

# Conseil Scientifique IN2P3 Expérience SuperNEMO

F. Mauger

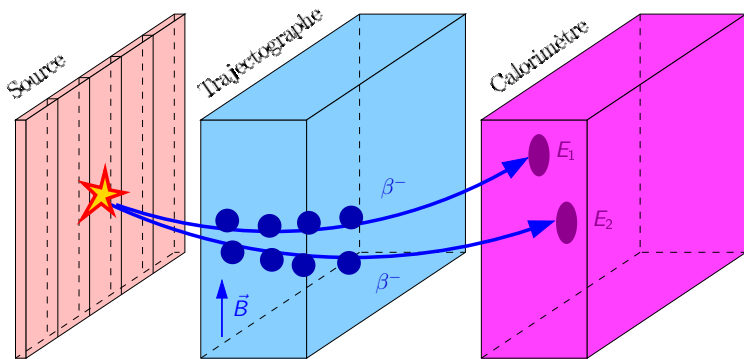
NEMO3/SuperNEMO Collaboration

25 octobre 2018

- 1 NEMO-3
- 2 Démonstrateur SuperNEMO
- 3 Perspectives

# Bilan de l'expérience NEMO-3

# Les expériences NEMO et la technique trajectographe-calorimètre

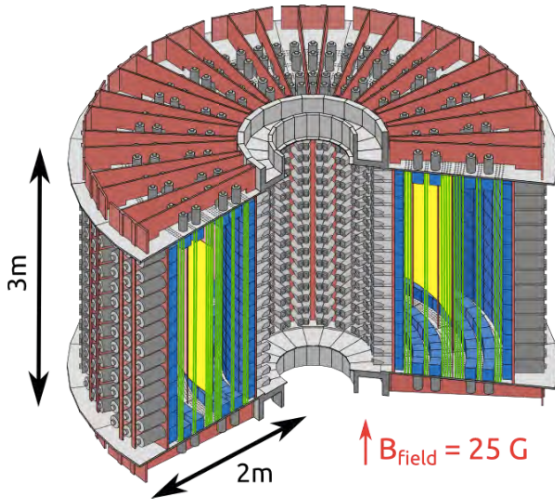


Blindage externe ( $\phi_n$ ,  $\phi_\gamma$ ) + laboratoire souterrain ( $\phi_\mu$ )

# Technique trajectographe-calorimètre

- Identification des particules ( $e^{\pm}$ ,  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\mu$ )
- Cinématique complète ( $E$ ,  $\theta$ , TOF)
- Principe d'investigation :
  - Reconstruction topologique des événements de désintégration
  - Analyse multi-canaux :
    - Canal ( $2e$ ) : preuve signal  $\beta\beta$ , réjection bruit de fond
    - Mesure et modélisation des bruits de fond :  $(e\gamma)$ ,  $(e\gamma\gamma)$ ,  $(e\gamma\alpha)$ ...
  - Statistiques élevées : discrimination entre mécanismes  
(ex :  $2\nu\beta\beta$ ,  $0\nu\beta\beta$ )

## NEMO-3 : l'expérience

**sources**

60 mg/cm<sup>2</sup> foils  
10 kg of  $\beta\beta$  isotopes

**tracker**

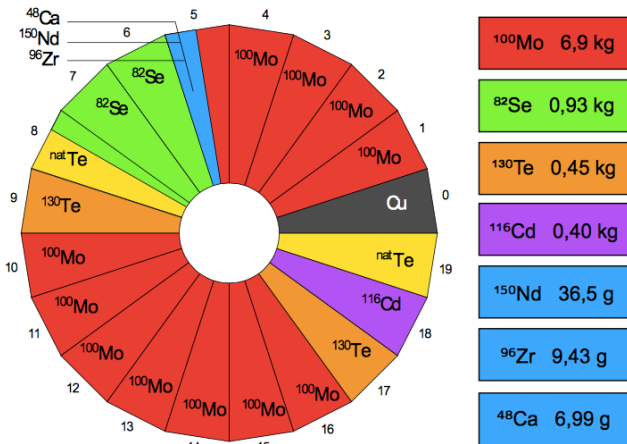
6180 Geiger cells  
vertex resolution :  
 $\sigma_{xy} \sim 3 \text{ mm}$   $\sigma_z \sim 10 \text{ mm}$

**calorimeter**

1940 optical modules :  
polystyren scintillators  
+ 3" and 5" PMTs  
 $\text{FWHM}_E \sim 15\% / \sqrt{E_{\text{MeV}}}$   
 $\sigma_t \sim 250 \text{ ps}$

# NEMO-3 : l'expérience

NEMO-3 "camembert" (source top view)



