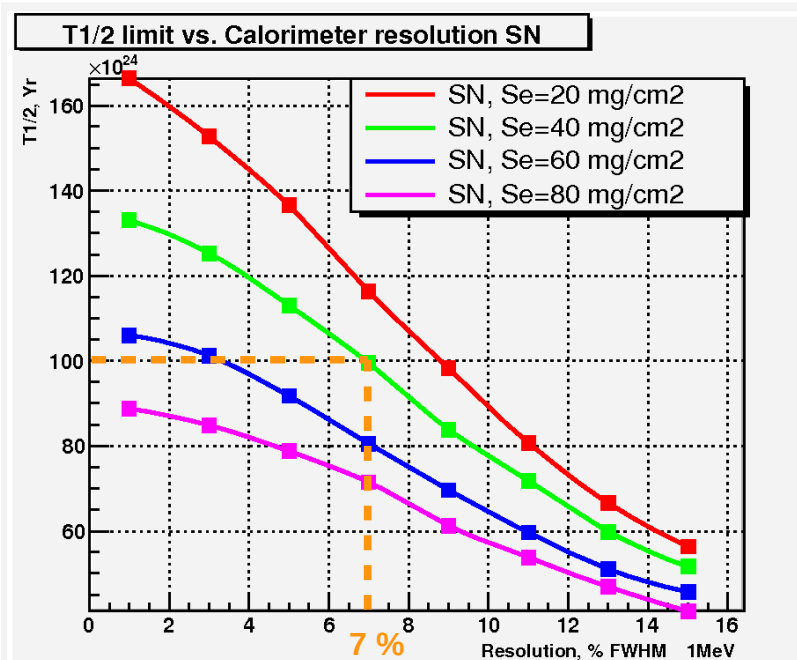
# Simulations

## Full detector simulation

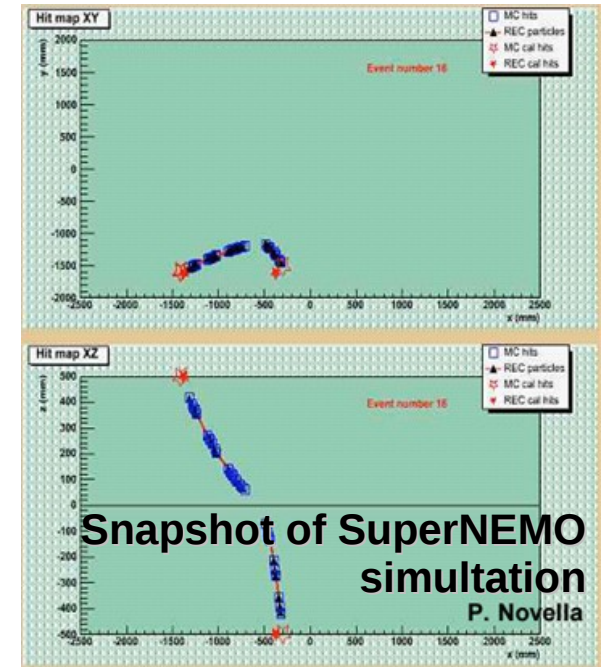
GENBB : event generator for double beta decay

physics simulation with GEANT4

digitization and track reconstruction



Expected sensitivity for 500 kg.y of <sup>82</sup>Se



Preliminary sensitivity with <sup>82</sup>Se

block design + 500 kg.y exposure

$$T_{1/2}(\beta\beta 0\nu) > 1.0 \times 10^{26} \text{ years}$$

$$\langle m_\nu \rangle < 53 - 145 \text{ eV}$$

# SuperNEMO Demonstrator (1<sup>st</sup> module)

## MAIN GOALS :

- To demonstrate the feasibility of large scale detector with required performance (efficiency, energy resolution, radiopurity, ...)

