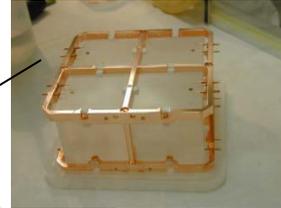




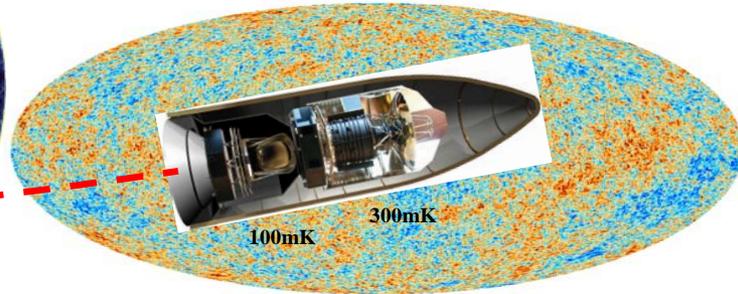
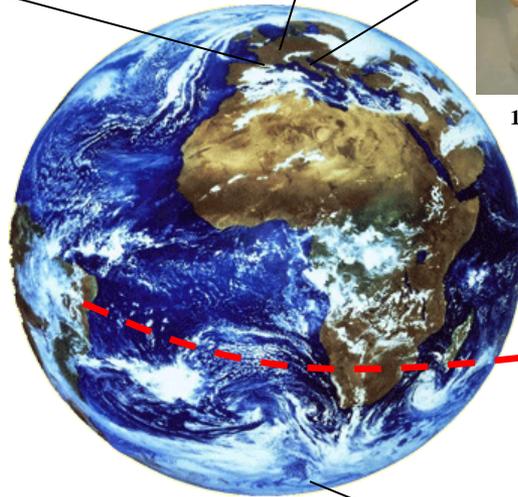
20mK



18mK



10mK



100mK 300mK

Détecteurs bolométriques refroidis

2. Applications



300mK



??



Applications des bolomètres en physique fondamentale (suite)

❑ Neutrino

❑ masse m_ν ?

- ❑ désintégration bêta β^- : ^{187}Re
- ❑ capture électronique (EC): ^{163}Ho

❑ nature ?

- ❑ Double désintégration bêta sans neutrino $\beta\beta_{0\nu}$: ^{130}Te (**CUORE**,...)
+ discrimination « Lumière & Chaleur »:
→ **bolomètres scintillants** (**LUMINEU**, R&D,...)

❑ Autres événements rarissimes (hors $\beta\beta_{0\nu}$)

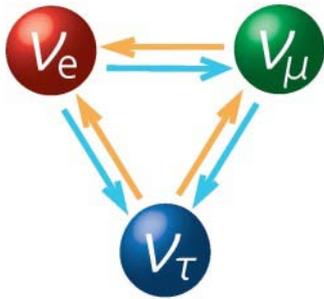
❑ Désintégrations alpha

❑ Détection de la **Matière Noire**

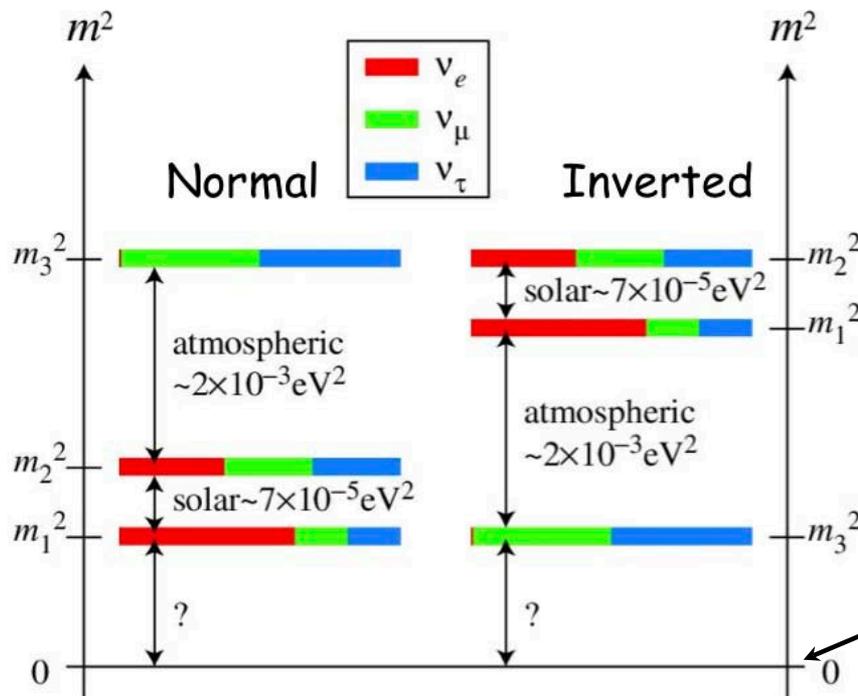
- ❑ par bolomètre scintillant: CaWO_4 ,... (**CRESST**,...)
- ❑ par bolomètre à semiconducteur: Ge (**EDELWEISS**,...)

Des neutrinos massifs

□ 1998, 2001: les neutrinos (atmosphériques, solaires,...) oscillent !



$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu1} & U_{\mu2} & U_{\mu3} \\ U_{\tau1} & U_{\tau2} & U_{\tau3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$



Oscillation

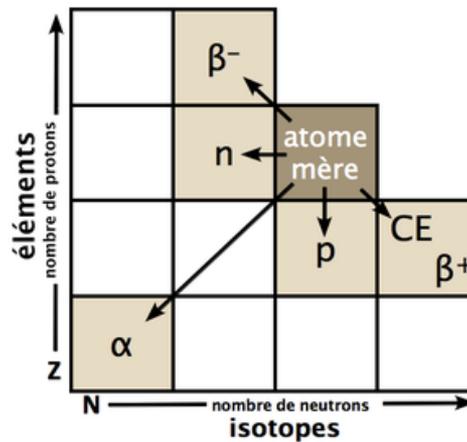
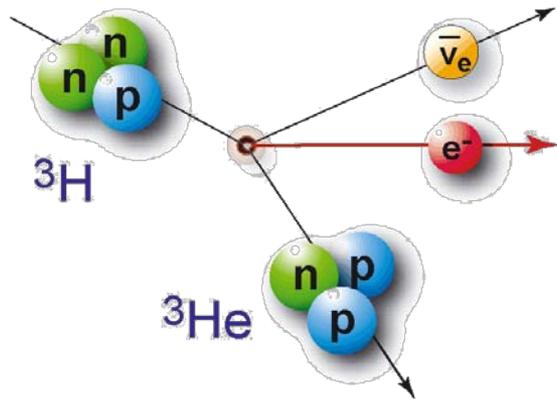
$$\Delta m_{i,j}^2 = m_j^2 - m_i^2 \neq 0$$

Les ν_s sont massifs (au moins 2/3)

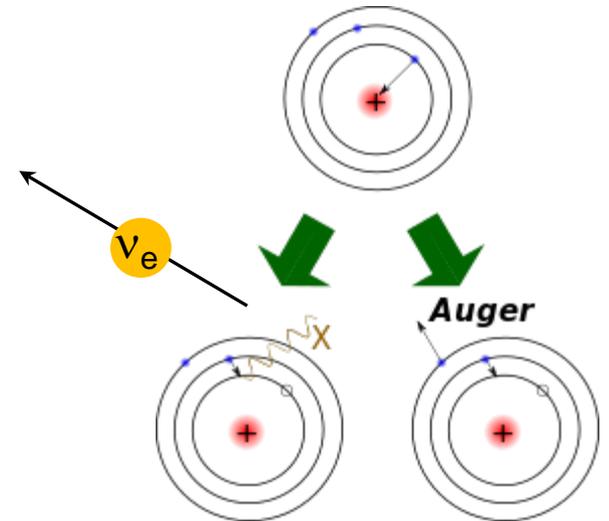
- Hiérarchie de masse: Normale ou Inverse?
- Echelle absolue de masse ?
- ...

☐ Masse du neutrino

Par désintégration β^-



Par Capture Electronique

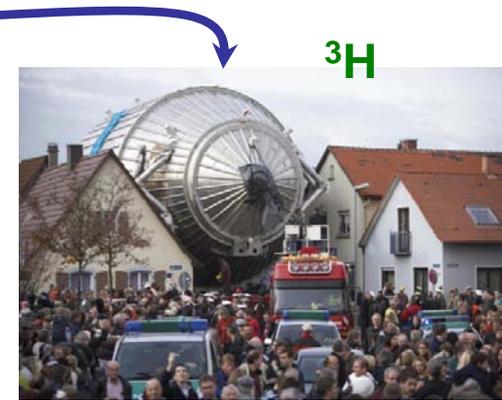


Mesures cinématiques (end-point) de $m(\nu_e)$

Nucléide	Réaction	Type	Durée de vie	Q (énergie de la réaction)
^3H	$^3\text{He} + \bar{\nu}_e + e$	β^-	12.3 ans	18.6 keV
^{187}Re	$^{187}\text{Os} + \bar{\nu}_e + e$	β^-	$43 \cdot 10^9$ ans	2.5 keV
^{163}Ho	$^{163}\text{Dy} + \nu_e + e + e$	EC	4300 ans	2.2-2.8 keV

KATRIN

$m_{\nu_e} \leq 0.2$ eV visé
 $m_{\nu_e} \leq 2.2$ eV actuellement



^3H

^{187}Re

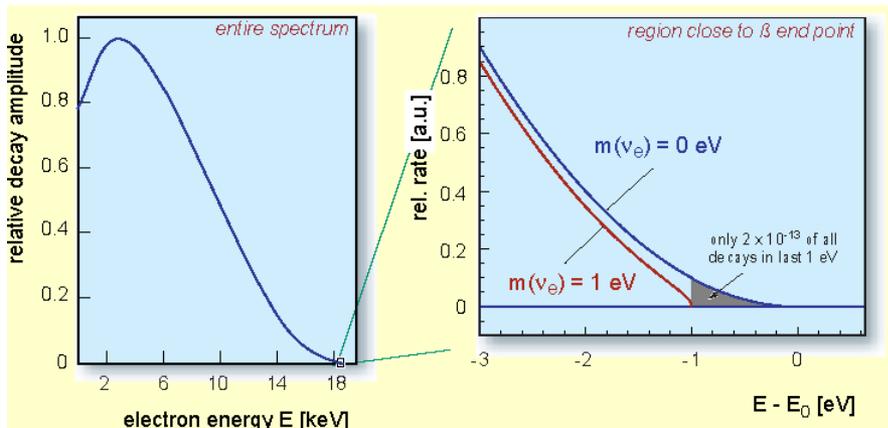
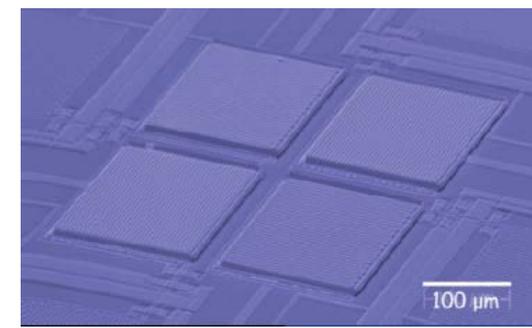
MARE (abandonné)



Si implanté

ECHO (All.),
HOLMES (It.)
NUMECS (US)