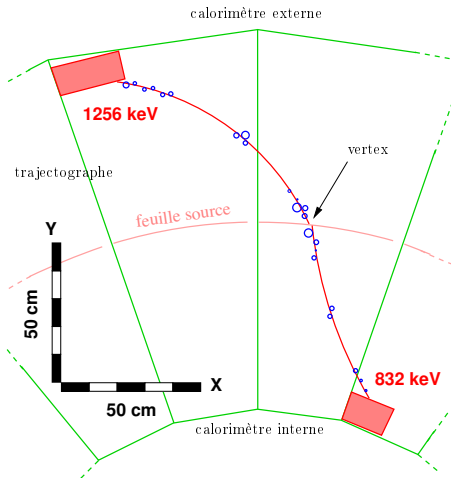
# NEMO-3 : l'expérience



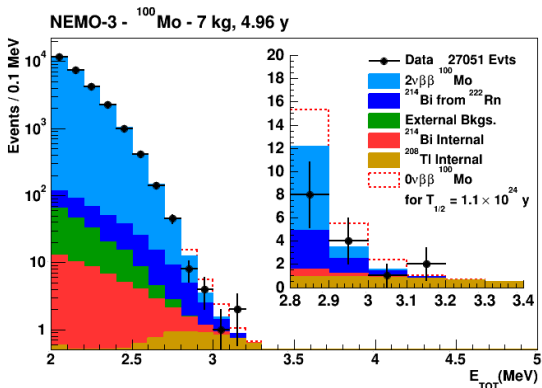


## NEMO-3 : analyse

Canal (2e) dans le détecteur NEMO-3 : événement candidat  $\beta\beta$



# NEMO-3 : résultats $^{100}\text{Mo}$ ( $0\nu\beta\beta$ )

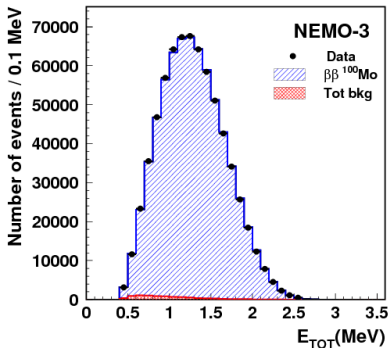
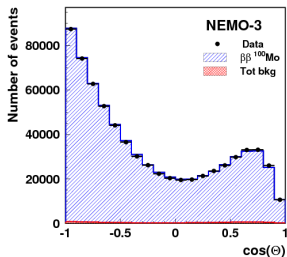
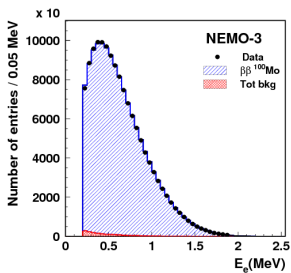


$T_{1/2}^{0\nu} > 1,1 \cdot 10^{24}$  y,  $\langle m_{\beta\beta} \rangle < 0,33-0,62$  eV (90% CL) (world top)

$$b = (1,1 \pm 0,3) \cdot 10^{-3} \text{ evts/keV/kg/y}$$

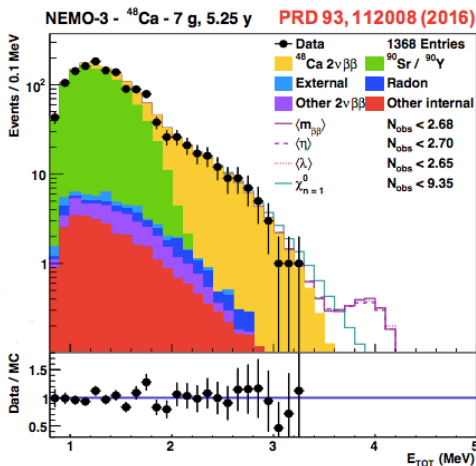
→ pas de BDF dans [3,2-10] MeV pour 47 kg.y

# NEMO-3 : résultats $^{100}\text{Mo}$ ( $2\nu\beta\beta$ )



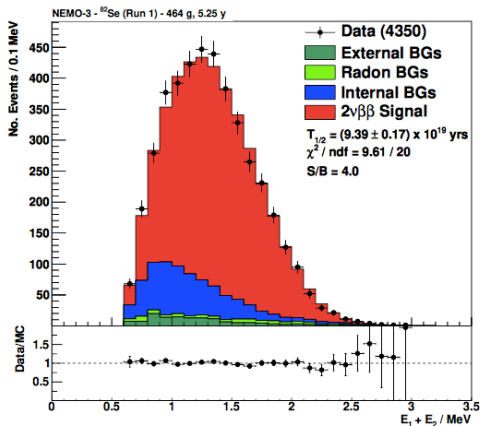
- $T_{1/2}^{2\nu} = 6,81 \pm 0,01$  (stat)  $\pm 0,48$  (syst)  $10^{18}$  y (world best)
- S/B excellent  $\rightsquigarrow$  modèle SSD

# NEMO-3 : résultats $^{48}\text{Ca}$ ( $2\nu\beta\beta$ )



$$T_{1/2}^{2\nu} = 6,4 \pm_{0,6}^{0,7} \text{ (stat)} \pm_{1,2}^{0,9} \text{ (syst)} 10^{19} \text{ y (world best)}$$

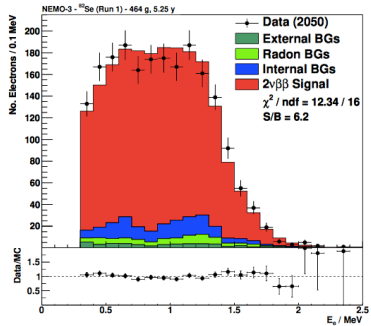
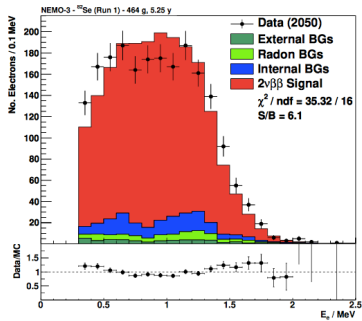
# NEMO-3 : résultats $^{82}\text{Se} (0\nu\beta\beta)/(2\nu\beta\beta)$



$$T_{1/2}^{0\nu} > 2,5 \cdot 10^{23} \text{ y (90\% CL)}$$

$$T_{1/2}^{2\nu, SSD} = 9,39 \pm 0,17 \text{ (stat)} \pm 0,58 \text{ (syst)} \cdot 10^{19} \text{ y (world best)}$$

# NEMO-3 : résultats $^{82}\text{Se}$ ( $2\nu\beta\beta$ ) (HSD vs SSD)



## $(2\nu\beta\beta)$ measurements and $(0\nu\beta\beta)$ limits for several isotopes

- $^{100}\text{Mo}$  (Phys. Rev. Lett. 95, 182302) (world best)
- $^{48}\text{Ca}$  (Phys. Rev. D 93, 112008) (world best)
- $^{82}\text{Se}$  (Eur. Phys. J. C (2018) 78 : 821) ( $2\nu$  world best)
- $^{150}\text{Nd}$  (Phys. Rev. D 94, 072003) (world best)
- $^{150}\text{Nd}$  quadruple  $\beta$  decay (Phys. Rev. Lett. 119, 041801) (unique)
- $^{116}\text{Cd}$  (Phys. Rev. D 95, 012007) (world best)
- $^{130}\text{Te}$  (Phys. Rev. Lett. 107, 062504)
- $^{96}\text{Zr}$  (Nucl.Phys.A847 :168-179) (world best)

# NEMO-3 : PDG 2018

## Half-life limits on the neutrino-less double-β decay

In most cases the transitions  $(Z,A) \rightarrow (Z+2,A) + 2e^-$  to the  $0^+$  ground state of the final nucleus are listed. We also list transitions that decrease the nuclear charge ( $2e^+$ ,  $e^+$  CC and double EC) and transitions to an excited state of the final nucleus ( $0_1^+$ ,  $2^+$ , and  $2_1^+$ ). In the following Listings only the best or comparable limits for the half-lives of each transition are reported and only those with about  $T_{1/2} > 10^{23}$  years that are relevant for particle physics.