- To measure the radon background

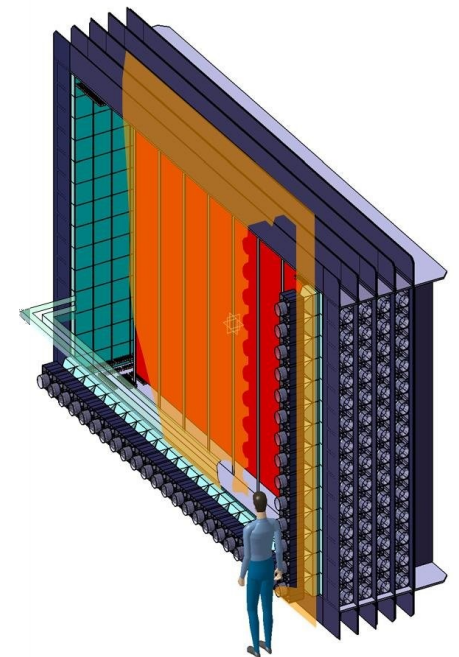
- To finalize detector design

- To produce competitive physics measurement :

$$T_{1/2}(\beta\beta 0\nu) > 6.5 \times 10^{24} \text{ years}$$

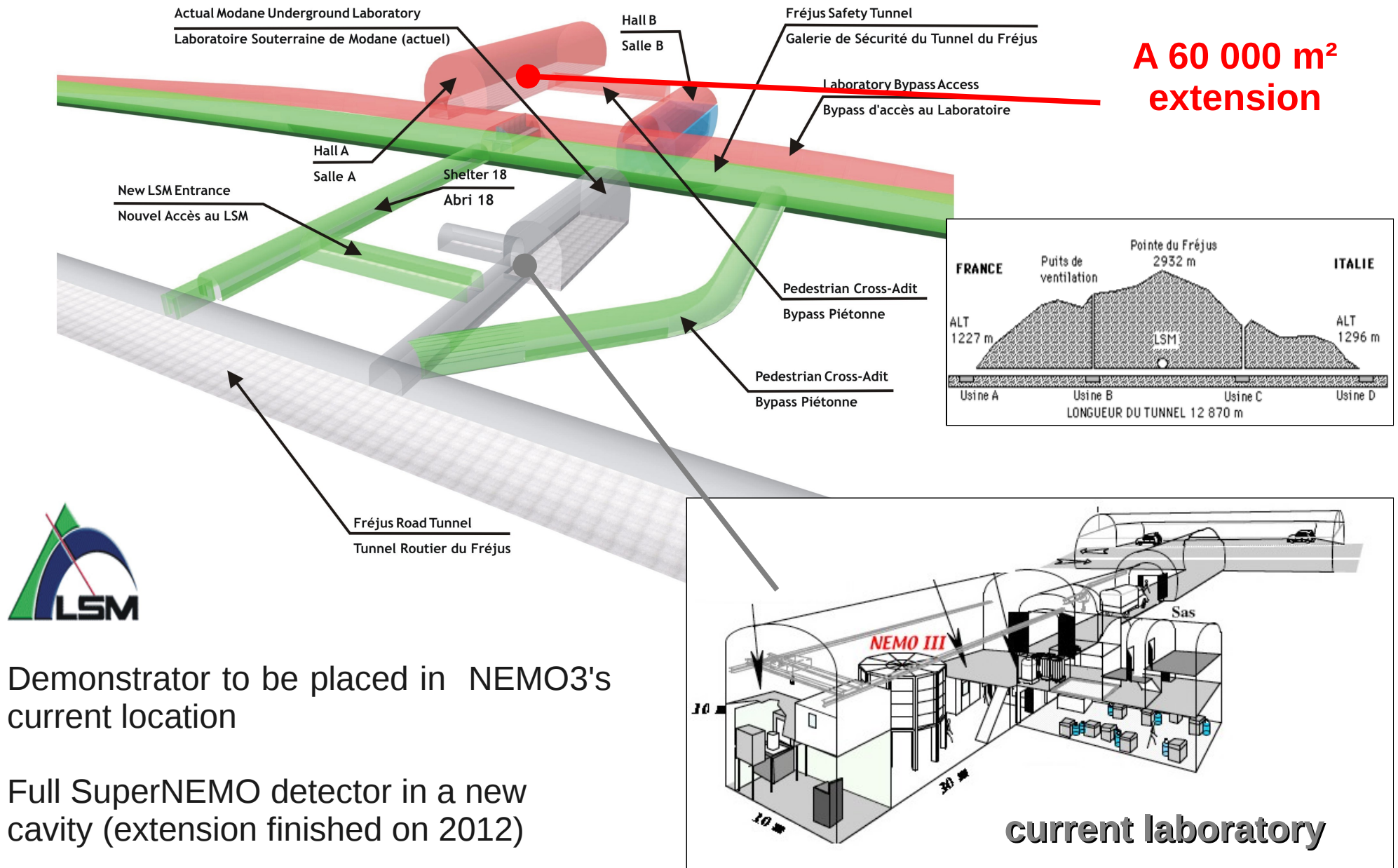
$$\langle m_\nu \rangle < 210 - 570 \text{ meV}$$

