

Congrès de la Société Française de Physique 2011

Masse et nature du neutrino : de NEMO3 à SuperNEMO

Arnaud Chapon

LPC Caen, ENSICAEN, Université de Caen, CNRS/IN2P3, Caen, France

7 juillet 2011

Sommaire

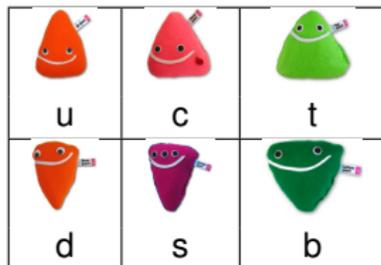
- 1 Le Neutrino, une particule fondamentale
 - Les particules fondamentales
 - Etat de connaissances du neutrino
- 2 La double désintégration $\beta\beta$
 - La désintégration β simple
 - Deux processus, a priori
- 3 L'expérience NEMO3
 - Dispositif expérimental
 - Réduction du bruit de fond
 - Résultats
- 4 Le projet SuperNEMO
 - De NEMO3 à SuperNEMO
 - Développements R&D

Le Neutrino, une particule fondamentale

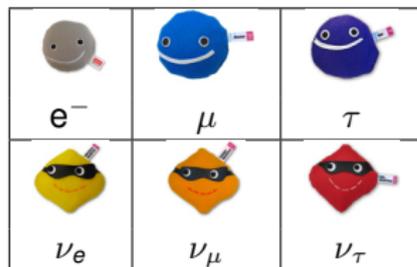
Les particules fondamentales

- Fermions

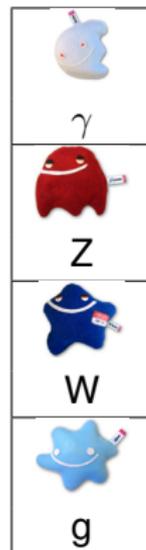
- ▶ Quarks



- ▶ Leptons



- Bosons



Le Neutrino, une particule fondamentale

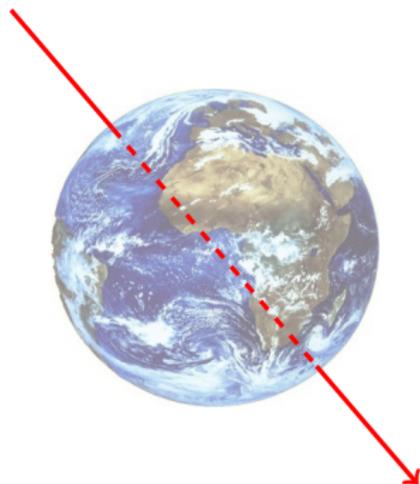
Etat de connaissances du neutrino

Le neutrino est :

- un lepton neutre
- soumis à la seule interaction faible

1930 : le neutrino est considéré :

- de masse nulle
- de nature Dirac ($\nu \neq \bar{\nu}$)