$t_{1/2}(10^{23} \text{ yr})$	CL% ISOTOPE	TRANSITION METHOD	DOCUMENT ID
●●● We do not use the following data for averages, fits, limits, etc. ●●●			
> 190	90 <sup>76</sup> Ge	MAJORANA	1 ALSEETH 18
> 800	90 <sup>76</sup> Ge	GERDA	2 AGOSTINI 18
> 180	90 <sup>136</sup> Xe	EXO-200	3 ALBERT 18
> 150	90 <sup>130</sup> Te	CUORE	4 ALDUINO 18
> 530	90 <sup>76</sup> Ge	GERDA	5 AGOSTINI 17
> 1.1	90 <sup>134</sup> Xe	EXO-200	6 ALBERT 17C
> 1	90 <sup>116</sup> Cd	NEMO-3	7 ARNOLD 17 ●
> 40	90 <sup>130</sup> Te	CUORE(CINO)	8 ALDUINO 16
> 260	90 <sup>136</sup> Xe	g.s. → 2 <sub>1</sub> <sup>+</sup> KamLAND-Zen	9 ASAKURA 16
> 260	90 <sup>136</sup> Xe	g.s. → 2 <sub>2</sub> <sup>+</sup> KamLAND-Zen	10 ASAKURA 16
> 240	90 <sup>136</sup> Xe	g.s. → 0 <sub>1</sub> <sup>+</sup> KamLAND-Zen	11 ASAKURA 16
> 1070	90 <sup>136</sup> Xe	KamLAND-Zen	12 GANDO 16
> 11	90 <sup>100</sup> Mo	NEMO-3	13 ARNOLD 15 ●
> 110	90 <sup>136</sup> Xe	EXO-200	14 ALBERT 14B
> 9.4	90 <sup>130</sup> Te	0 <sup>+</sup> → 0 <sub>1</sub> <sup>+</sup> CUORICINO	15 ANDREOTTI 12
> 3.6	90 <sup>82</sup> Se	NEMO-3	16 BARABASH 11A ●
> 30	90 <sup>130</sup> Te	CUORICINO	17 ARNABOLDI 08
> 0.58	90 <sup>48</sup> Ca	CaF <sub>2</sub> scint.	18 UMEHARA 08
> 0.89	90 <sup>100</sup> Mo	0 <sup>+</sup> → 0 <sub>1</sub> <sup>+</sup> NEMO-3	19 ARNOLD 07 ●
> 1.6	90 <sup>100</sup> Mo	0 <sup>+</sup> → 2 <sub>1</sub> <sup>+</sup> NEMO-3	20 ARNOLD 07 ●
> 1	90 <sup>82</sup> Se	NEMO-3	21 ARNOLD 05A ●
> 1.1	90 <sup>128</sup> Te	Cryog. det.	22 ARNABOLDI 03 ●
> 1.7	90 <sup>116</sup> Cd	<sup>116</sup> CdWO <sub>4</sub> scint.	23 DANEVICH 03
> 157	90 <sup>76</sup> Ge	Enriched HPGe	24 ALSEETH 02B
> 190	90 <sup>76</sup> Ge	Enriched HPGe	25 KLAPDOR-K...01

## Half-life measurements of the two-neutrino double-β decay

The measured half-life values for the transitions  $(Z,A) \rightarrow (Z-2,A) + 2e^- + 2\nu_e$  to the  $0^+$  ground state of the final nucleus are listed. We also list the transitions to an excited state of the final nucleus ( $0_1^+$ , etc.). We report only the measurements with the smallest (or comparable) uncertainty for each transition.

$t_{1/2}(10^{21} \text{ yr})$	ISOTOPE	TRANSITION METHOD	DOCUMENT ID
●●● We do not use the following data for averages, fits, limits, etc. ●●●			
> 0.87	<sup>136</sup> Xe	EXO-200	1 ALBERT 17C
0.82 ± 0.02 ± 0.06	<sup>130</sup> Te	CUORE-0	2 ALDUINO 17
0.00690 ± 0.00015 ± 0.00037	<sup>100</sup> Mo	CUPID	3 ARMEGAUD 17
0.0274 ± 0.0004 ± 0.0018	<sup>116</sup> Cd	NEMO-3	4 ARNOLD 17 ●
0.064 ± 0.007 ± 0.012	<sup>48</sup> Ca	NEMO-3	5 ARNOLD 16 ●
0.00934 ± 0.00022 ± 0.00062	<sup>150</sup> Nd	NEMO-3	6 ARNOLD 16A ●
1.926 ± 0.094	<sup>76</sup> Ge	GERDA	7 AGOSTINI 17C
0.00693 ± 0.00004	<sup>100</sup> Mo	NEMO-3	8 ARNOLD 15A ●
2.165 ± 0.016 ± 0.059	<sup>136</sup> Xe	EXO-200	9 ALBERT 14
9.2 ± 0.5 ± 1.3	<sup>78</sup> Kr	BAKSAN	10 GAVREYAK 13
2.38 ± 0.02 ± 0.14	<sup>136</sup> Xe	KamLAND-Zen	11 GANDO 12a
0.7 ± 0.09 ± 0.11	<sup>130</sup> Te	NEMO-3	12 ARNOLD 11 ●
0.0235 ± 0.0014 ± 0.0016	<sup>96</sup> Zr	NEMO-3	13 ARGYRADES 10 ●
0.69 ± 0.10 ± 0.07	<sup>100</sup> Mo	0 <sup>+</sup> → 0 <sub>1</sub> <sup>+</sup> Ge coin.	14 BELLI 10
0.57 ± 0.13 ± 0.09	<sup>100</sup> Mo	0 <sup>+</sup> → 0 <sub>1</sub> <sup>+</sup> NEMO-3	15 ARNOLD 07 ●
0.096 ± 0.003 ± 0.010	<sup>82</sup> Se	NEMO-3	16 ARNOLD 05A ●
0.029 ± 0.004 ± 0.003	<sup>116</sup> Cd	<sup>116</sup> CdWO <sub>4</sub> scint	17 DANEVICH 03