with 7 kg of  $^{82}\text{Se}$  after  $\sim 2$  years of demonstrator data taking

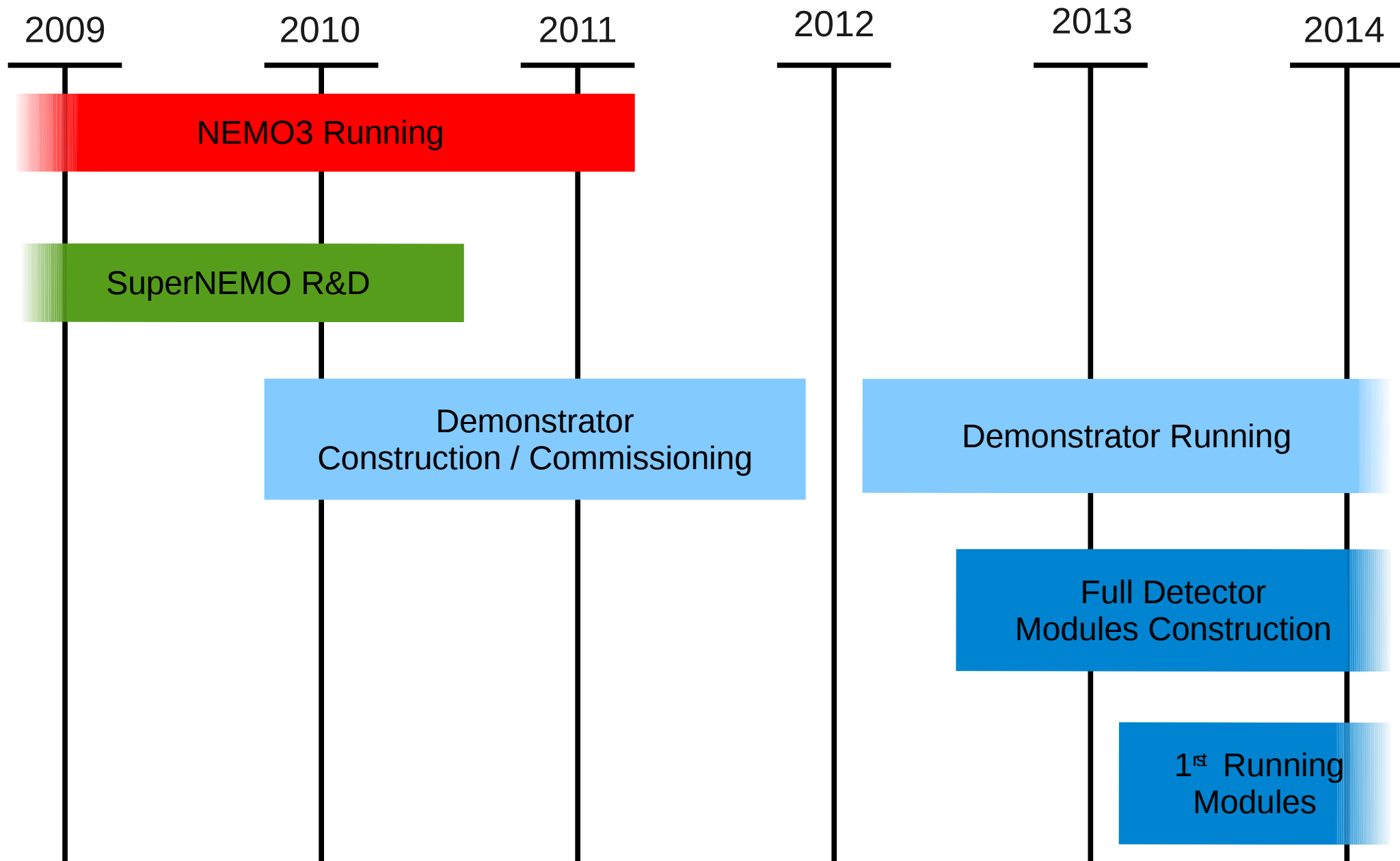




# Possible location : LSM



# SuperNEMO Schedule





# Optimisation du pont diviseur de tension

Effet de la