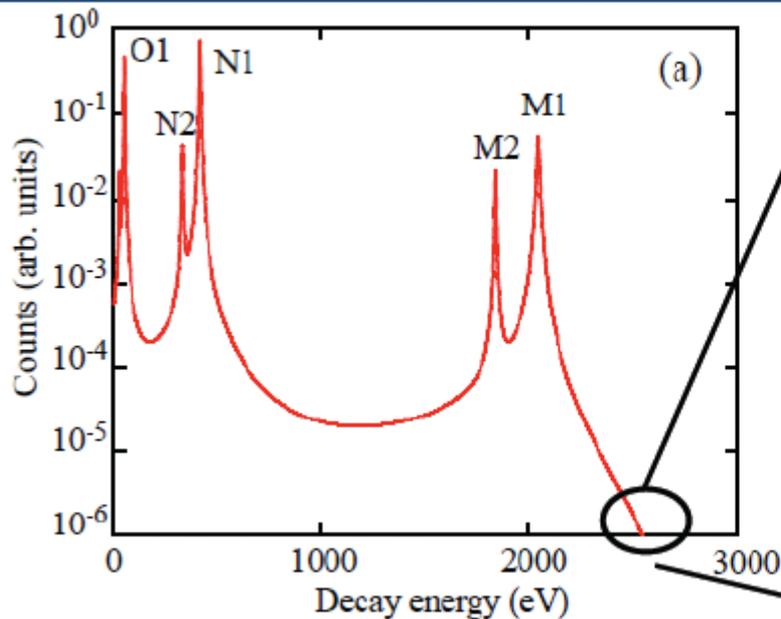
^{163}Ho



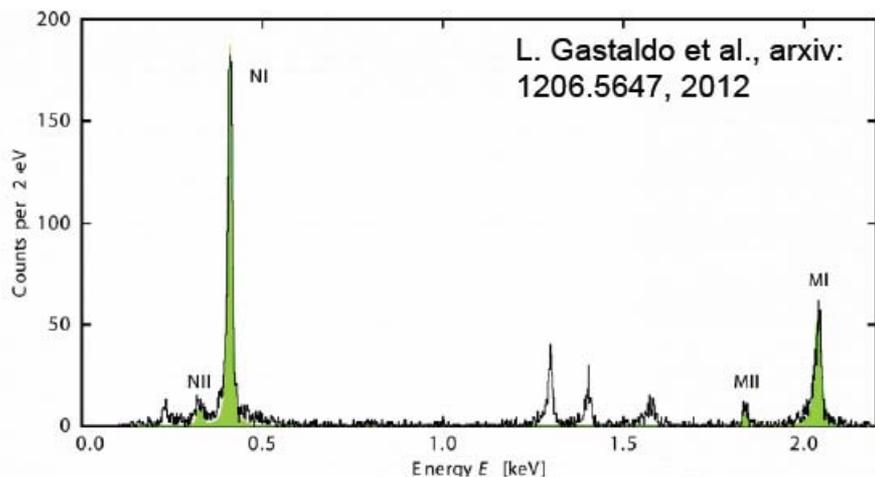
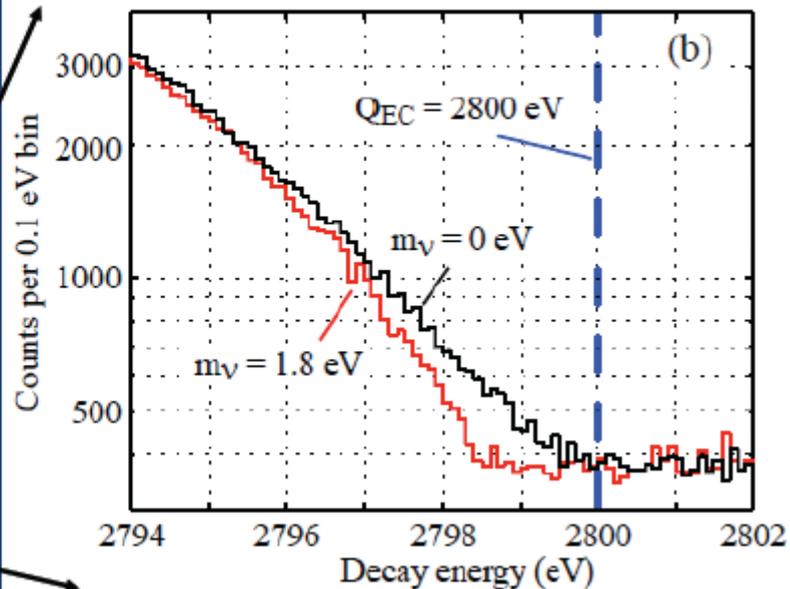
→ voir cours Ulli Koester

Mesure de $m(\nu_e)$ par ^{163}Ho

Calculated ^{163}Ho decay spectrum

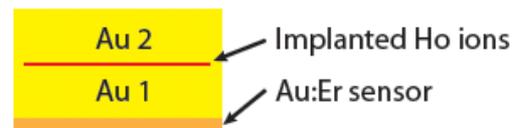


Zoom on endpoint

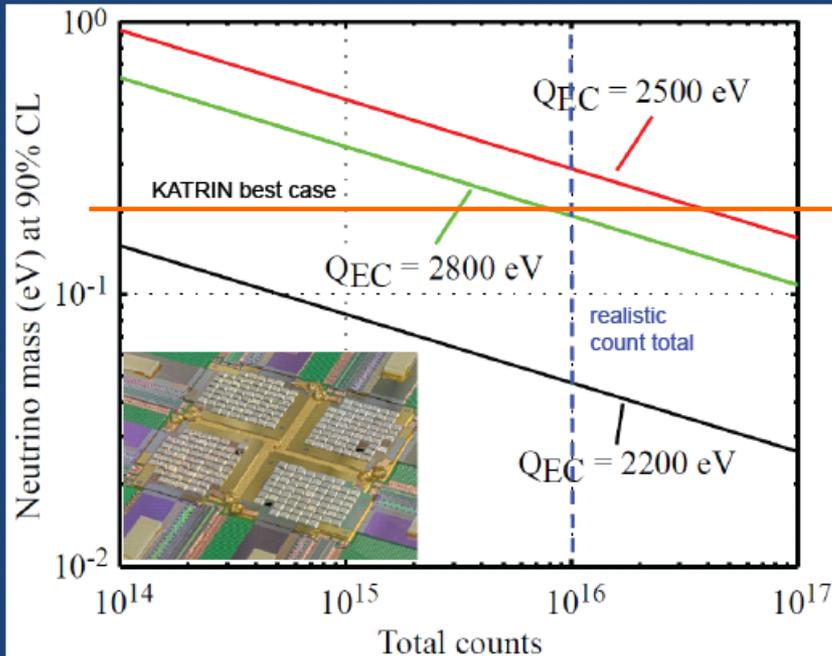


Collaboration ECHO (Heidelberg), 2012

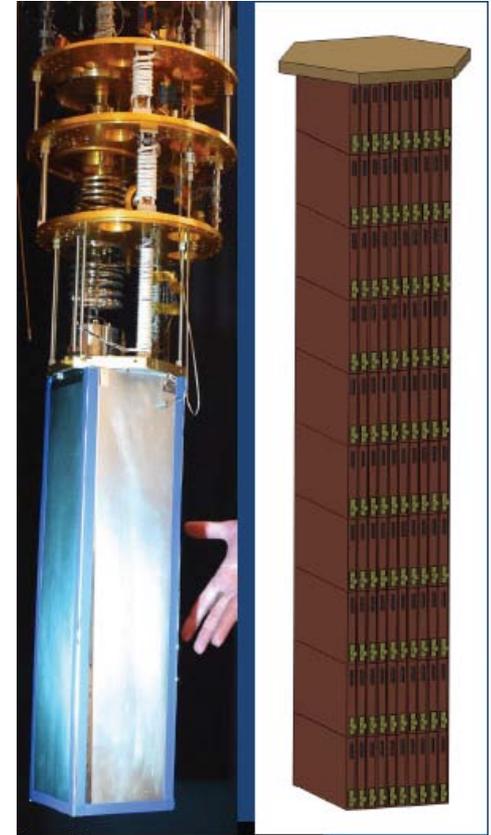
- Au implanté ^{163}Ho
- Senseur magnétique @ 35mK
- $\Delta E_{\text{FWHM}} \sim 12 \text{ eV}$ @ 2 keV



David contre Goliath ?



realistic
 3×10^5 pixels at
200 cps/pixel
for 5 years =
 10^{16} counts



d'après M. Rabin, 2013

- A huge scale-up in array size is needed: from 256 pixels (shown) to $\sim 10^5$
- Science reach dependent on Q and statistics
- Mass limit can be better than best KATRIN predictions. Systematics different, simpler.

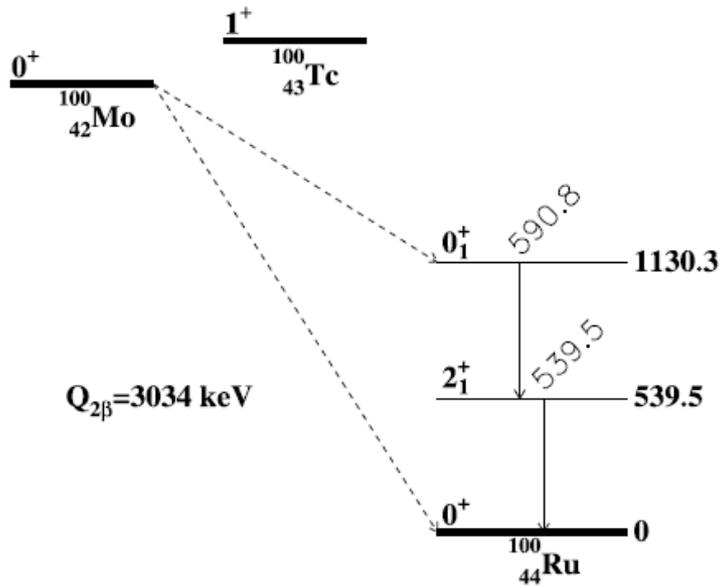
✓ TES@ 100mK, Au implanté

✓ R&D sur multiplexage:

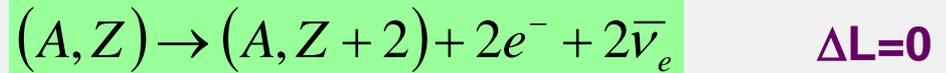
lecture Micro-onde des Squids $\rightarrow 10^3$ à 10^4 voies résonantes par ampli

□ Désintégration Double bêta sans neutrino

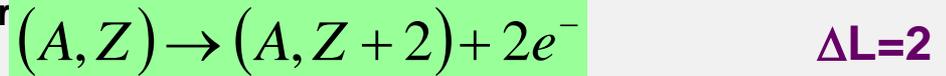
La désintégration $\beta\beta 0\nu$, un test fondamental de la nature des neutrinos



- $\beta\beta 2\nu$ (rare, mais existe; 17 isotopes; record ^{124}Te $T_{1/2} \sim 10^{24}$ ans)

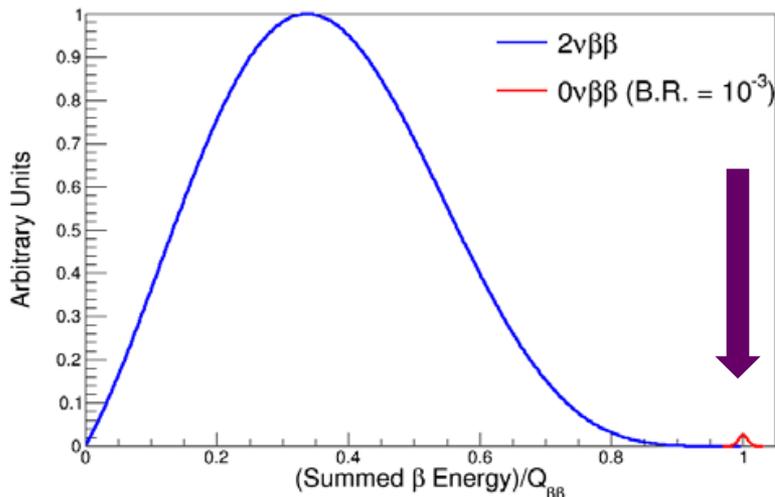


- $\beta\beta 0\nu$ (existence ? \rightarrow Physique au delà du Modèle Standard)