## Limits on Lepton-Number Violating (V+A) Current Admixture

For reasons given in the discussion at the beginning of this section, we list only results from 1989 and later.  $(\lambda) = \lambda \sum U_{ij} V_{ij}$  and  $(\eta) = \eta \sum U_{ij} V_{ij}$ , where the sum is over the number of neutrino generations. This sum vanishes for massless or unmixed neutrinos. In the following Listings, only best or comparable limits or lifetimes for each isotope are reported.

$(\lambda) (10^{-4})$	CL%	$(\eta) (10^{-4})$	CL%	ISOTOPE	METHOD	DOCUMENT ID
●●● We do not use the following data for averages, fits, limits, etc. ●●●						
< 0.9-1.3	90	< 0.5-0.8	90	<sup>100</sup> Mo	NEMO-3	1 ARNOLD 14
< 120	90		90	<sup>100</sup> Mo	0 <sup>+</sup> → 2 <sup>+</sup>	2 ARNOLD 07
0.692 ± 0.059 ± 0.056	68	0.305 ± 0.026 ± 0.025	68	<sup>76</sup> Ge	Enriched HPGe	3 KLAPDOR-K...06A
< 2.5	90		90	<sup>100</sup> Mo	0 <sub>1</sub> NEMO-3	4 ARNOLD 05A
< 3.8	90		90	<sup>82</sup> Se	NEMO-3	5 ARNOLD 05A
< 1.5-2.0	90		90	<sup>100</sup> Mo	0 <sub>1</sub> NEMO-3	6 ARNOLD 04
< 3.2-3.8	90		90	<sup>82</sup> Se	0 <sub>1</sub> NEMO-3	7 ARNOLD 04
< 1.6-2.4	90	< 0.9-5.3	90	<sup>130</sup> Te	Cryog. det.	8 ARNABOLDI 03
< 2.2	90	< 2.5	90	<sup>116</sup> Cd	<sup>116</sup> CdWO <sub>4</sub> scint.	9 DANEVICH 03
< 3.2-4.7	90	< 2.4-2.7	90	<sup>100</sup> Mo	ELEGANT V	10 EJRI 01
< 1.1	90	< 0.04	90	<sup>76</sup> Ge	Enriched HPGe	11 GUENTHER 97
< 4.4	90	< 2.3	90	<sup>136</sup> Xe	TPC	12 VUILLEMIER 93
		< 5.3		<sup>128</sup> Te	Geochem	13 BERNATOW...92

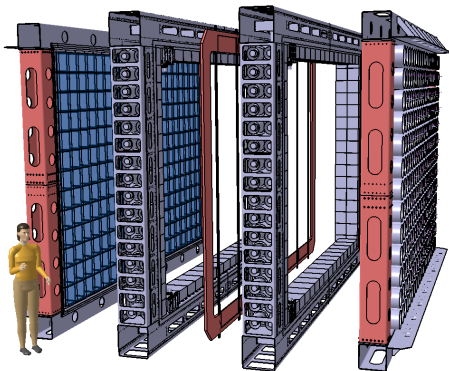


# Le démonstrateur SuperNEMO

## SuperNEMO : historique

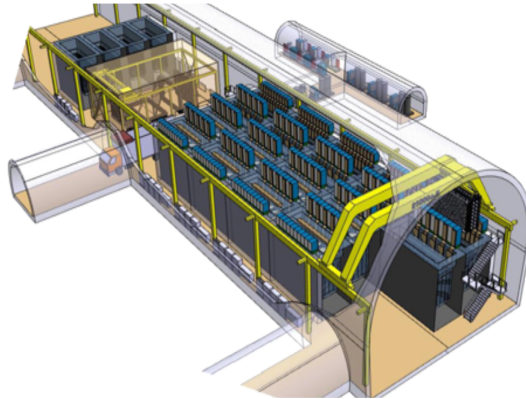
- 2003 : contexte démarrage de NEMO-3, Klapdor claim
  - Nouvelles expériences  $\leadsto$  100 kg $\times$ an
  - Projets de la nouvelle génération : Gerda ( $^{76}\text{Ge}$ ), Cuore ( $^{130}\text{Te}$ ), EXO ( $^{136}\text{Xe}$ )...
  - Technique « tracko-calorimétrie » unique pour confirmer un signal.
- 2005 : début d'une R&D pour étudier un détecteur futur de type NEMO-3 pour mesurer  $\gtrsim$  100 kg.an
  - 2005 : ANR BiPo
  - $\leadsto$  Proposition du démonstrateur SuperNEMO (CS IN2P3, mai 2011)