modification des répartitions des tensions :

sur les premières dynodes : efficacité de collection des photo-électrons  
propriétés temporelles des pulses

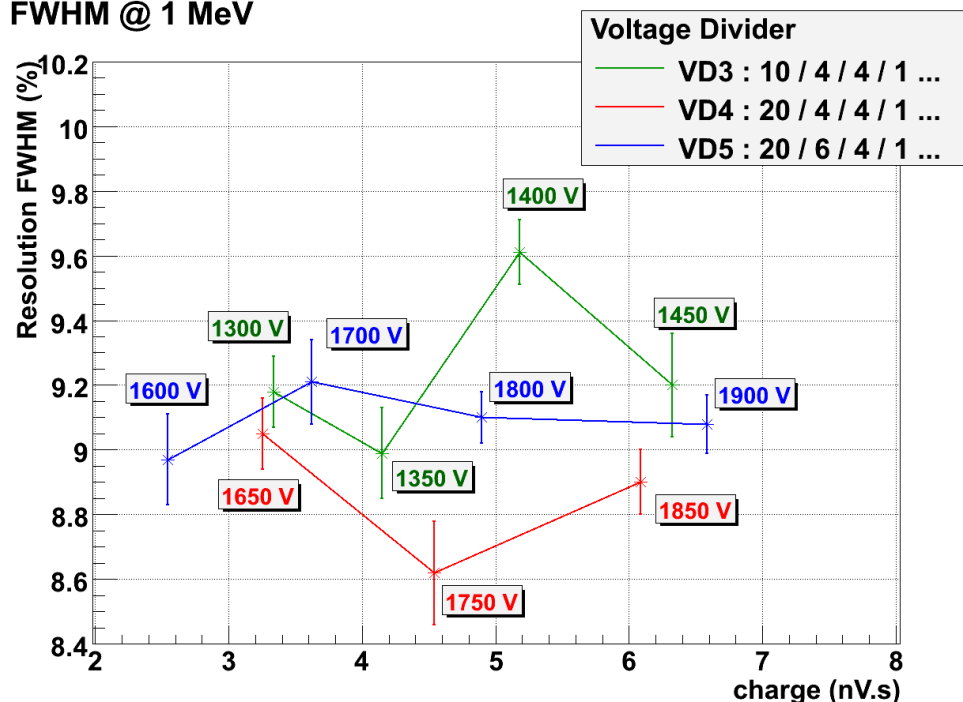
sur les dernières dynodes : gain, linéarité