\rightarrow violation du "Nombre Leptonique" L
 \rightarrow le neutrino est "de Majorana"

$$\nu_e = \bar{\nu}_e$$



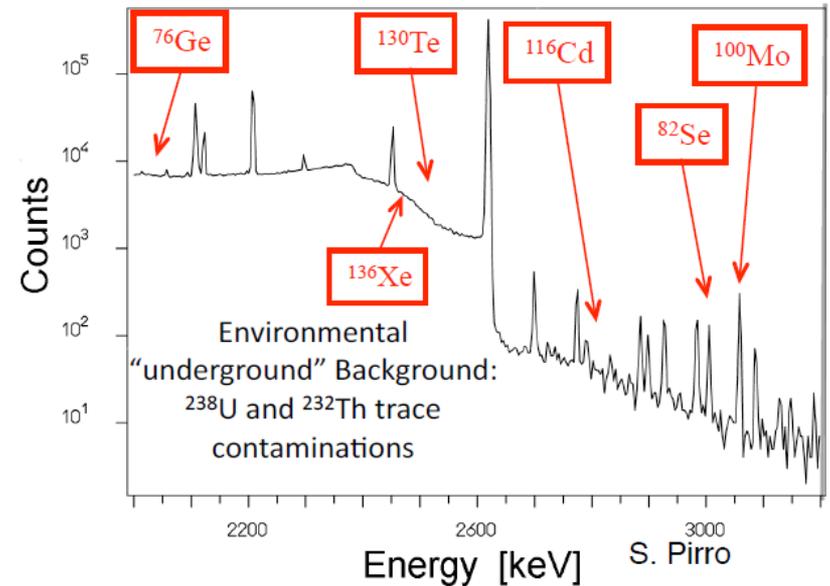
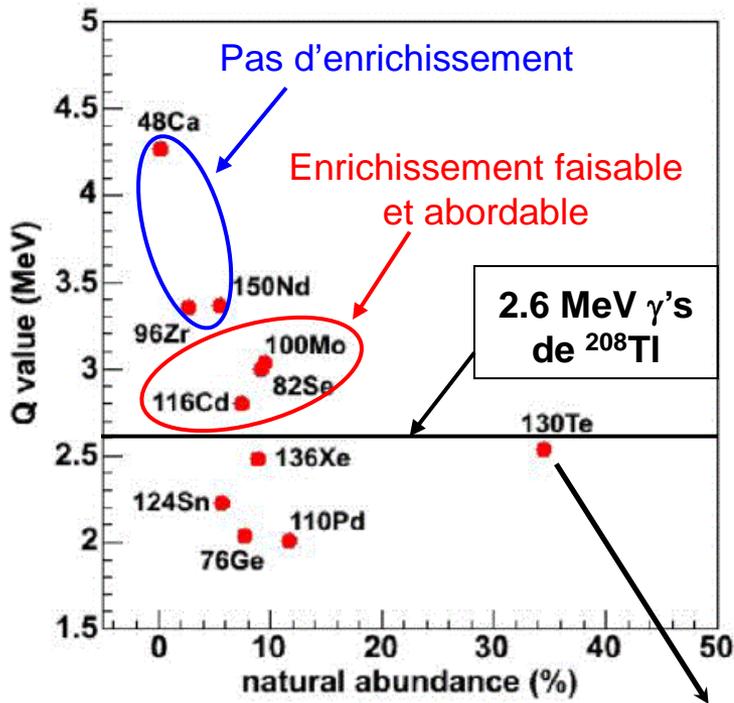
Durée de vie | Espace des phases | Élément de matrice nucléaire

$$[T_{1/2}^{0\nu}]^{-1} = G^{0\nu}(Q_{\beta\beta}, Z) \cdot |M^{0\nu}(A, Z)|^2 \cdot \frac{\langle m_{\beta\beta} \rangle^2}{m_e^2}$$

$$\langle m_{\beta\beta} \rangle^2 = \left| \sum_{i=1}^3 m_i U_{ei}^2 \right|^2$$

Masse "effective" de Majorana

Le choix des isotopes



Le choix de l'expérience CUORE au Gran Sasso (bolomètres massifs en TeO_2): existence, abondance, radiopureté

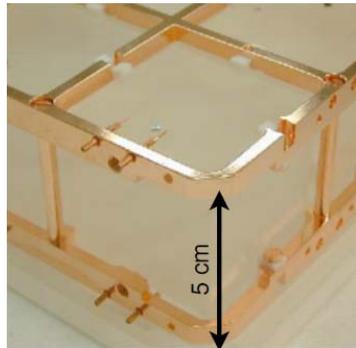
Expériences de 2^{nde} génération (post-CUORE):

→ ^{82}Se , ^{100}Mo , ^{116}Cd : le choix du ROI

LUCIFER,
SUPERNEMO

LUMINEU
AMORE,
LUCINEU

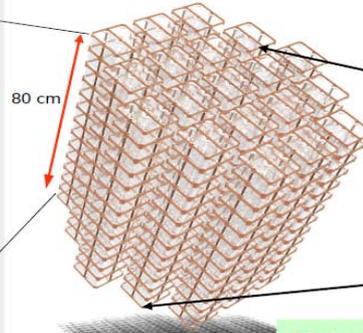
L'approche bolométrique: l'expérience de CUORE



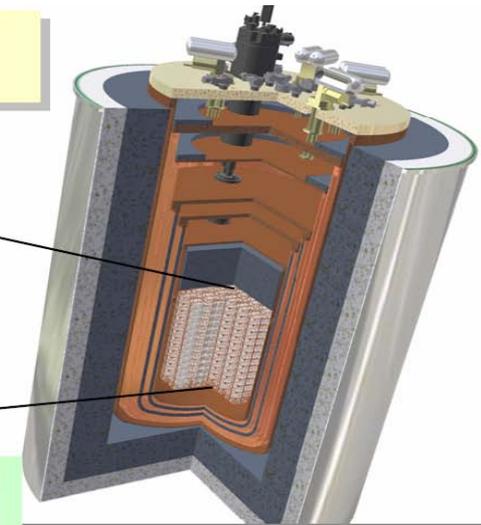
Array of 988 TeO_2 $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ detectors (750 g each)
 $M = 741 \text{ kg}$ of $\text{TeO}_2 = 206 \text{ kg}$ of ^{130}Te



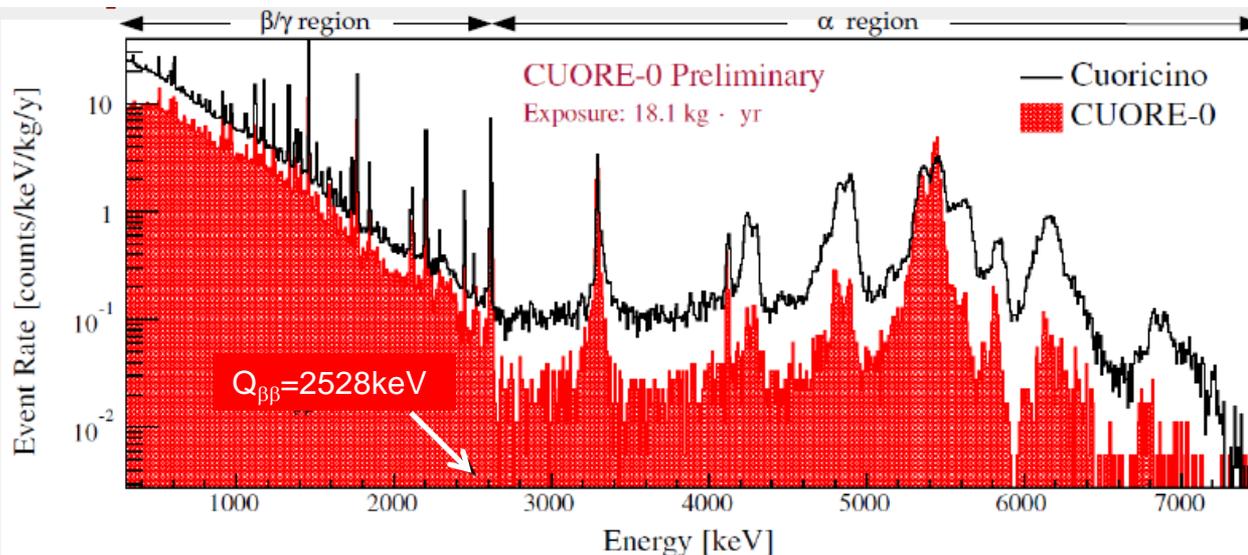
80 cm



19 towers with
 13 planes of
 4 crystals each



Monica Sisti — ICHEP 2014, Valencia (Spain), 3 Jul 2014



Un fond dominé par des alphas dégradés provenant des surfaces dans la ROI

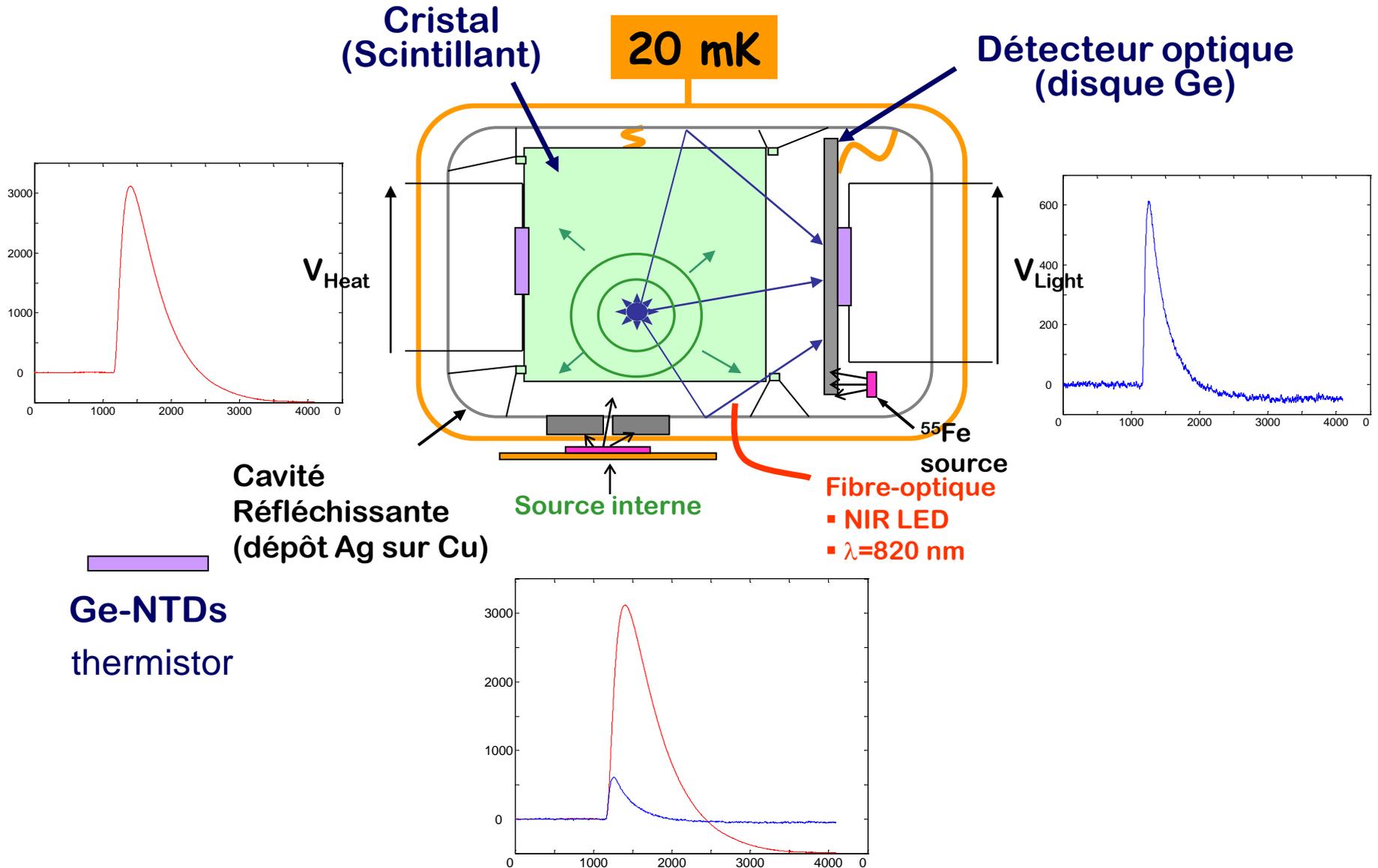
$$\lim T_{1/2}^{0\nu} \propto \sqrt{\frac{M \cdot t}{B \cdot \Delta E}}$$

→ Comment s'en débarrasser ?