# SuperNEMO : module démonstrateur



Site d'accueil : LSM

# SuperNEMO : vers détecteur complet ?



Site d'accueil : contexte du projet d'extension du LSM

# SuperNEMO : programme de R&D

	NEMO-3	SuperNEMO	
		Démonstrateur	Complet
Isotope	$^{100}\text{Mo}$	$^{82}\text{Se}$	
Masse (kg)	7	7	100
$T_{1/2}^{2\nu}$	$6,8 \cdot 10^{18}$ y	$9,4 \cdot 10^{19}$ y	
Energy résolution (FWHM @ 1 MeV)	15 %	8%	
Source radiopurity			
A ( $^{208}\text{Tl}$ )	$\sim 100 \mu\text{Bq/kg}$	$< 2 \mu\text{Bq/kg}$	
A ( $^{214}\text{Bi}$ )	$< 300 \mu\text{Bq/kg}$	$< 10 \mu\text{Bq/kg}$	
A ( $^{222}\text{Rn}$ )	$\sim 5 \text{ mBq/m}^3$	$< 0,15 \text{ mBq/m}^3$	
Exposure	5 y	2,5 y	5 y
Sensitivity $T_{1/2}^{0\nu}$	$> 10^{24}$ y	$> 5 \cdot 10^{24}$ y	$> 5 \cdot 10^{25}$ y
$m_{\beta\beta}$	$< 330\text{-}620$ meV	$< 260\text{-}500$ meV	$< 82\text{-}160$ meV

# SuperNEMO : programme de R&D

- Approche modulaire : 20 modules avec 5 kg de source  $\beta\beta$  chacun
- Calorimètre (France) :
  - résolution  $\Delta E/E$  : de 15%  $\rightarrow$  8% (FWHM @ 1 MeV),  
linéarité  $< 1\%$
  - résolution  $\Delta t < 400$  ps
  - radiopureté (verre PM, embase...)
- Trajectographe (Royaume-Uni) :
  - automatisation du tissage (robot), limitation du nombre de  
voies (coût de l'électronique)
  - radiopureté, radon
- Source (France...) :
  - études pour les candidats  $^{82}\text{Se}$ ,  $^{150}\text{Nd}$ ,  $^{48}\text{Ca}$ ... : techniques  
d'enrichissement, de purification, de fabrication
  - radiopureté : R&D détecteur BiPo (ANR), cascades  $^{212}\text{Bi-Po}$ ,  
 $^{214}\text{Bi-Po}$ , sensibilité  $\mathcal{O}(1-10 \mu\text{Bq/kg})$ , LSM + LSC

# SuperNEMO : bilan R&D (1)

## Calorimètre

- Progrès sur la collection de lumière (collaboration IN2P3/Photonis puis Hamamatsu)
- Composition du scintillateur (IN2P3/Envinet→NUVIA, R&D « Photodetection » IN2P3)
- Résolution atteinte : 8% (FWHM @ 1 MeV)
- Linéarité, résolution en temps
- Développement d'un nouveau verre radiopur (pas utilisé dans SuperNEMO-demo)
- Numérisation des signaux PM @ 2,56 GHz

## SuperNEMO : bilan R&D (2)

### Trajectographe

- Robot de tissage opérationnel
- Processus en partie automatisé (risque de contamination limité)
- Performance (sur prototype) : régime stable et bonne précision spatiale
- Radon :
  - mesures d'émanation, de diffusion
  - chambres de mesure émanation 70L/700 L (CENBG), piège à radon (CPPM)
  - stratégie : radiopureté, suppression par piègeage, circulation hélium, canal d'analyse BiPo ( $\alpha$ )
  - taux mesuré :  $2,7 \pm 0,3$  mBq/m<sup>3</sup> + ventilation d'hélium  $\leadsto$  150  $\mu$ Bq/m<sup>3</sup>



## SuperNEMO : bilan R&D (3)

### Source

- développement nouvelle méthode de purification (Dubna), extrapolable à  $n \times 100$  kg
- développement nouvelle méthode de production des feuilles source (LAPP)
- reconditionnement de  $^{82}\text{Se}$  (NEMO-3...)
- production feuilles (LAPP, ITEP)
- radiopureté :
  - détecteur BiPo-3 (Canfranc) : mesure  $\mathcal{O}(\mu\text{Bq/kg})$  de films minces en Tl/Bi
  - acquisition du HPGe Obelix (LSM)
- prospective enrichissement pour  $^{48}\text{Ca}$ ,  $^{96}\text{Zr}$ ,  $^{150}\text{Nd}$

# SuperNEMO : compétences et expertise à l'IN2P3 (1)

## Basse radioactivité

- Radon : expertise unique
  - Dispositifs de mesure et émanation (CENBG/PRISNA)
  - Piégeage (CPPM, LSM)
  - Mécanique/intégration (LAL)
- Parc HPGe : LSM, plateforme PRISNA (CENBG/IN2P3), database « radiopureté »
- Détecteur BiPo (LAL)

## SuperNEMO : compétences et expertise à l'IN2P3 (2)

### Isotopes DBD

- Prospective enrichissement (LAL/CENBG)
- Purification (LSM)
- Fabrication (LAPP)

## SuperNEMO : compétences et expertise à l'IN2P3 (3)

### Photodétection/modélisation

- Banc de mesure : faisceau  $e^-$  (400keV-2MeV, CENBG)
- Simulation photons optiques (CENBG)
- Simulation Bayeux/Geant4 (LPC) : expériences basse radioactivité, modélisation de bruits de fond, application en radioprotection (industrie)

## SuperNEMO : compétences et expertise à l'IN2P3 (4)

### SuperNEMO : microélectronique/électronique numérique

- Conception ASIC (MATAcq, FEAST, SAMLONG...)
- Réseau microélectronique

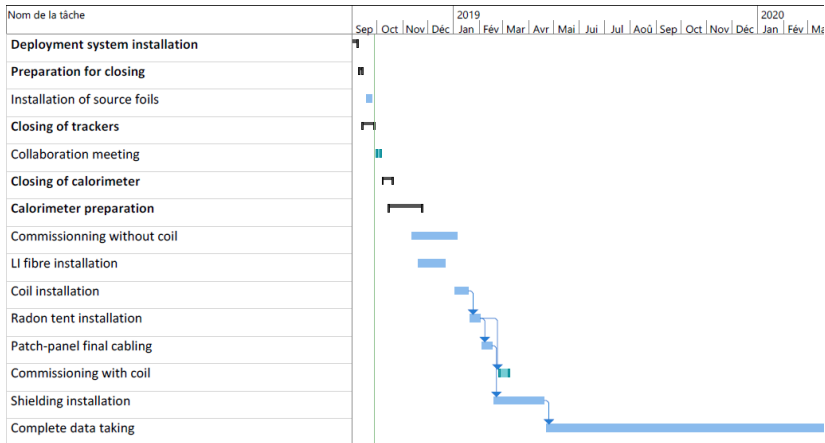
## SuperNEMO : retombées et partenariats industriels