Répartition des tensions des 6 ponts construits et testés au CENBG

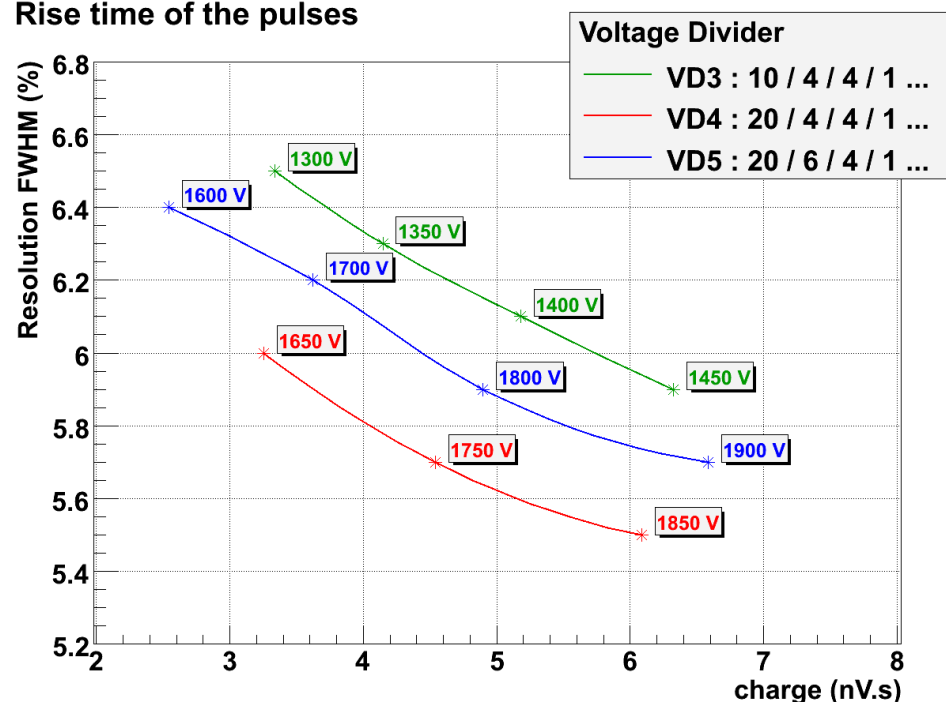
|     | C  | D1 | D2 | D3 | D4   | D5  | D6   | D7  | D8 | A | TOT  |
|-----|----|----|----|----|------|-----|------|-----|----|---|------|
| VD1 | 10 | 4  | 4  | 1  | 1    | 1   | 1    | 1   | 1  |   | 24   |
| VD2 | 10 | 4  | 4  | 1  | 1    | 1.5 | 2    | 2.5 | 2  |   | 28   |
| VD3 | 10 | 4  | 4  | 1  | 1.25 | 1.5 | 1.75 | 2   | 2  |   | 27.7 |
| VD4 | 20 | 4  | 4  | 1  | 1.25 | 1.5 | 1.75 | 2   | 2  |   | 37.5 |
| VD5 | 20 | 6  | 4  | 1  | 1.25 | 1.5 | 1.75 | 2   | 2  |   | 39.5 |
| VD6 | 20 | 8  | 4  | 1  | 1.25 | 1.5 | 1.75 | 2   | 2  |   | 41.5 |

# Optimisation du pont diviseur de tension

FWHM @ 1 MeV



Rise time of the pulses



Le pont « VD4 » a été retenu :

il semble se détacher légèrement sur la résolution en énergie  
et donne clairement des pulses à temps de montée plus rapide que les autres.

Il s'agit de celui ayant la plus haute tension entre la photocathode et la première dynode.

# Optimisation du pont diviseur de tension

effet de la modification des répartitions des tensions :

sur les premières dynodes : efficacité de collection des photo-électrons  
propriétés temporelles des pulses

sur les dernières dynodes : gain, linéarité

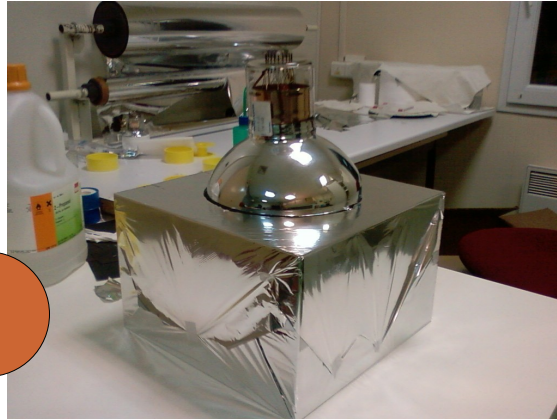
Répartition des tensions des 6 ponts construits et testés au CENBG **HV = 1650 V**