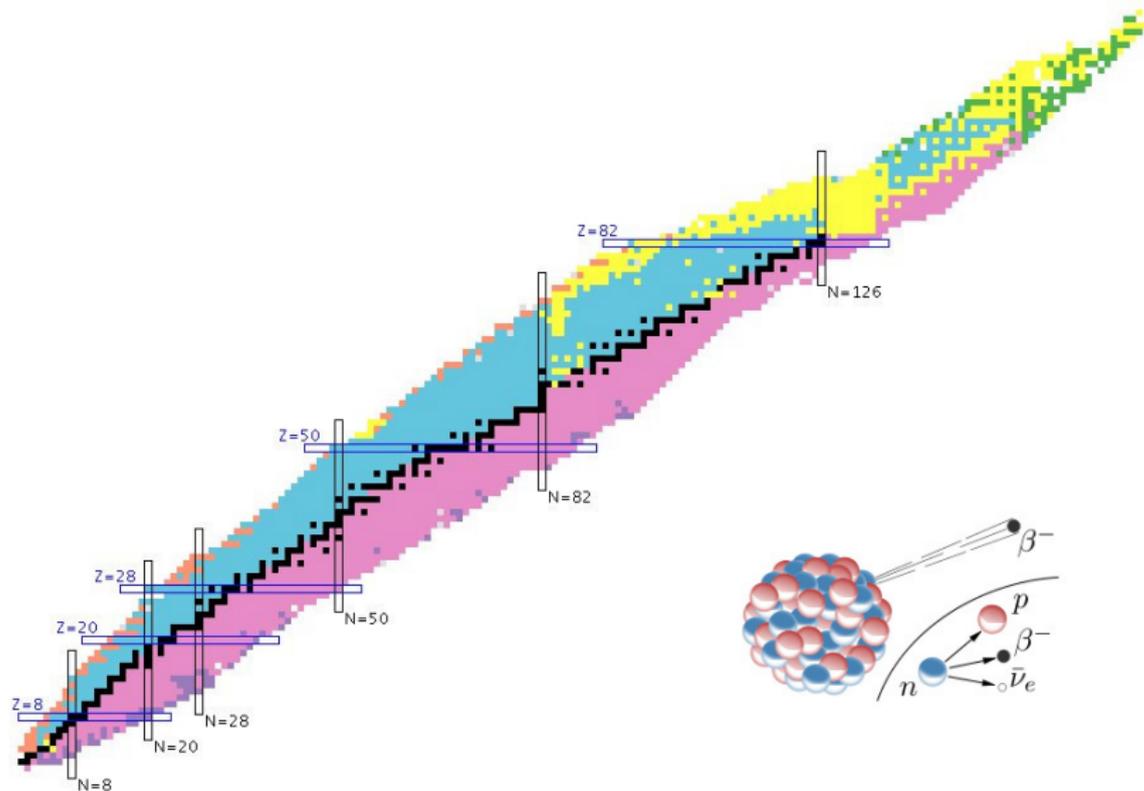


1990 : Oscillation du neutrino \implies Le neutrino est massif

$$\frac{1}{T_{1/2}(2\beta 0\nu)} \propto \langle m_\nu \rangle^2$$

La double désintégration $\beta\beta$

La désintégration β simple



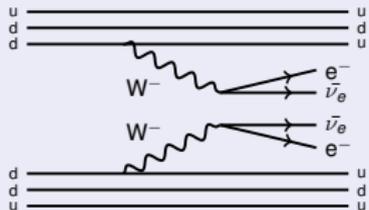
La double désintégration $\beta\beta$

Deux processus, a priori

Le processus permis ($2\nu 2\beta$)

$$(A, Z) \rightarrow (A, Z+2) + 2e^- + 2\bar{\nu}_e$$

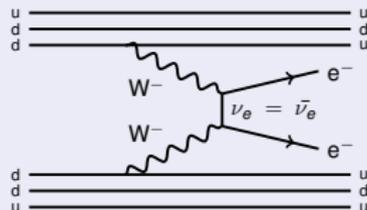
- $\Delta L = 0$
- $\nu \neq \bar{\nu}$?
- $(T_{1/2}^{2\nu})^{-1} = G_{2\nu} |M_{2\nu}|^2$
- $T_{1/2}^{2\nu} \approx 10^{19} - 10^{21} \text{ ans}$



Le processus au-delà du MS ($0\nu 2\beta$)

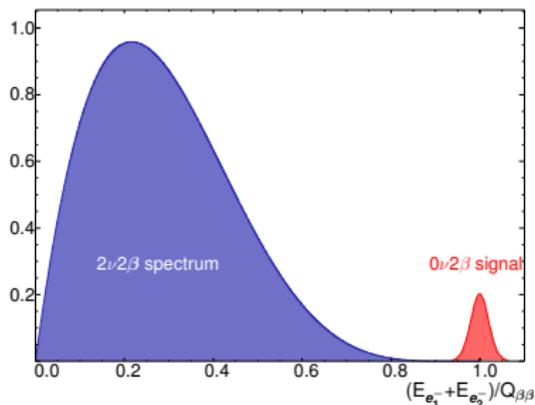
$$(A, Z) \rightarrow (A, Z+2) + 2e^-$$

- $\Delta L = 2$
- $\nu \equiv \bar{\nu}$
- $(T_{1/2}^{0\nu})^{-1} = G_{0\nu} |M_{0\nu}|^2 |m_{\beta\beta}|^2$
- $T_{1/2}^{0\nu} \gtrsim 10^{24} \text{ ans}$