- 1<sup>er</sup> « labcom » P2R (CENBG)
- Partenariats industriel pour la caractérisation et le développement de détecteurs : CARMELEC, EDF, NUZIA (CENBG)
- Partenariats industriel pour le développement d'une cible de conversion  $e^-/X$  et d'équipement sur l'accélérateur électron FELIX : CERAP/ATRON (LPC Caen)
- Détection du Radon, concentration et piégeage du radon : études en cours,
- Nouvelles méthodes d'enrichissement d'isotopes à haute température,
- Nouvelle méthode de purification chimique par chromatographie,
- Méthodes d'authentification de produits par spectrométrie gamma bas bruit de fond.

# SuperNEMO : status

- En fin d'assemblage/intégration
- Rappel des étapes précédentes :
  - mars 2015 : montage structure porteuse
  - novembre 2016 : montage calorimètre (2 murs)
  - décembre 2016 : montage tracker (2 modules)
  - septembre 2018 : montage feuilles source
- Fermeture du détecteur en cours
- Entrée phase de câblage et commissioning

# SuperNEMO : calendrier d'intégration

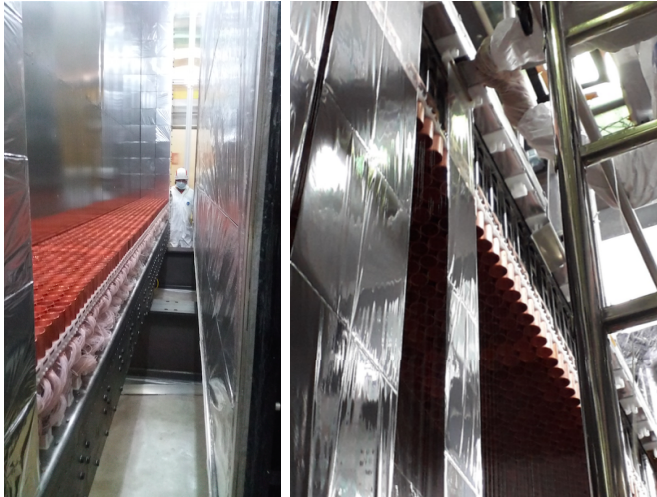




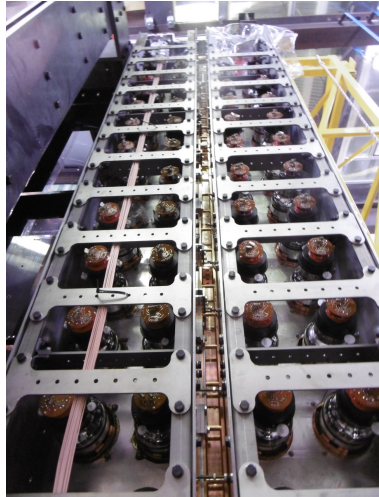
# SuperNEMO : photos



# SuperNEMO : photos



# SuperNEMO : photos



# SuperNEMO : futur proche (1)

Actions fin 2018-printemps 2019 :

- Câblage (en cours...)
- Assemblage puis installation de la bobine (début 2019)
- Montage de la tente anti-radon
- Montage du blindage (printemps 2019)

## SuperNEMO : futur proche (2)

Phasage du commissioning :

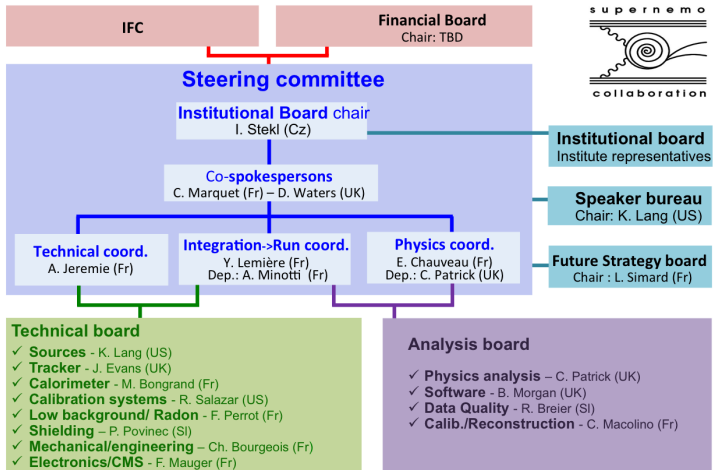
- phase 1 : sans bobine, sans tente anti-radon et sans blindage ( $\simeq$  quelques semaines)
- phase 2 : avec bobine et tente anti-radon, sans blindage ( $\simeq$  2 mois)
- phase 3 : bobine, tente anti-radon et blindage fonctionnels

## SuperNEMO : produit scientifique attendu

- Mesure/étude du radon résiduel dans la chambre à fils,
- Mesure des bruits de fond dans la source et l'instrument :  
 $^{208}\text{Tl}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,
- Atteindre 17,5 kg.an :
  - Mesure ( $2\nu\beta\beta$ ),
  - Sensibilité ( $0\nu\beta\beta$ ),
  - Recherche de processus exotiques,
- Réutilisation déjà effective de l'expérience acquise sur d'autres projets de la communauté : Juno, Solid, Liquido, R2D2...