|     | C   | D1  | D2  | D3 | D4 | D5 | D6  | D7  | D8  | A | TOT  |
|-----|-----|-----|-----|----|----|----|-----|-----|-----|---|------|
| VD1 | 686 | 275 | 275 | 69 | 69 | 69 | 69  | 69  | 69  |   | 24   |
| VD2 | 589 | 236 | 236 | 59 | 59 | 88 | 118 | 147 | 118 |   | 28   |
| VD3 | 596 | 238 | 238 | 60 | 74 | 89 | 104 | 119 | 119 |   | 27.7 |
| VD4 | 880 | 176 | 176 | 44 | 55 | 66 | 77  | 88  | 88  |   | 37.5 |
| VD5 | 835 | 251 | 167 | 42 | 52 | 63 | 73  | 84  | 84  |   | 39.5 |
| VD6 | 795 | 318 | 159 | 40 | 50 | 60 | 70  | 80  | 80  |   | 41.5 |

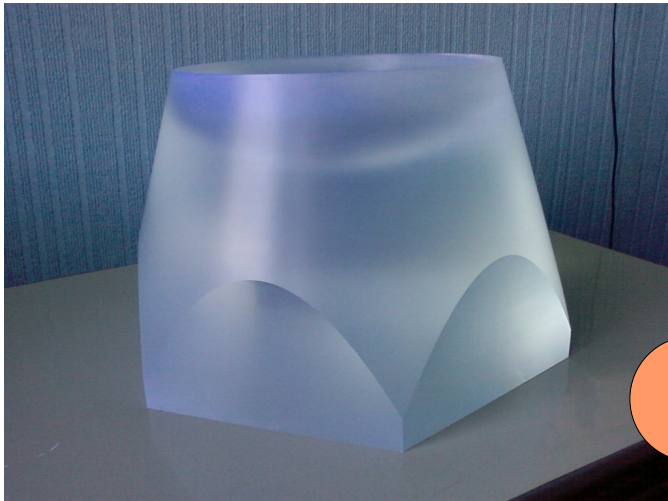
# R&D Géométrie Scintillateur



1



2

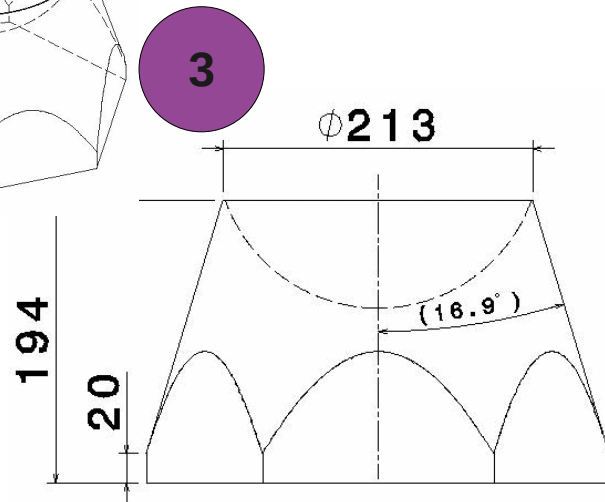
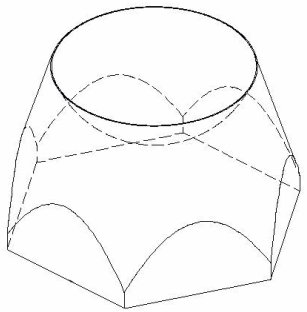
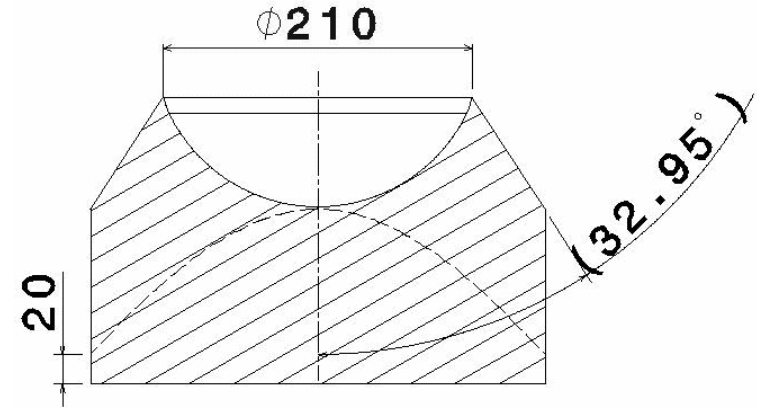
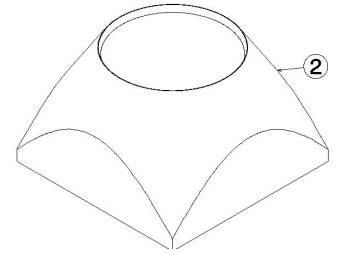
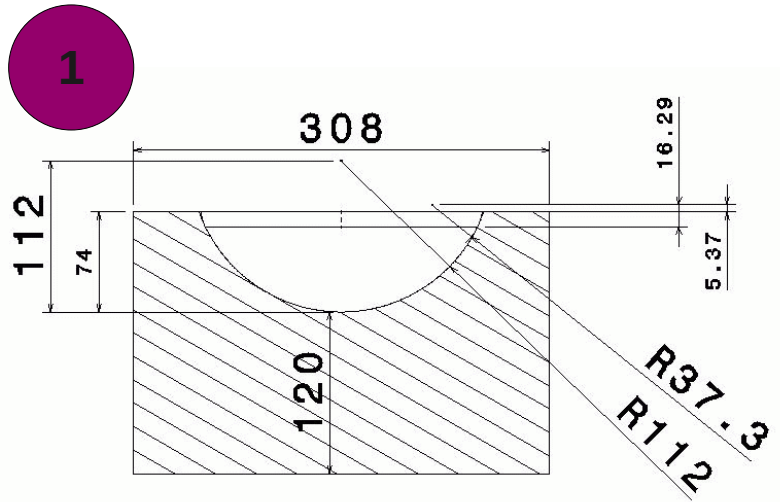
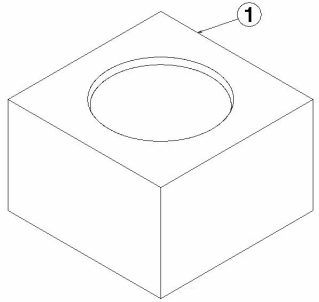


3

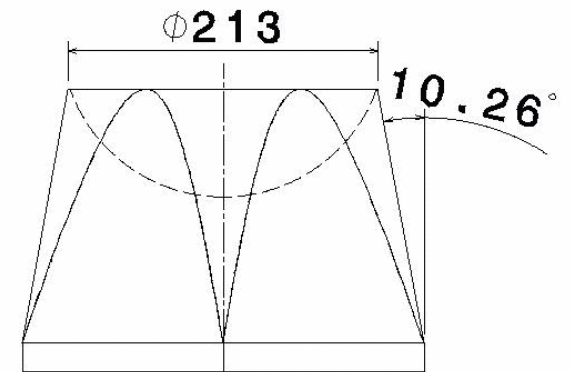
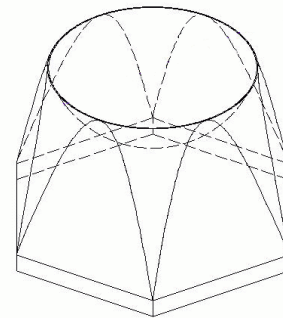