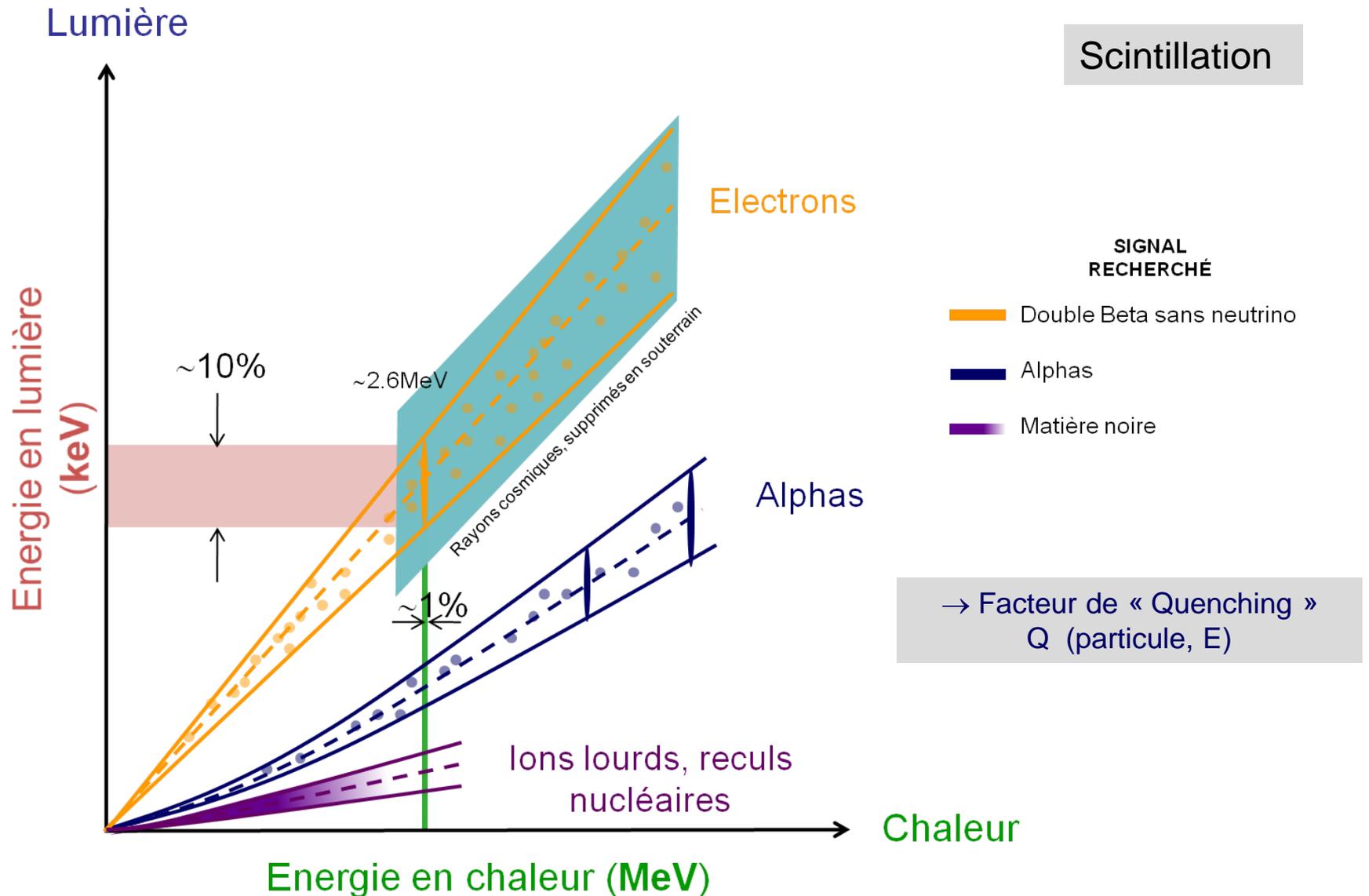
Bolomètres scintillants

✓ $\beta\beta 0\nu$ (LUMINEU,...)

Bolomètres Scintillants



Une discrimination multi-usages

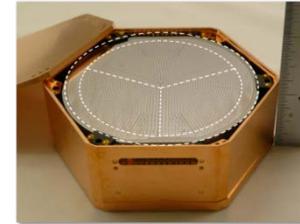


SEMI-CONDUCTEURS [DISCRIMINATION « CHARGE / CHALEUR »]

d'après Knoll G., Radiation Detection and measurement

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt									
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr				

Cristaux massifs commerciaux
R&D sur petits échantillons
Géométrie plane (e ≈ mm)



CDMS: Ge, Si



EDELWEISS: Ge

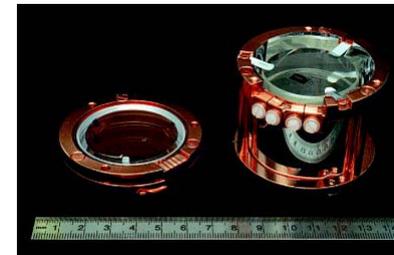
SCINTILLATEURS [DISCRIMINATION « LUMIERE / CHALEUR »]

d'après: Derenzo S. et al., IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-37 (1990) 203-208; Derenzo S. & Moses W., proceedings of CRYSTAL 2000, sept. 1992,...

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt									
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr				

Cristaux massifs commerciaux
R&D monocristaux, non commercialisés
R&D poudres

CRESST, CaWO₄, ...



ROSEBUD, Bi₄Ge₃O₁₂, ...



ββ
LUMINEU
ZnMoO₄, ...



Luminescent **U**nderground **M**olybdenum **I**nvestigation for **NEU**trino mass and nature

- ✓ expérience prototype pour les prochaines générations de recherche $\beta\beta 0\nu$ (test du scénario de « Hiérarchie de masse Inverse » des neutrinos)
- ✓ à base de ^{100}Mo (~1kg à l'horizon **2015**)
- ✓ dans des bolomètres scintillants en ZMO (ZnMoO_4), ou LMO (Li_2MoO_4)
- ✓ dans les laboratoires souterrains du LSM ou du LNGS

 **FRANCE**
 CNRS: CSNSM (IN2P3)
 IAS (INSU)
 ICMCB (INC)
 CEA/IRFU

 **UKRAINE** INR Kiev
 **RUSSIE** NIIC Novosibirsk
 **ALLEMAGNE** KIP Heidelberg

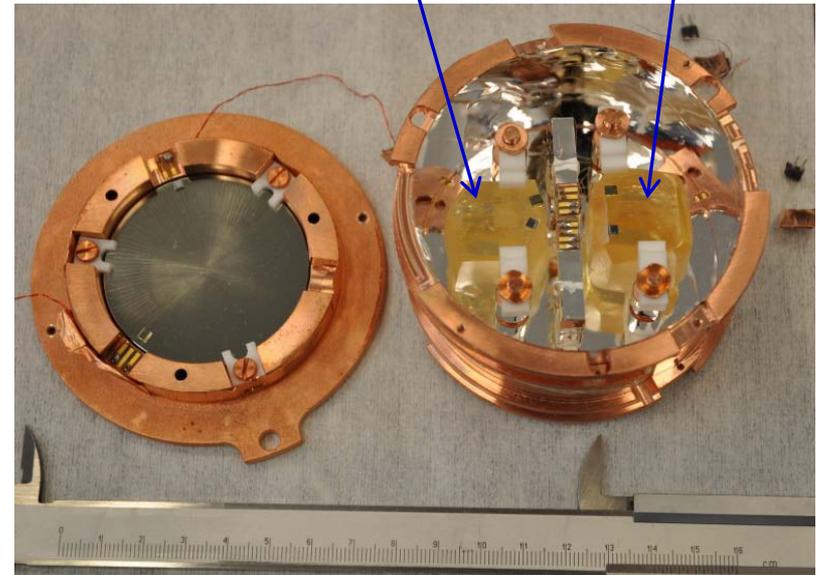
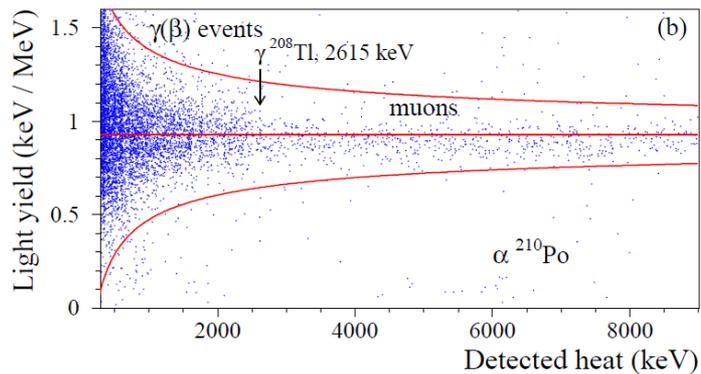
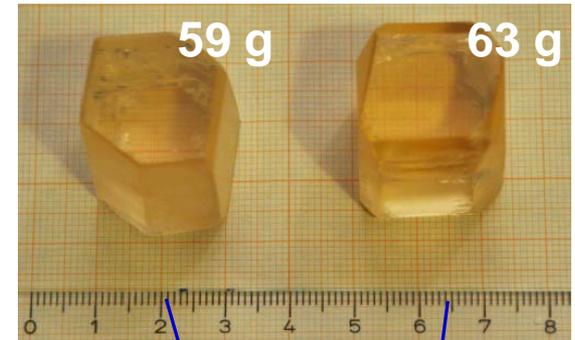
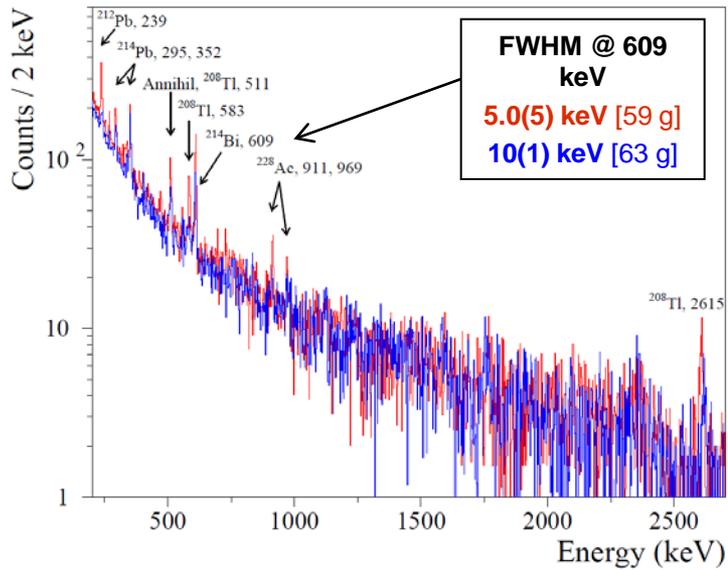
 **ITALIE** INFN Milano Bicocca

Sensibilité visée sur 5 ans à 90% CL
 ZnMoO_4 nat. ou enrichi en ^{100}Mo (97%)
 Fond $\approx 4 \times 10^{-4}$ evts/keV/kg/an
 à $Q_{\beta\beta} \pm 3\text{keV}$

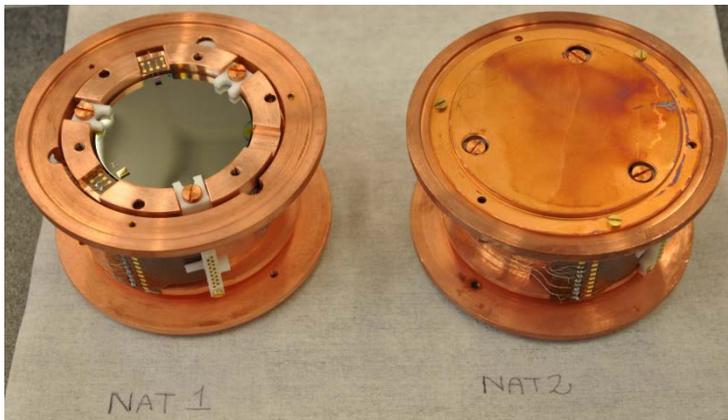
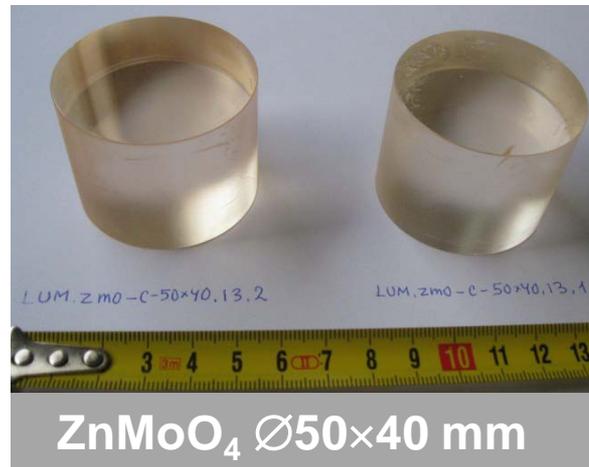
Number of ≈ 400 g crystals	Total isotope mass [kg]	Half-life sensitivity [10^{25} y]	$m_{\beta\beta}$ sensitivity [meV]
4	0.676	0.53	167-476
40	6.76	4.95	55-156
2000 (nat.)	33.1	15.3	31-89
2000	338	92.5	13-36