La double désintégration $\beta\beta$

Deux processus, a priori

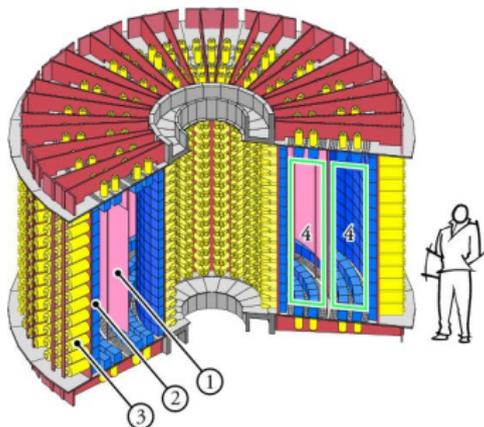


Idéalement, une expérience de $0\nu 2\beta$ doit permettre :

- de mesurer l'énergie des deux électrons avec une bonne résolution
- identifier individuellement les deux électrons (E_{e_1} , E_{e_2} , Δt , $\cos\theta$)

L'expérience NEMO3

Dispositif expérimental



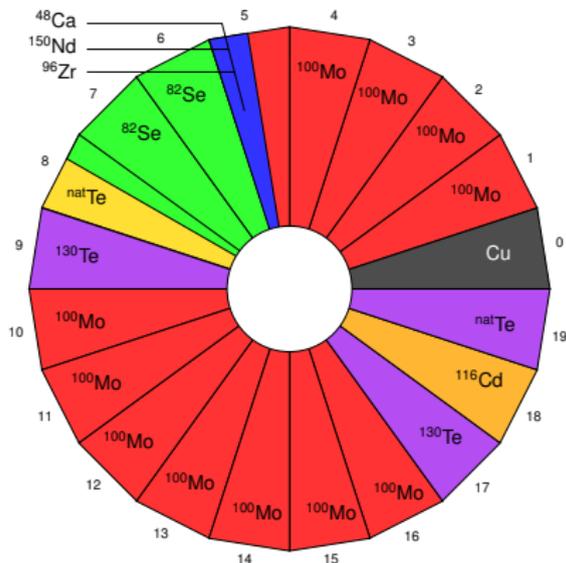
- Source (1)
 - ▶ 10kg d'isotopes émetteurs $\beta\beta$

- Chambre à fils (4)
 - ▶ 6180 cellules à dérive
 - ▶ Gaz : He + 4% éthylène + 1% Ar+ 0.1% H₂O

- Calorimètre
 - ▶ 1940 scintillateurs plastiques (2) couplés à des PMs très basse radioactivité (3)

L'expérience NEMO3

Dispositif expérimental



● Source

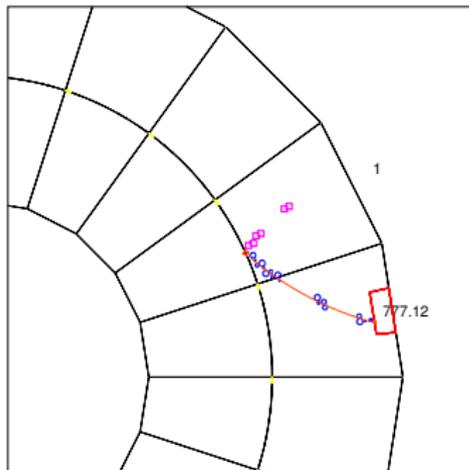
► 10kg d'isotopes émetteurs $\beta\beta$

isotope $\beta\beta$	$Q_{\beta\beta}$ (keV)	enrichissement (%)	masse (g)
^{100}Mo	3035	96.8	6914
^{82}Se	2995	96.9	932
^{130}Te	2529	89.4	454
^{116}Cd	2802	93.2	405
^{150}Nd	3367	91.0	37
^{96}Zr	3350	57.3	9.4
^{48}Ca	4271	73.1	6.99
$^{\text{nat}}\text{TeO}$			0.9
Cu			0.7