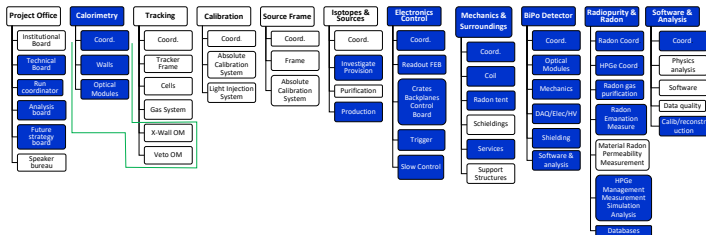
# SuperNEMO : implication IN2P3 (RH)

## Responsabilités des personnels IN2P3 :



# SuperNEMO : implication IN2P3 (RH)

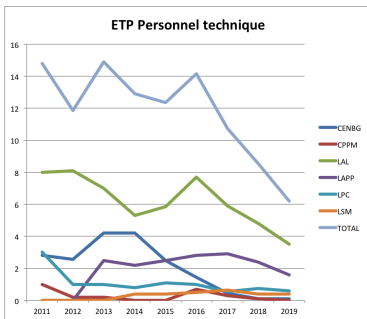
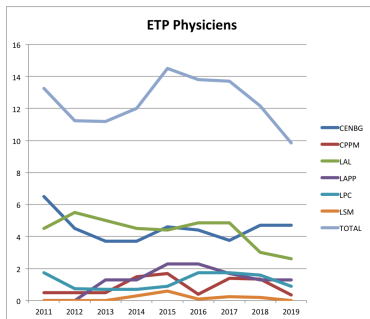
Implication technique des personnels IN2P3 très importante :



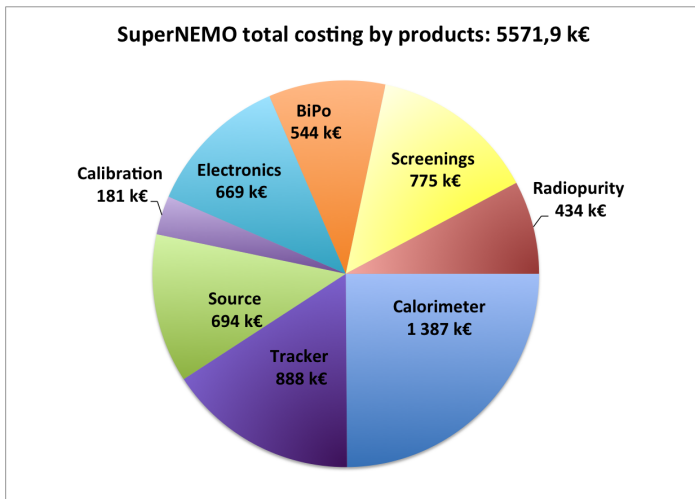


# SuperNEMO : implication IN2P3 (RH)

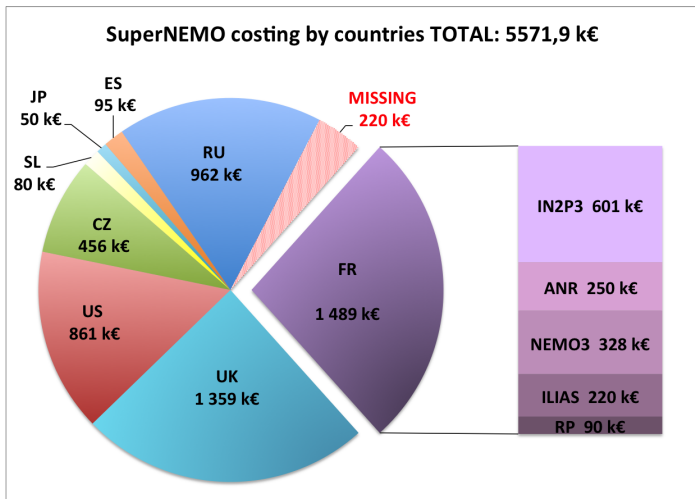
## Evolution FTE IN2P3 :



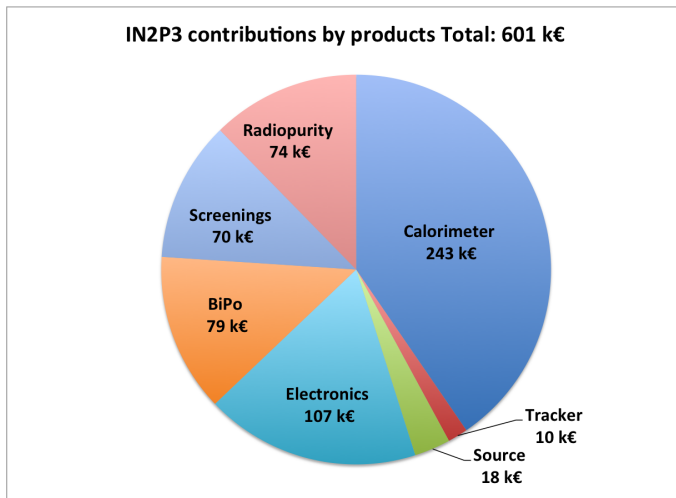
# SuperNEMO : implication IN2P3 (financement)



# SuperNEMO : implication IN2P3 (financement)



# SuperNEMO : implication IN2P3 (financement)



# SuperNEMO : difficultés rencontrées (1)

Constat : beaucoup de retard pris par le projet

## Difficultés techniques

- Re-designs successifs de l'expérience en raison de contraintes de radiopureté,
- Fabrication des sources de  $^{82}\text{Se}$  très difficile, validation de la radiopureté très longue (BiPo).
- Complexité du dispositif expérimental, interfaces nombreuses apportant de nouvelles contraintes (étanchéité), manque d'espace au LSM,
- Technologie grosse consommatrice de main d'œuvre : manque d'ingénieurs (conception, études) et de techniciens (montage, câblage).

## SuperNEMO : difficultés rencontrées (2)

### Difficultés de financement

- Difficulté de financement du calorimètre en France : délai de fabrication d'au moins deux ans (financement en partie assuré par d'autres partenaires : USA, Russie...).
- Redesign de certaines parties de l'expérience pour cause de financement insuffisant pour le design original.
- Conséquence des retards accumulés, difficultés de maintenir des équipes techniques dans les laboratoires
- Recours à des fonds propres dans les laboratoires.