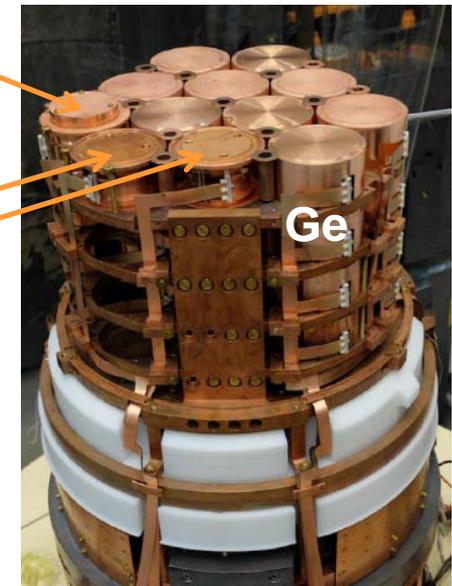
- ✓ test de cristaux de ZnMoO_4
- ✓ enrichis à 99.5% en ^{100}Mo
- ✓ perte de ~4% seulement lors du tirage



LUMINEU: sous sol (@LSM)



$\text{Zn}^{100}\text{MoO}_4$
59 g & 63 g
2 x ZnMoO_4
334 g + 336 g

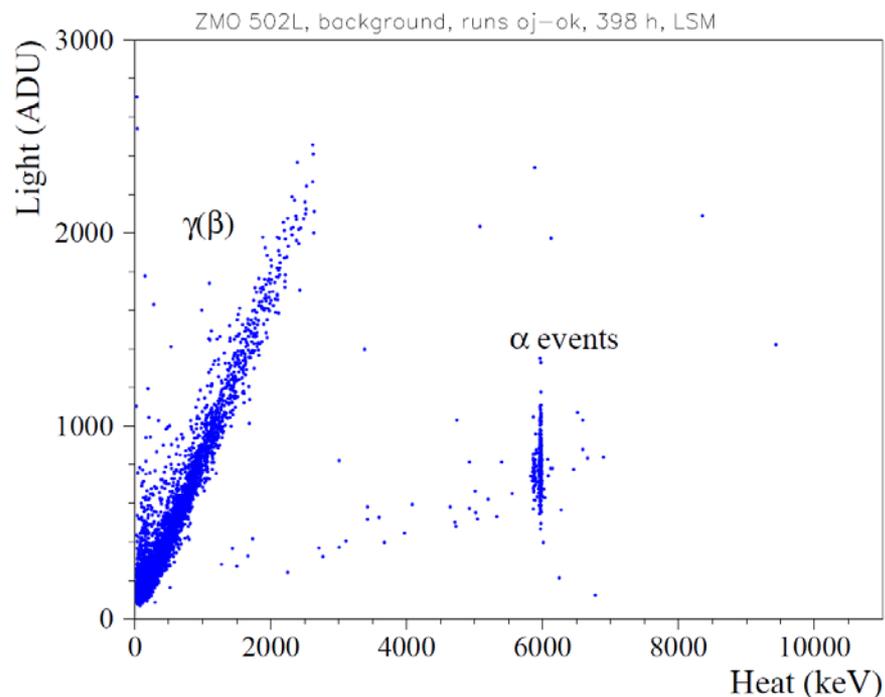


Banc EDELWEISS
@ LSM (Modane)
juin 2014 →

LUMINEU: état des lieux en mars 2015

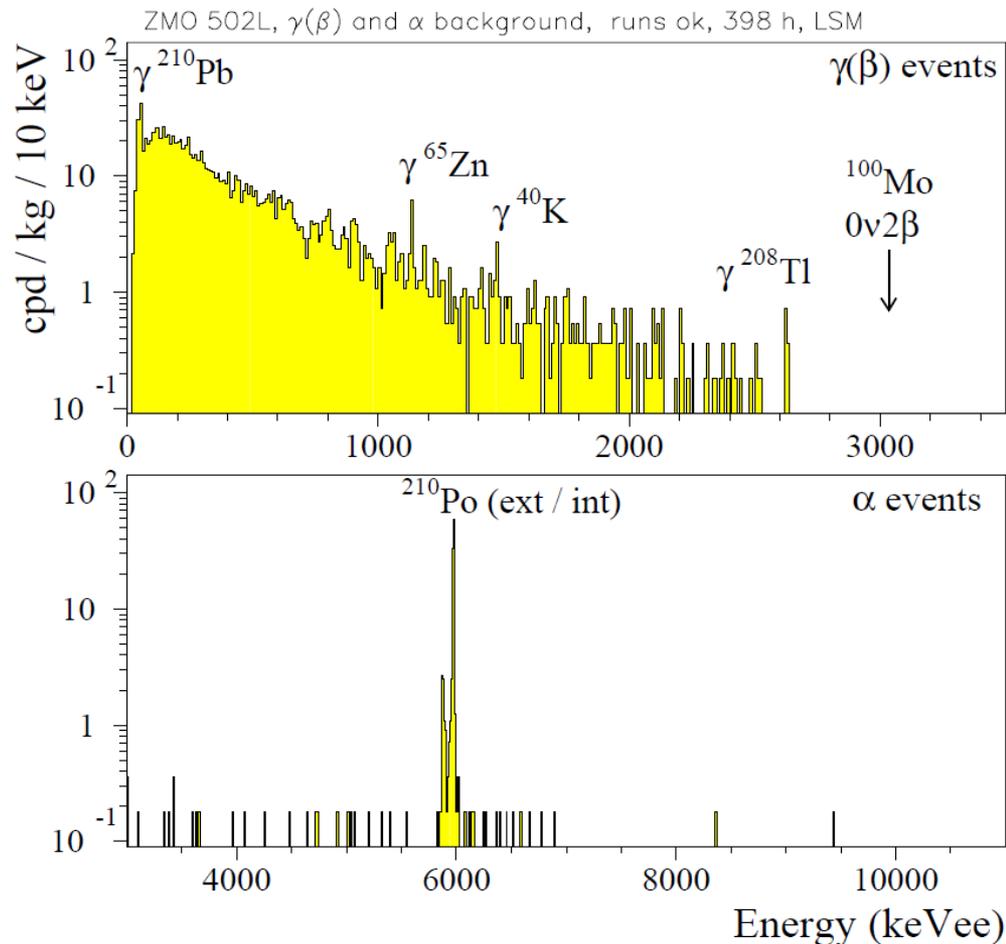
→ un fond “zero” dans la ROI est faisable !

ZnMoO₄, 334 g, Bkg, 398 h, LSM Heat-vs-Light scatter-plot

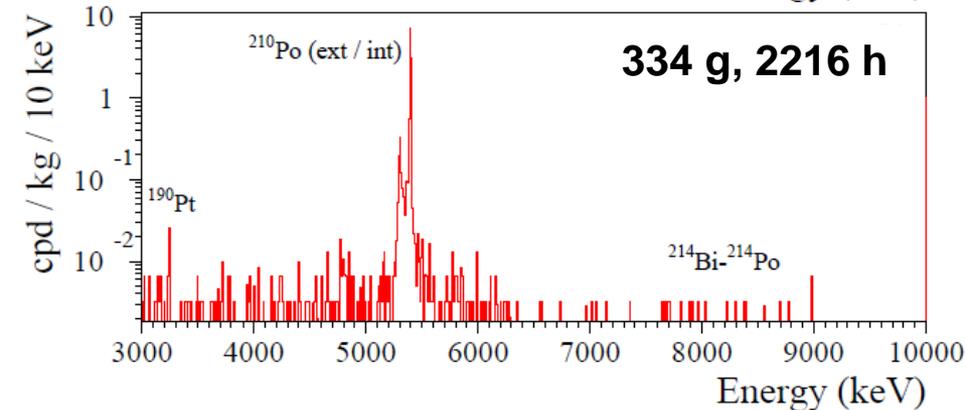
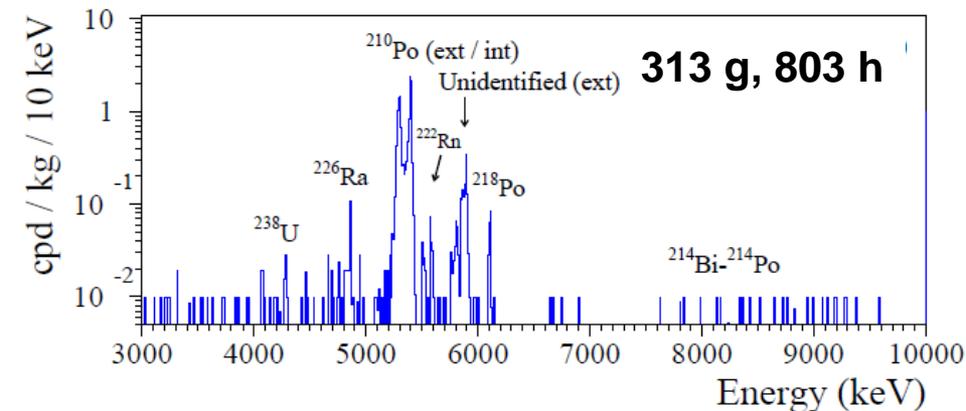


Preliminary

d'après D.V. Poda, LAL, 10 March 2015



LUMINEU: une radio-pureté au rendez-vous



Radio-pureté de ZnMoO_4 visée initialement
(expérience de 2^{nde} génération $0\nu\beta\beta$):

$^{228}\text{Th} / ^{226}\text{Ra} \sim 10 \mu\text{Bq} / \text{kg}$

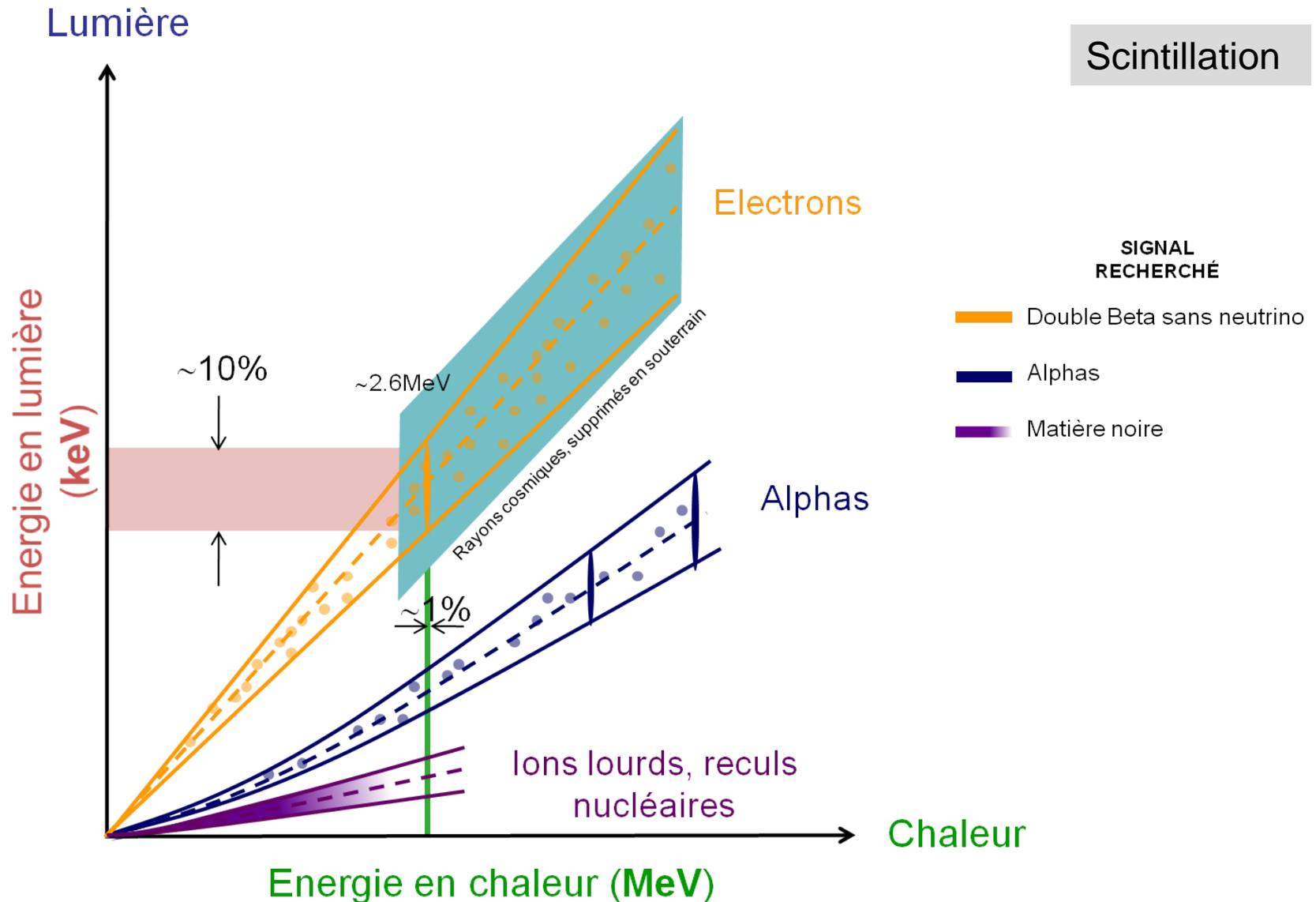
	Activity, $\mu\text{Bq}/\text{kg}$			
	LUMINEU crystals		Precursor crystals	
	LSM [1]	LSM [2]	LSM [1]	LNGS [3]
	334 g	336 g	313 g	329 g
	2216 h	291 h	803 h	524 h
^{232}Th	≤ 2	≤ 10	≤ 6	≤ 8
^{228}Th	≤ 5	≤ 24	12(4)	≤ 6
^{238}U	≤ 2	≤ 8	8(3)	≤ 6
^{234}U	≤ 3	≤ 22	≤ 8	≤ 11
^{230}Th	≤ 2	≤ 13	≤ 8	≤ 6
^{226}Ra	≤ 5	≤ 21	22(5)	27(6)
^{210}Po	1271(22)	939(52)	703(28)	700(30)
^{235}U	≤ 3	≤ 10	≤ 7	–
^{190}Pt	4(1)	≤ 5	≤ 7	–