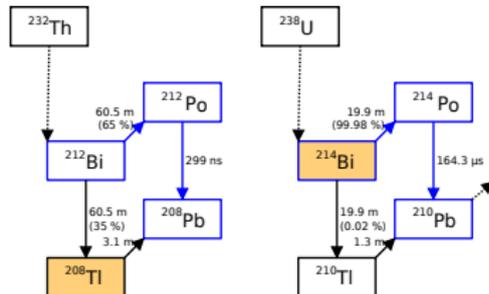
L'expérience NEMO3

Réduction du bruit de fond

NEMO3 - RUN: 6406 EVENT: 173823 (2007-10-31 @ 05:10:06)

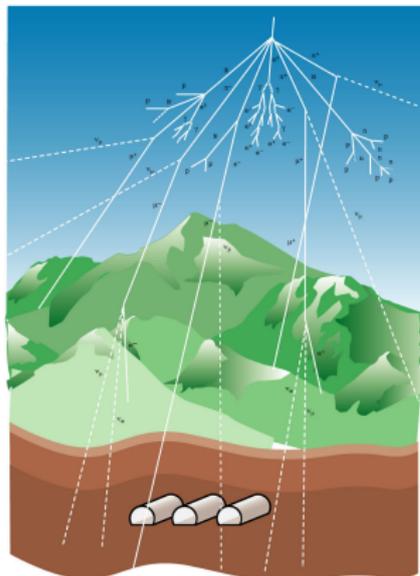


- Mesure des paramètres cinétiques
 - ▶ $E_{e_1}, E_{e_2}, \Delta t, \cos\theta$
- Identification des particules
 - ▶ e^-, e^+, γ, α
- Mesure directe des bruits de fond
 - ▶ $e^-, e^-\gamma, e^-\gamma\gamma, e^-\gamma\gamma\gamma, e^-\alpha, e^-$ traversant...



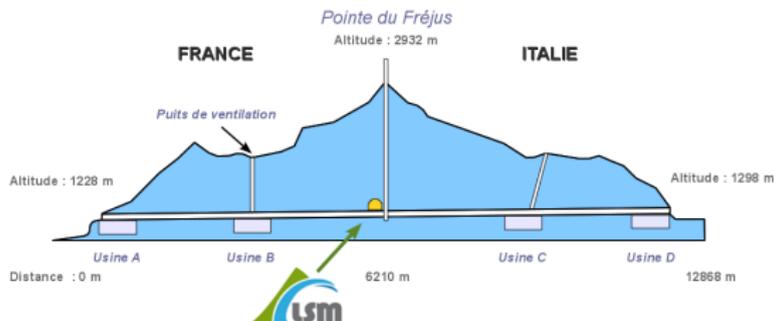
L'expérience NEMO3

Réduction du bruit de fond



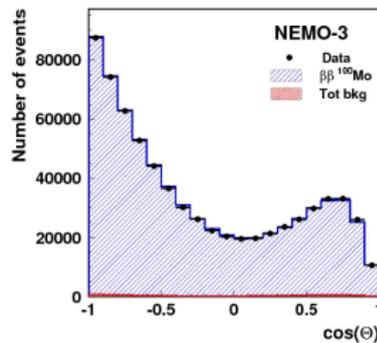
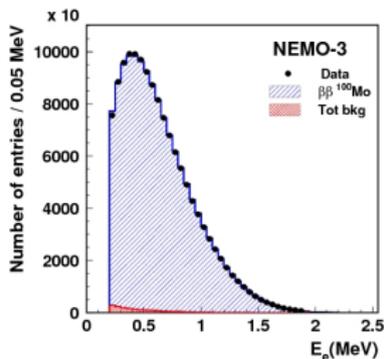
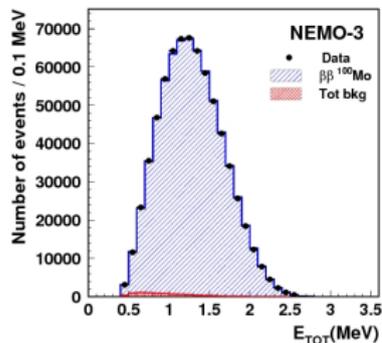
Laboratoire souterrain de Modane :