4

# R&D Géométrie Scintillateur



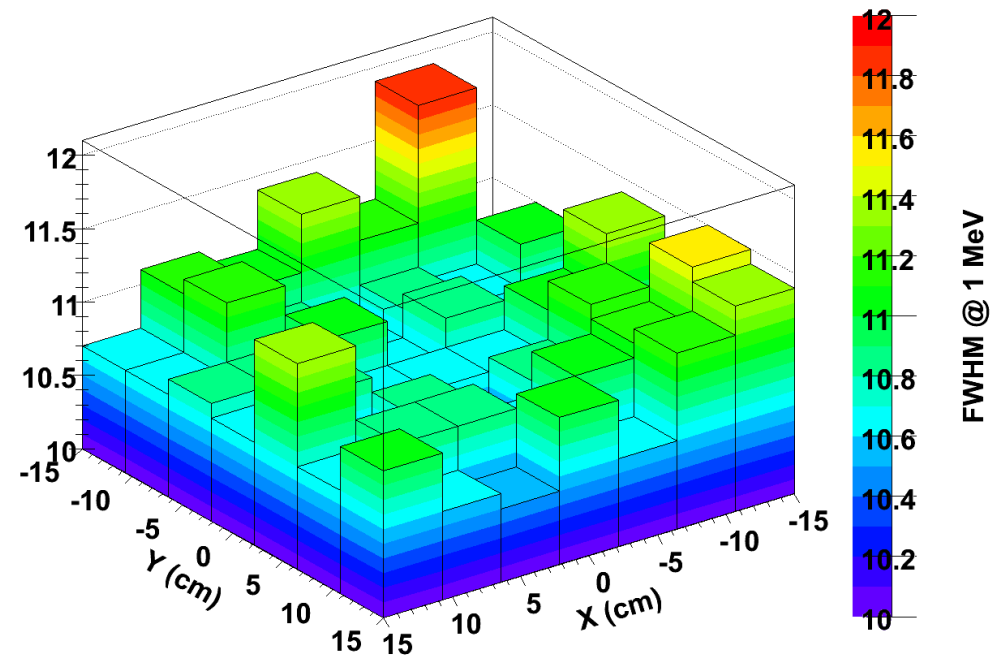
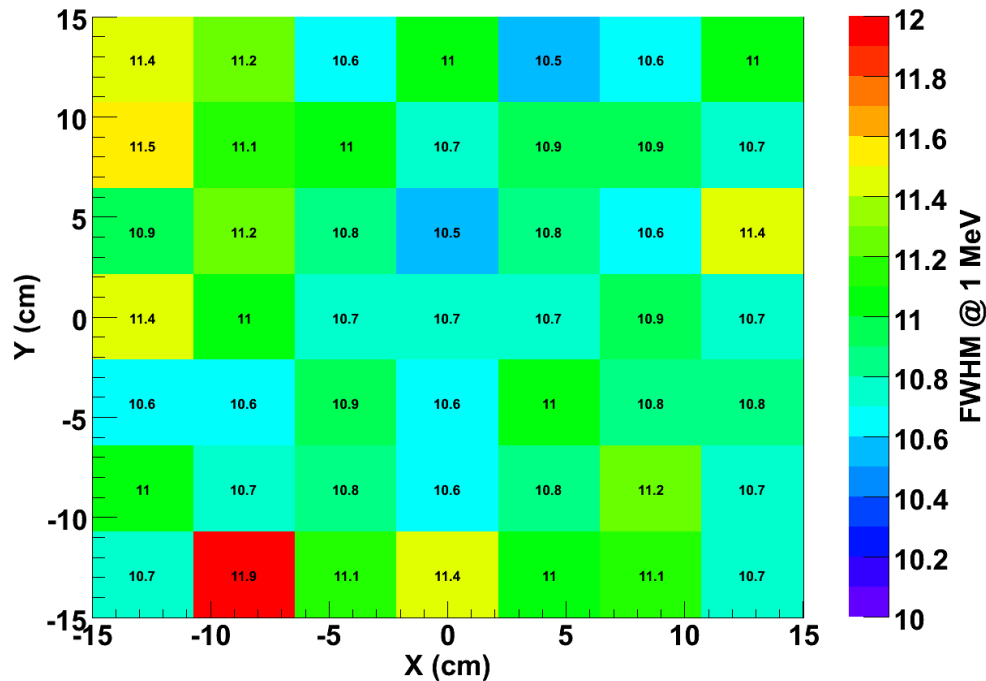
276 min



276 min



# SHAPE # 2 FWHM Scanning



**FWHM for charge fit + no  $\Delta E$  effect correction**

**Errors bars on resolution are  $\sim 0.2\%$**

A very slight degradation near the sides or at the corner

Except the red point, good uniformity :  $10.5\% < \text{FWHM} < 11.5\%$