[1] E. Armengaud et al., submitted to JINST.

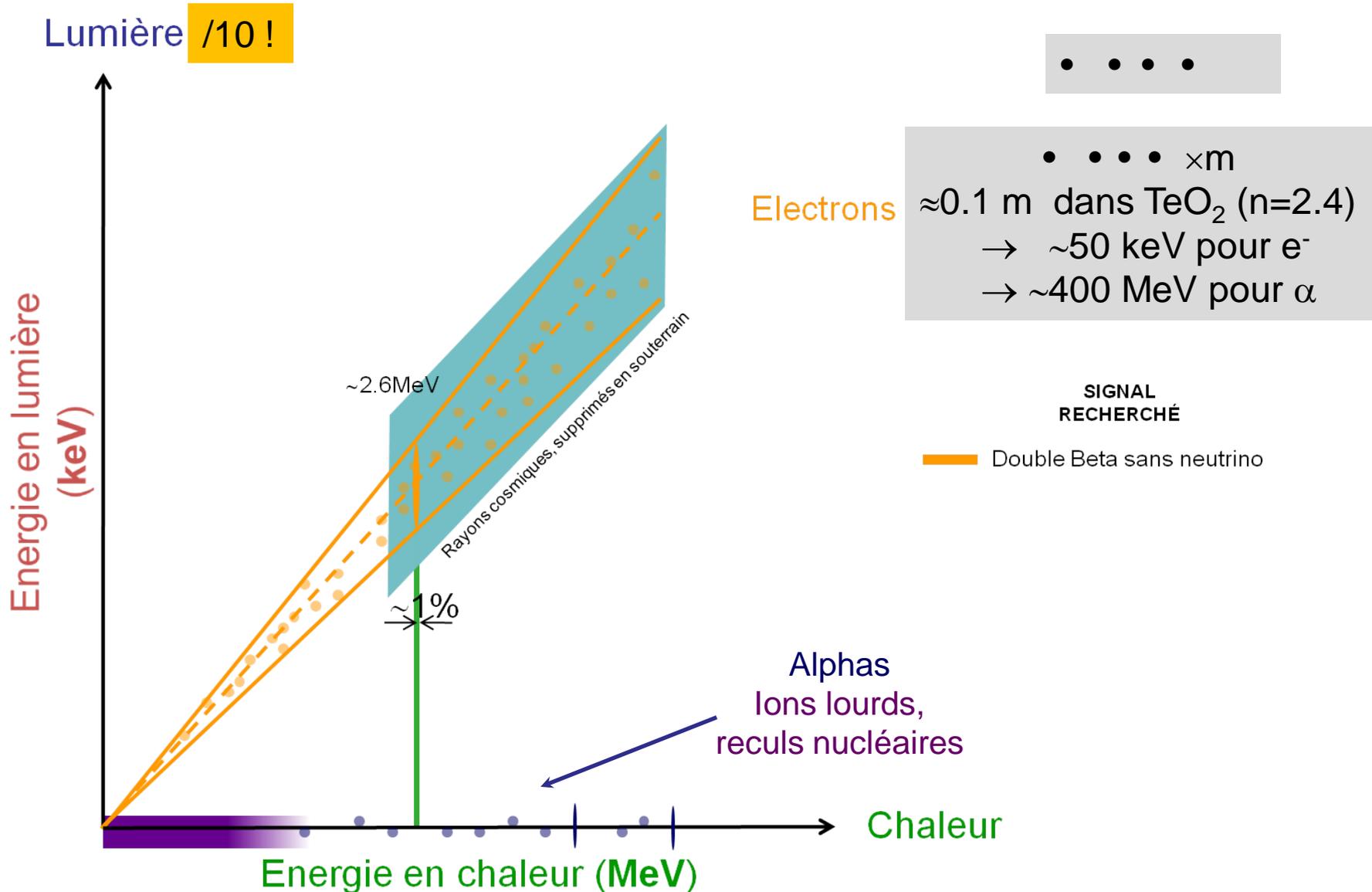
[2] D.V. Poda et al., arXiv:1502.01161.

[3] J. Beeman et al., EPJC 72 (2012) 2142.

Une discrimination multi-usages



Une discrimination multi-usages

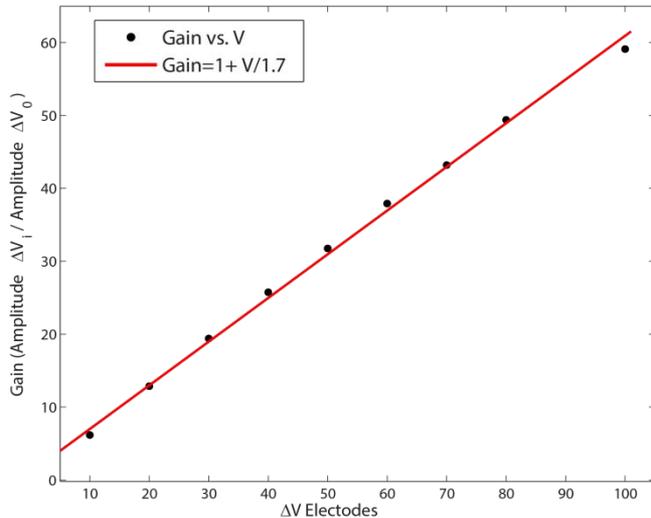


Amplification thermique du signal de luminescence

Bolomètre Ge optique (R&D CSNSM)



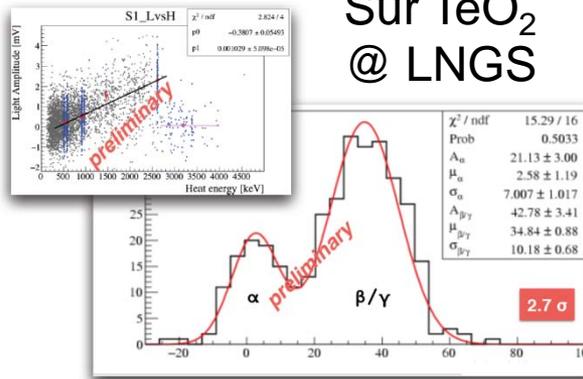
Neganov-Luke Gain on LED



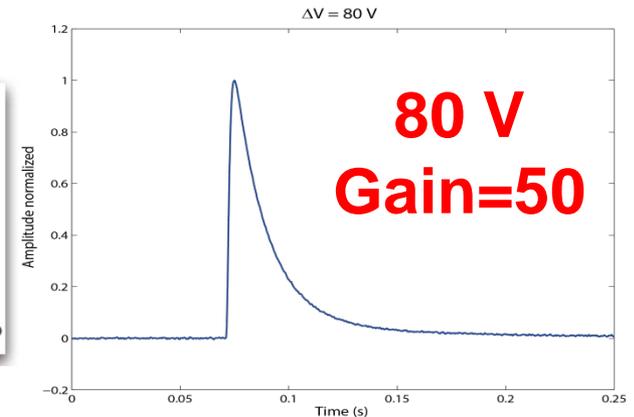
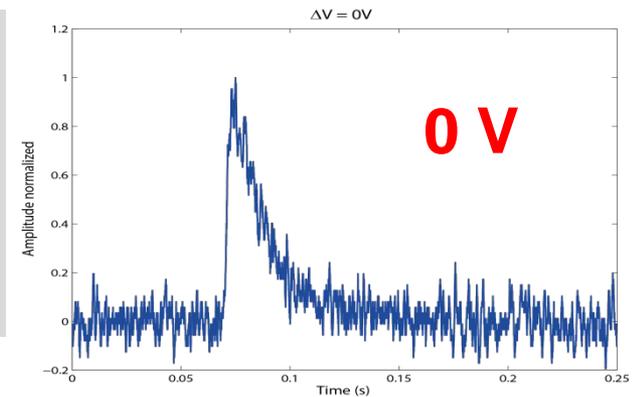
Accélération des charges entre électrodes → conversion en chaleur par effet (Joule) « Neganov-Luke »



Applications:
 ✓ « boost » des signaux de reculs matière noire
 ✓ discrimination dans les matériaux non-scintillants
 ($\beta\beta 0\nu$ par • • • •)