- volume de 3000 m³
- 1700 m de roche
- réduction du rayonnement cosmique d'un facteur 10⁶



L'expérience NEMO3

Résultats - $2\nu 2\beta$ du $^{100}\text{Mo}^1$ (7kg)



≈ 6 ans, $\epsilon(2\nu 2\beta) = 4.3\%$, $\frac{S}{B} = 76$:

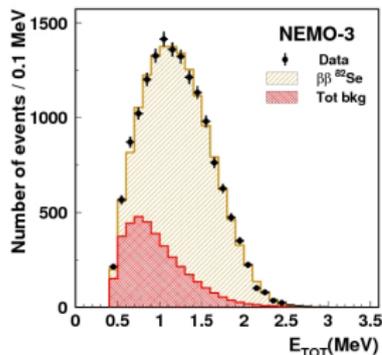
$$T_{1/2}^{2\nu 2\beta} = (7.16 \pm 0.01_{(stat)} \pm 0.54_{(sys)}) \times 10^{18} \text{ ans}$$

$$\text{Phase I } (\approx 1 \text{ an}, \frac{S}{B} = 40) : T_{1/2}^{2\nu 2\beta} = (7.11 \pm 0.02_{(stat)} \pm 0.54_{(sys)}) \times 10^{18} \text{ ans}$$

¹ PRL 95 (182302) 2005

L'expérience NEMO3

Résultats - $2\nu 2\beta$ des autres isotopes



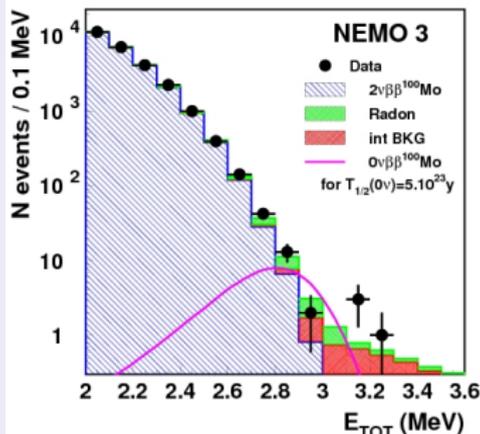
$2\nu 2\beta$ des autres isotopes

isotope	$T_{1/2}^{2\nu 2\beta}$ (années)
¹⁰⁰ Mo	$(7.16 \pm 0.01_{(stat)} \pm 0.54_{(sys)}) \times 10^{18}$
⁸² Se	$(9.6 \pm 0.1_{(stat)} \pm 1.0_{(sys)}) \times 10^{19}$
¹³⁰ Te	$(7 \pm 1_{(stat)} \pm 1_{(sys)}) \times 10^{20}$
¹¹⁶ Cd	$(2.88 \pm 0.04_{(stat)} \pm 0.16_{(sys)}) \times 10^{19}$
¹⁵⁰ Nd	$(9.11 \pm 0.25_{(stat)} \pm 0.63_{(sys)}) \times 10^{18}$
⁹⁶ Zr	$(2.35 \pm 0.14_{(stat)} \pm 0.16_{(sys)}) \times 10^{19}$
⁴⁸ Ca	$(4.4 \pm 0.5_{(stat)} \pm 0.4_{(sys)}) \times 10^{19}$

L'expérience NEMO3

Résultats - $0\nu 2\beta$ du ^{100}Mo (7kg) et du ^{82}Se (1kg)

^{100}Mo - 6914 g (3035 keV)

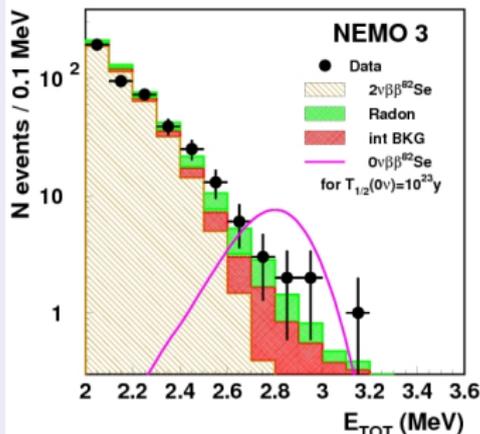


[2.8-3.2] MeV : DATA = 18 ; MC = 16.4 ± 1.4

$$T_{1/2}^{0\nu} > 1 \times 10^{24} \text{ yr @ 90\% CL}$$

$$\langle m_\nu \rangle < (0.47 - 0.96) \text{ eV}^2$$

^{82}Se - 932 g (2995 keV)