# Perspectives

# Ce que l'on apprendra du démonstrateur... et ce que l'on sait déjà (1)

## Calorimètre

- Pros : 8% atteint, linéarité  $< 1\%$ ,  
résolution en temps  $< 300$  ps @ 1MeV, radiopureté,
- Cons : interfaces, étanchéité, coût
- À venir : stabilité gain PM à 1% : réponse en 2019



# Ce que l'on apprendra du démonstrateur... et ce que l'on sait déjà (2)

## Trajectographe

- Pros : process de fabrication (UK), stabilité fonctionnement, outils de contrôle et mesure du radon
- Cons : étanchéité, fragilité, coût
- À venir : mesure du radon, réponse en 2019 après assemblage

# Ce que l'on apprendra du démonstrateur... et ce que l'on sait déjà (3)

## Source

- Pros : process de fabrication (LAPP), process de purification (Dubna),
- Cons : radiopureté  $\lesssim \mu\text{Bq/kg}$  très difficile à atteindre
- À venir : radiopureté  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{208}\text{Tl}$ , recherche de points chauds, réponse en 2019

# Ce que l'on apprendra du démonstrateur... et ce que l'on sait déjà (4)

## Electronique

- Pros : amélioration par rapport à NEMO-3, électronique analogique/numérique intégrée (ASIC), forme du signal PM, redondance mesure
- Cons : coût proportionnel au nombre de voies

# Ce que l'on apprendra du démonstrateur... et ce que l'on sait déjà (5)

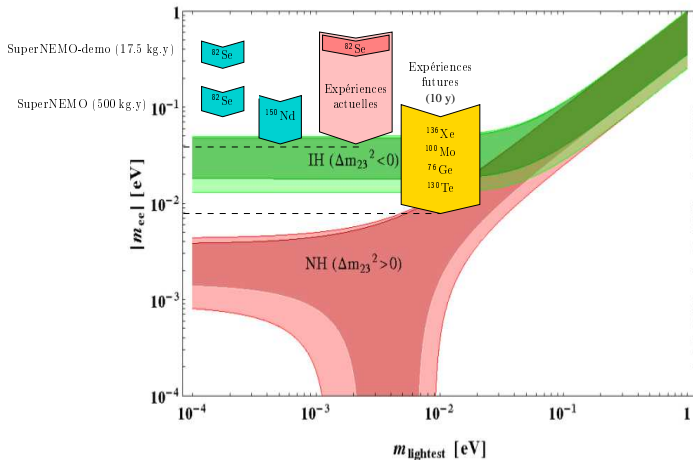
## Mécanique

- Pros : conception modulaire, versatilité (isotope),
- Cons : montage complexe, interfaces délicates, étanchéité, gros consommateur de manpower, nécessite de l'espace (LSM!), coût

## Quelle physique avec le démonstrateur ?

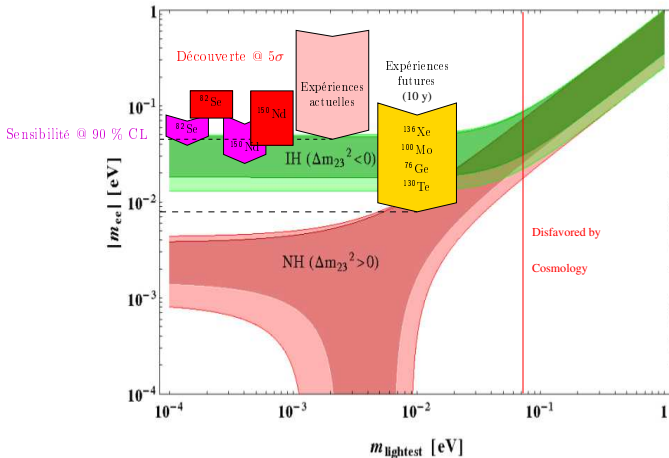
- Recherche  $0\nu\beta\beta$  pour le  $^{82}\text{Se}$  :
  - Sensibilité  $T_{1/2}^{0\nu} \gtrsim 5 \cdot 10^{24}$  y
  - $\langle m_{\beta\beta} \rangle \lesssim 260\text{-}500$  meV
- $0\nu\beta\beta$  vers les états excités du  $^{82}\text{Kr}$  (canaux  $(2e1\gamma)$ ,  $(2e2\gamma)$ )
- Majoron :  $0\nu\beta\beta\chi^0$
- Mesure SSD/HSD ( $2\nu\beta\beta$ )
- Mesure  $g_A$  (quenching) : distribution énergie individuelle des  $e^-$  ( $2\nu\beta\beta$ )
- Mécanismes alternatifs/exotiques (analyse cinématique des électrons)

# Quelles opportunités avec la techno du démonstrateur ?



# Quelles opportunités avec la techno du démonstrateur ?

SuperNEMO poussé à l'extrême : 3,5 t.y  
 50 modules de 7 kg pendant 10 ans



# Conclusion

- Recherche de processus DBD :  $T_{1/2} \gtrsim \mathcal{O}(10^{25})$  y
- Actuellement seul projet  $^{82}\text{Se}$  à 500 kg.y
- 100 kg tracko-calorimètre intéressant si claim dans les prochaines années...  
mais pas dans 5 ou 10 ans,
- $0\nu\beta\beta$  et mécanisme d'échange de  $\nu$  léger :
  - SuperNEMO pourrait confirmer un signal 3 ou 5 sigma si début de la IH (conditions extrêmes : masse  $^{150}\text{Nd}$  très élevée),
  - Impossible de sonder toute la IH avec cette technologie



# Forces et faiblesses

- Forces :
  - Qualité et richesse de l'information :
    - analyse complète de la physique :  
pouvoir de discrimination élevé
    - identification formelle de l'état final ( $2e$ ),  
envisageable pour  $m_{\beta\beta} > 40$  meV ( $5 \sigma$ )
    - BDF index :  $b < 10^{-4}$  events/keV/kg/an
  - Technologie : multi-isotope ( $Q_{\beta\beta} > 2,5$  MeV)
- Faiblesses :
  - Exposition faible (masse, efficacité)
  - Complexité du design (interfaces, manpower)
  - Coût :  $\simeq 10 \times$  coût de la source  $\beta\beta$