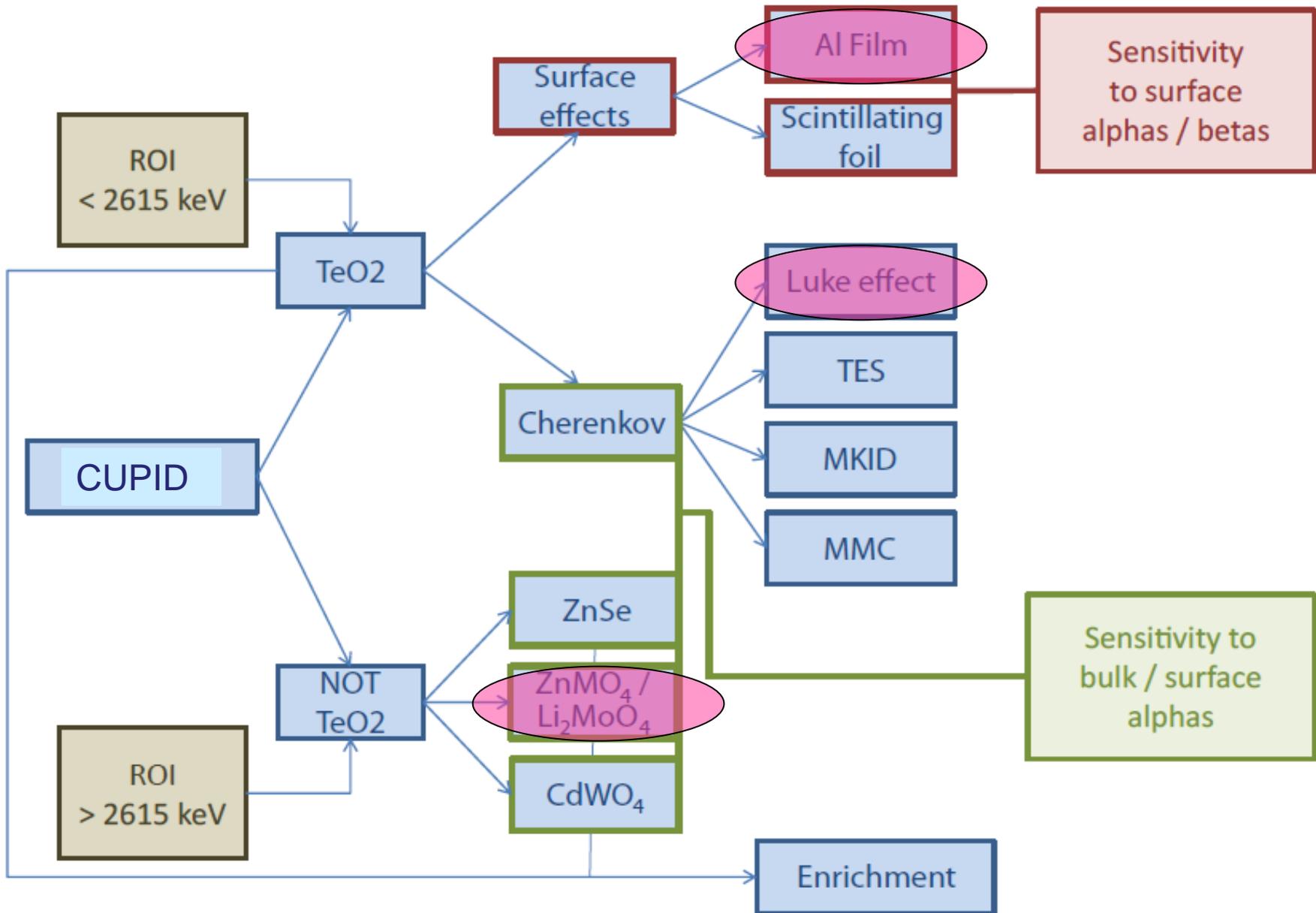


Signal d'une LED



d'après M.Mancuso & E.Olivieri

CUPID: futur bolométrique du $\beta\beta 0\nu$

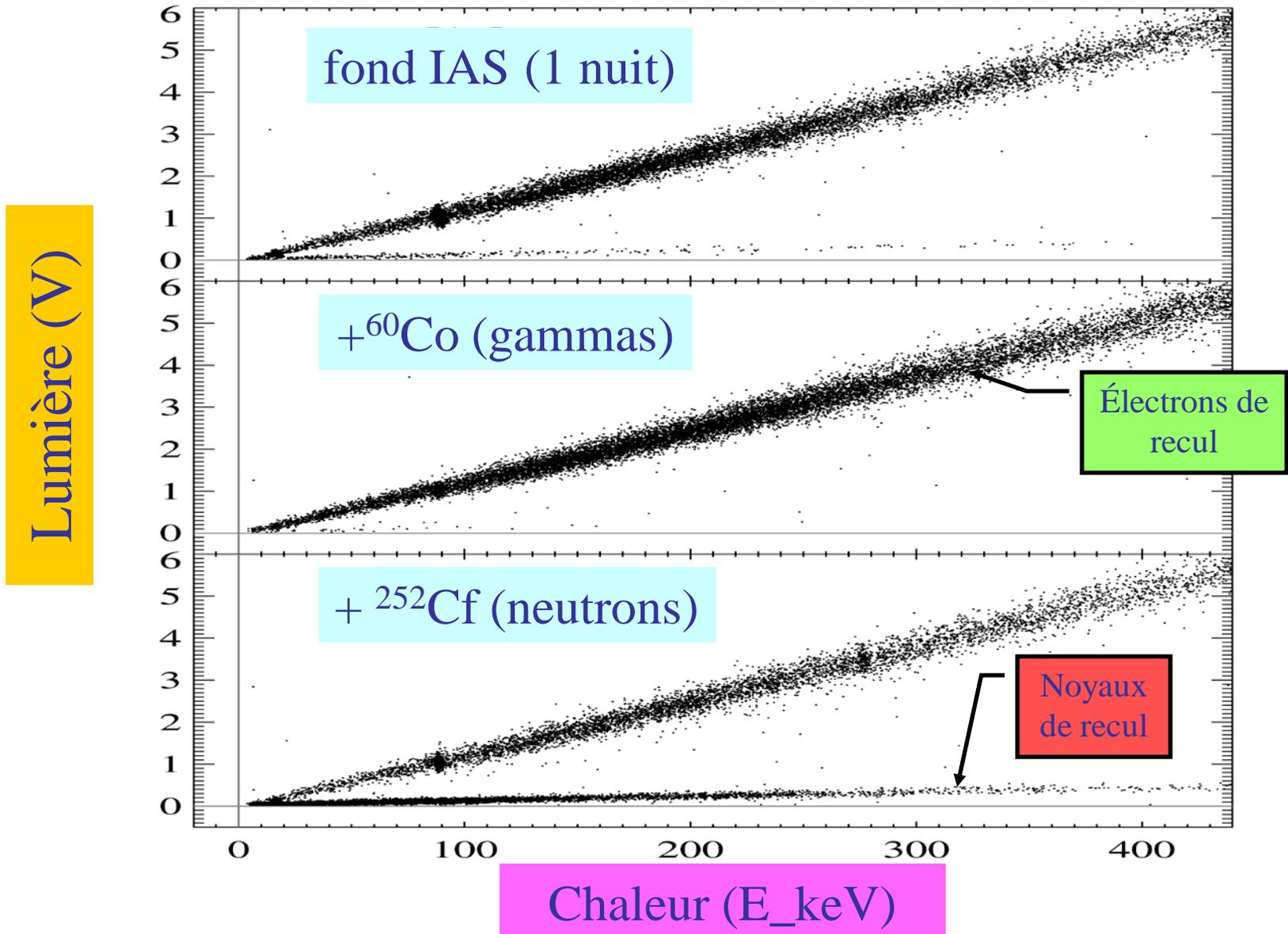


□ Désintégrations rarissimes (par bolomètres scintillants !)

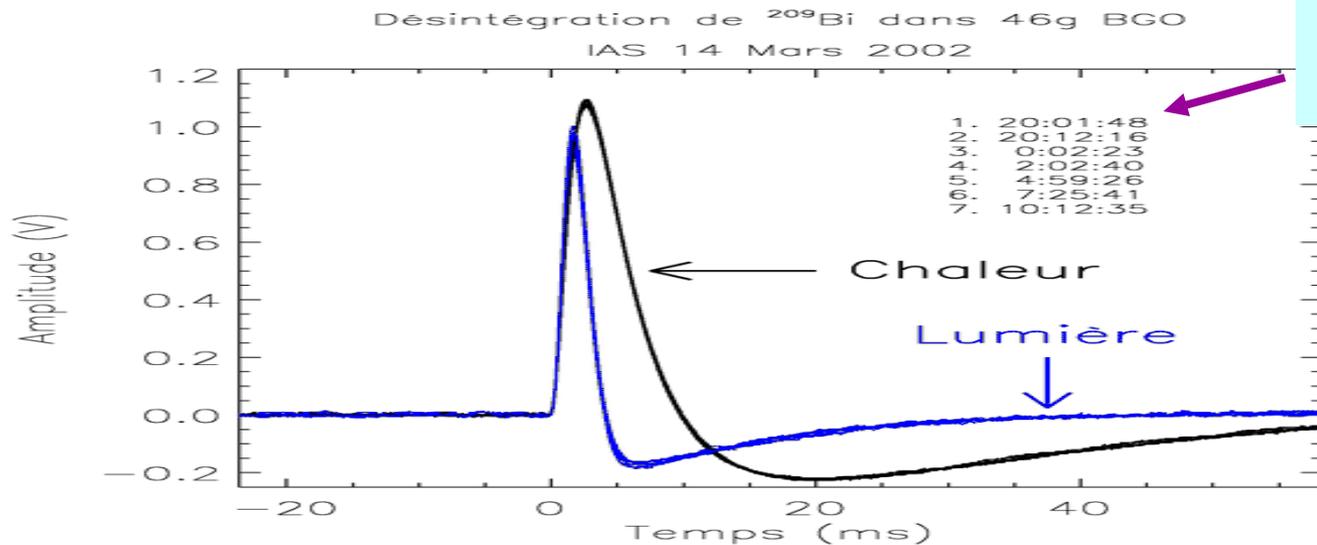
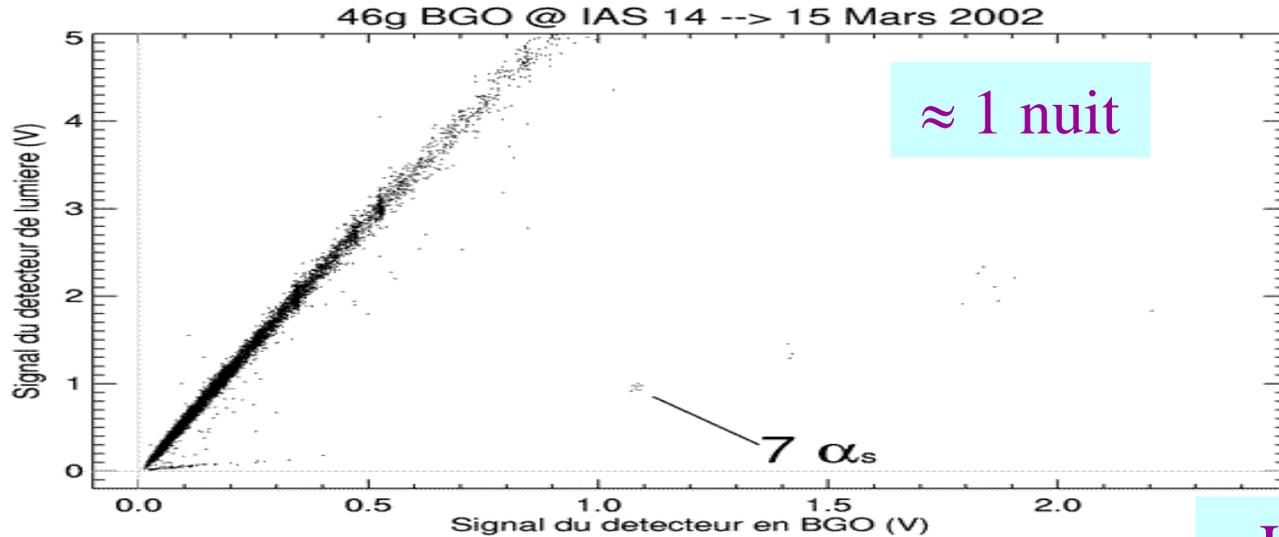
Désintégrations alpha de

- ^{209}Bi (IAS; 2002 & Gran Sasso; 2010) $T_{1/2} \approx 2.0 \cdot 10^{19}$ ans
- ^{180}W (CRESST; 2004) $T_{1/2} \approx 1.6 \cdot 10^{18}$ ans
- ^{151}Eu (R&D Gran Sasso, 2015) $T_{1/2} \approx 4.6 \cdot 10^{18}$ ans

Discrimination à l'oeuvre dans 46g BGO (basse énergie)

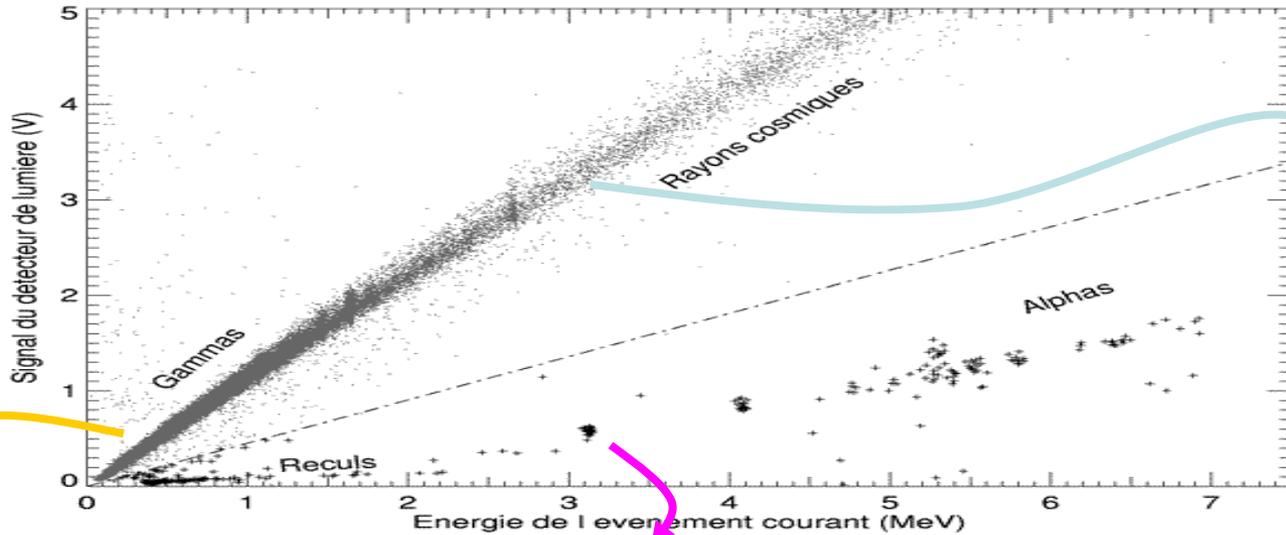


BGO à « haute » énergie: 7 (évts Bi-zarres)!