[2.6-3.2] MeV : DATA = 14 ; MC = 10.9 ± 1.3

$$T_{1/2}^{0\nu} > 3.2 \times 10^{23} \text{ yr @ 90\% CL}$$

$$\langle m_\nu \rangle < (0.94 - 1.71) \text{ eV}^2$$

²Using NME from : - E. Caurieret al., PRL 100 (2008) 052503 - Simkovicet al., PRC 77 (2008) 045503 - Suhonnenet al., J. Mod. Phys E 17 (2008) 1

Le projet SuperNEMO

De NEMO3 à SuperNEMO

NEMO3

^{100}Mo

7kg

18%

$^{208}\text{Tl} : \approx 100 \mu\text{Bq/kg}$
 $^{214}\text{Bi} : < 300 \mu\text{Bq/kg}$
 $^{222}\text{Rn} : 5 \text{ mBq/m}^3$

8% @ 3MeV

$T_{1/2}^{0\nu} \gtrsim 10^{24} \text{ yr}$
 $\langle m_{\nu} \rangle < (0.3 - 0.9) \text{ eV}$

isotope

masse

efficacité

contaminations internes
 dans les feuilles $\beta\beta$
 Rn dans le tracker

résolution du calorimètre

sensibilité

SuperNEMO

^{82}Se
 or ^{48}Ca or ^{150}Nd

100kg

30%

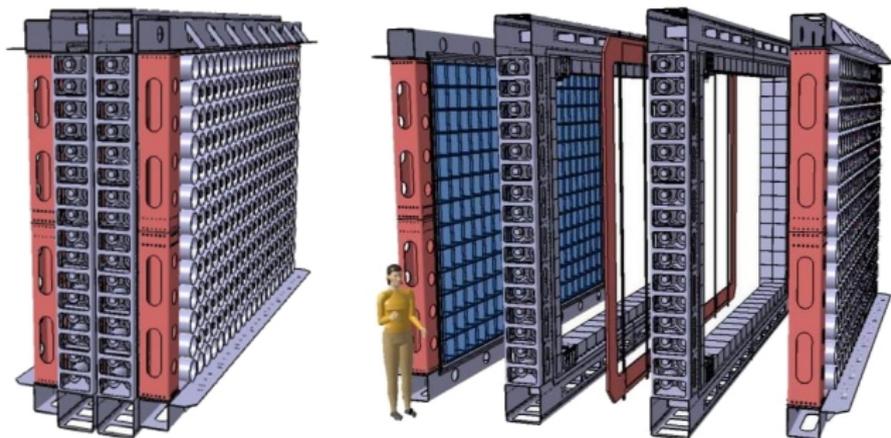
$^{208}\text{Tl} : \leq 2 \mu\text{Bq/kg}$
 $^{214}\text{Bi} : \leq 10 \mu\text{Bq/kg}$
 $^{222}\text{Rn} : \leq 0.15 \text{ mBq/m}^3$

4% @ 3MeV

$T_{1/2}^{0\nu} \gtrsim 10^{26} \text{ yr}$
 $\langle m_{\nu} \rangle < (0.04 - 0.11) \text{ eV}$

Le projet SuperNEMO

De NEMO3 à SuperNEMO



SuperNEMO :

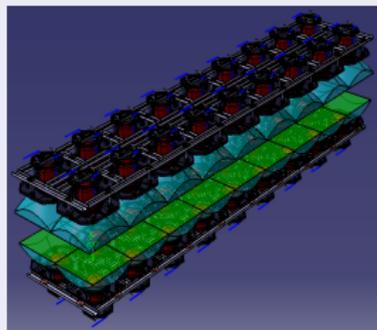
- 20 modules, chacun contenant 5 kg de source
- chambre à fils + calorimètre segmenté
- installation au LSM + blindage passif

Le projet SuperNEMO

Développements R&D - Production des sources

- Enrichissement et purification à grande échelle possibles
- Respect des contraintes de radiopureté :
 - ▶ ^{208}Tl : $< 2 \mu\text{Bq/kg}$
 - ▶ ^{214}Bi : $< 10 \mu\text{Bq/kg}$

BiPo detector⁵



- Sensibilité de BiPo_3 (3.24 m^2) :
 - ▶ $A(^{208}\text{Tl})_{\text{BiPo}_1} \sim 1.5 \mu\text{Bq/m}^2$
(258 jours. m^2 @ LSM)
 - ▶ $0.6 < A(^{214}\text{Bi})_{\text{BiPo}_3} < 23.0 \mu\text{Bq/m}^2$
(5.34 jours. m^2 @ LSC)

⁵Methods in Physics Research A 622 (2010) 120–128

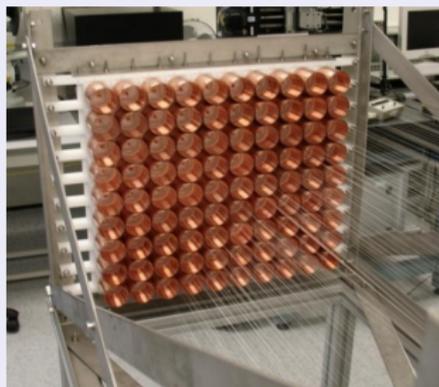
Le projet SuperNEMO

Développements R&D - Chambre à fils + calorimètre

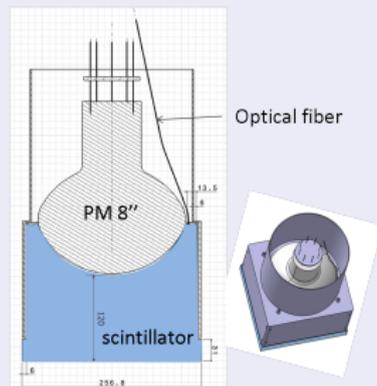
Chambre à fils

$$\sigma_T \sim 0.7 \text{ mm} \quad \sigma_L \sim 1 \text{ cm}$$

$$\epsilon_{\text{Geiger}} > 98\%$$



Calorimètre



Bloc de PVT ($256 \times 256 \text{ mm}^2$)
couplé à un PM 8" (R5912MOD) :

$$\text{FWHM} = 7.3\% \text{ @ } 1 \text{ MeV}$$

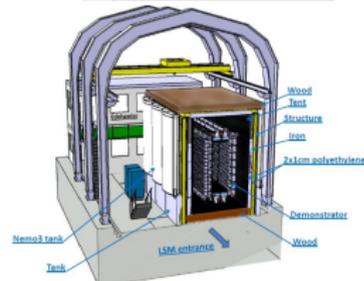
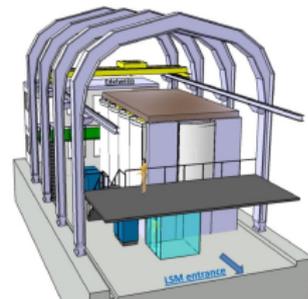
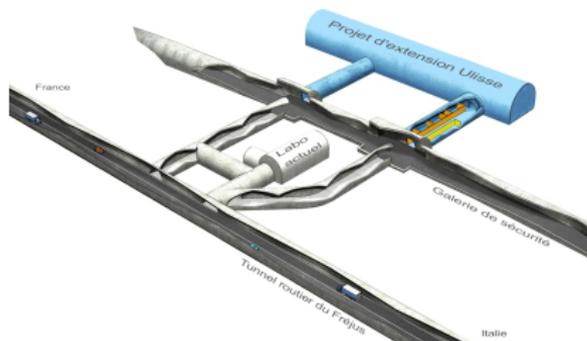
$$\text{FWHM} = 4.2\% \text{ @ } 3 \text{ MeV}$$

Le projet SuperNEMO

Développements R&D - Intégration

Intégration

- Installation du démonstrateur de SuperNEMO en lieu et place de NEMO3, après son démontage
- Installation du détecteur final dans l'extension du LSM



Merci de votre attention