Heures d'arrivée

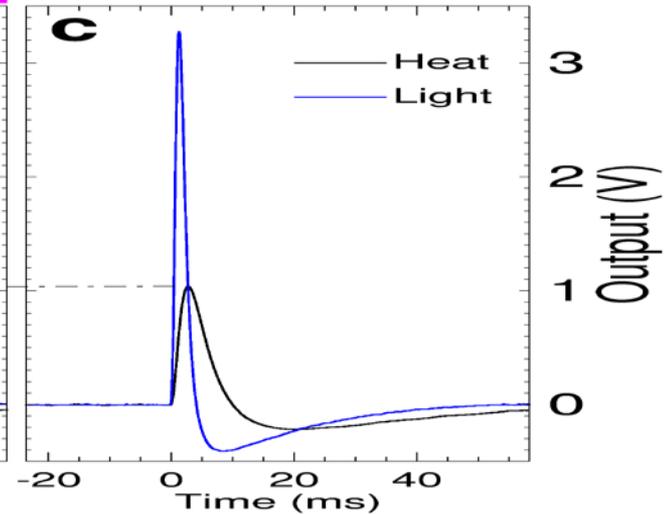
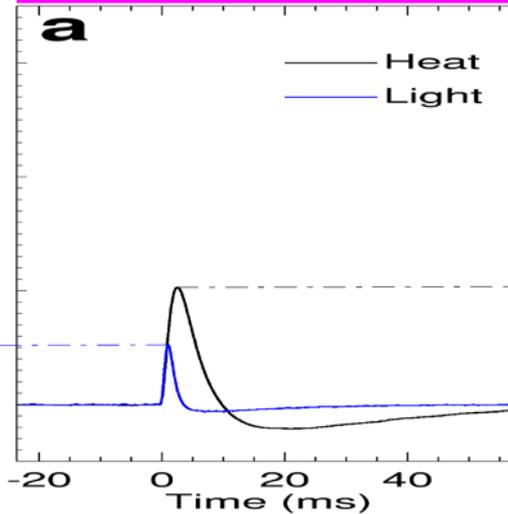
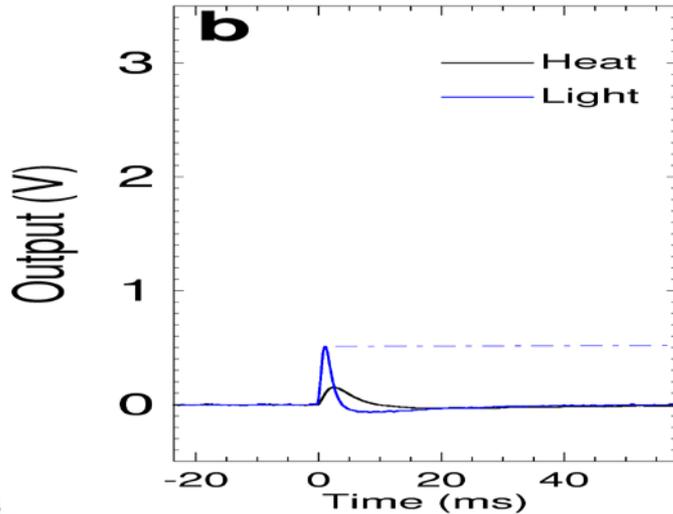
Diagramme de discrimination dans 46g BGO (5j)



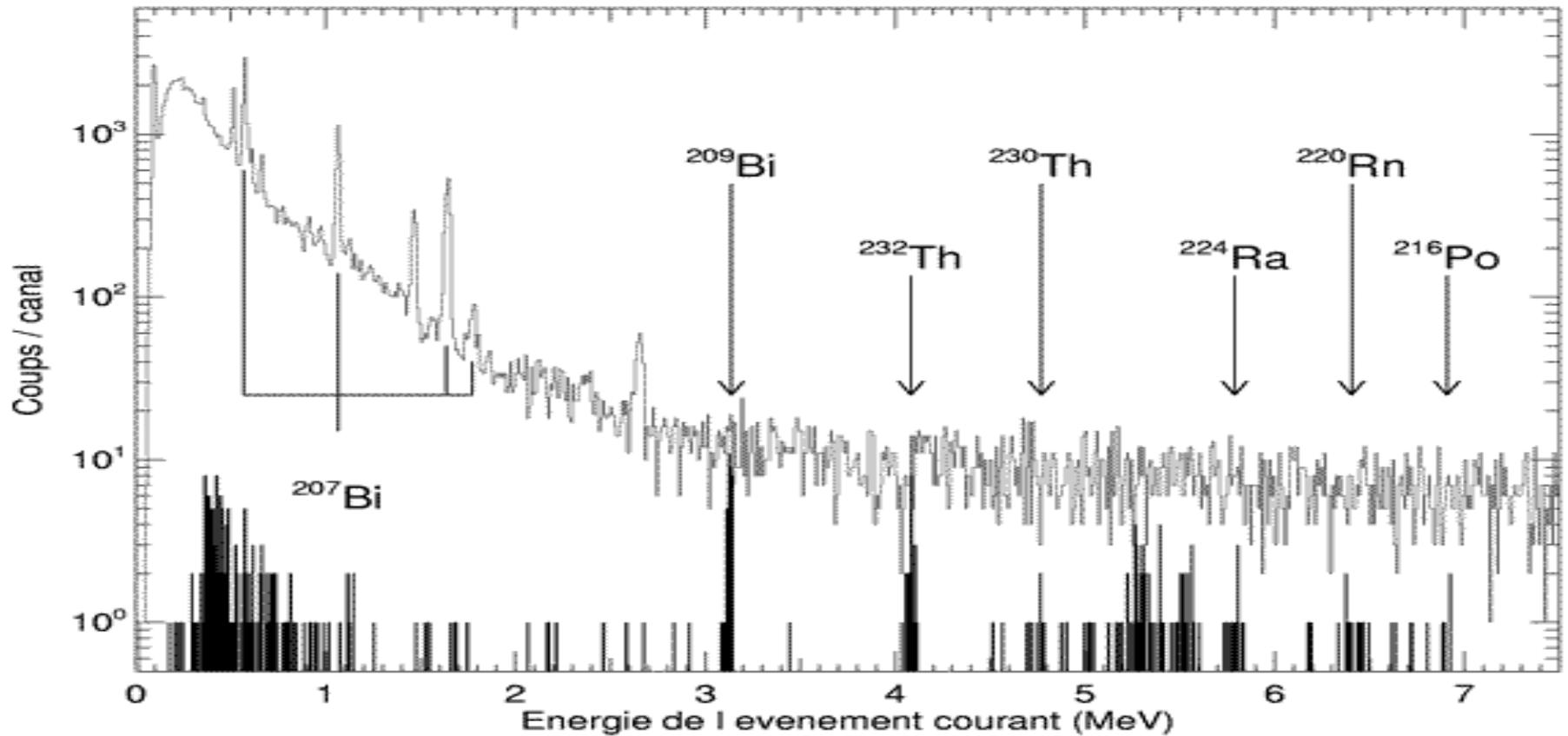
Gamma ray
E~500 keV

²⁰⁹Bi decay
E~3137 keV

Cosmic ray event
E~3.4 MeV



Spectres dans 46g BGO



Contamination ^{207}Bi (≈ 3 Bq/kg)

^{209}Bi

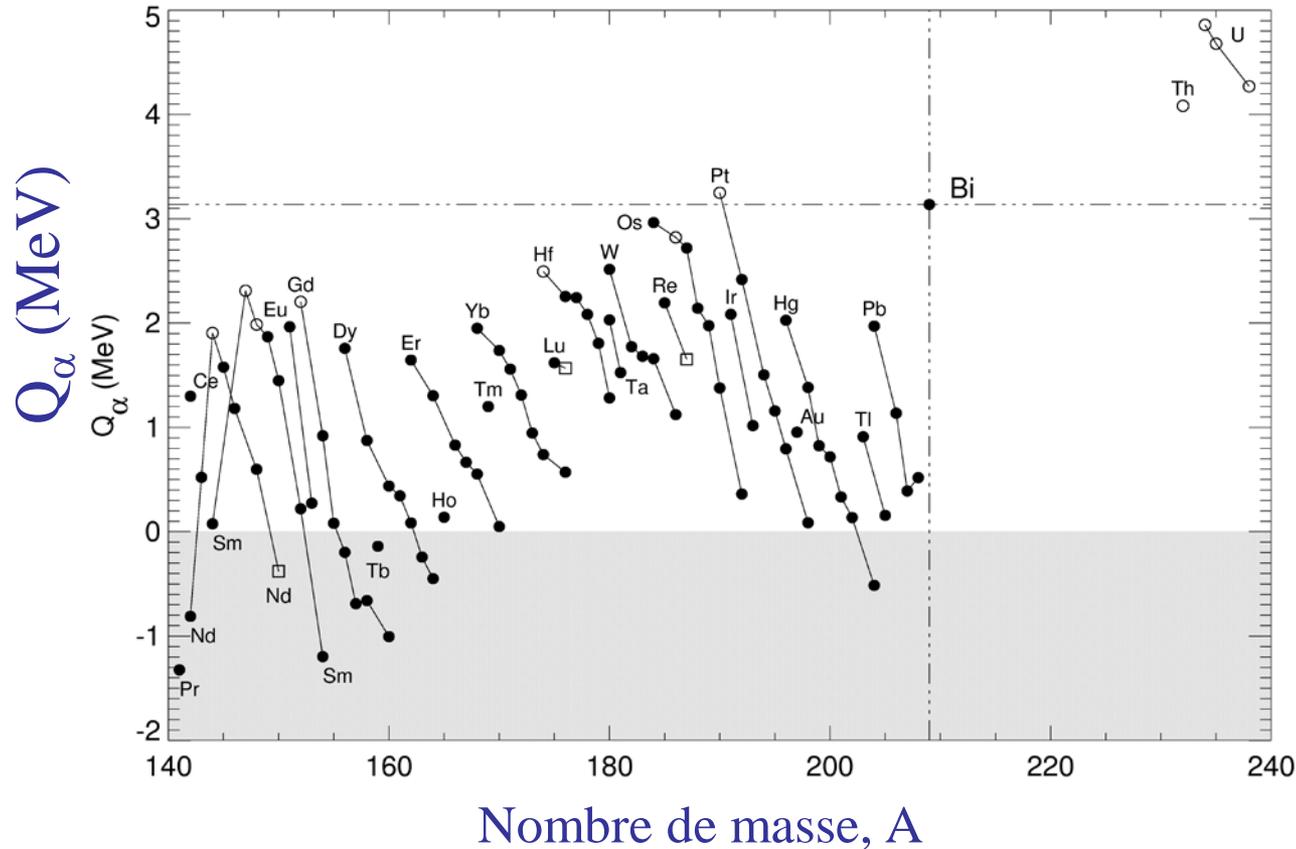


$$Q_{\alpha} = 3130 \pm 16 \text{ keV}$$

$$T_{1/2} = 1.44 - 1.95 \cdot 10^{19} \text{ ans}$$

Isotopes lourds stables, Q_α

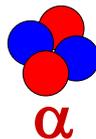
d'après Tables Audi et al. (1997)



$$Q_\alpha[{}^{209}\text{Bi}] = 3137 \pm 0.8 \text{ keV}$$

3077 keV

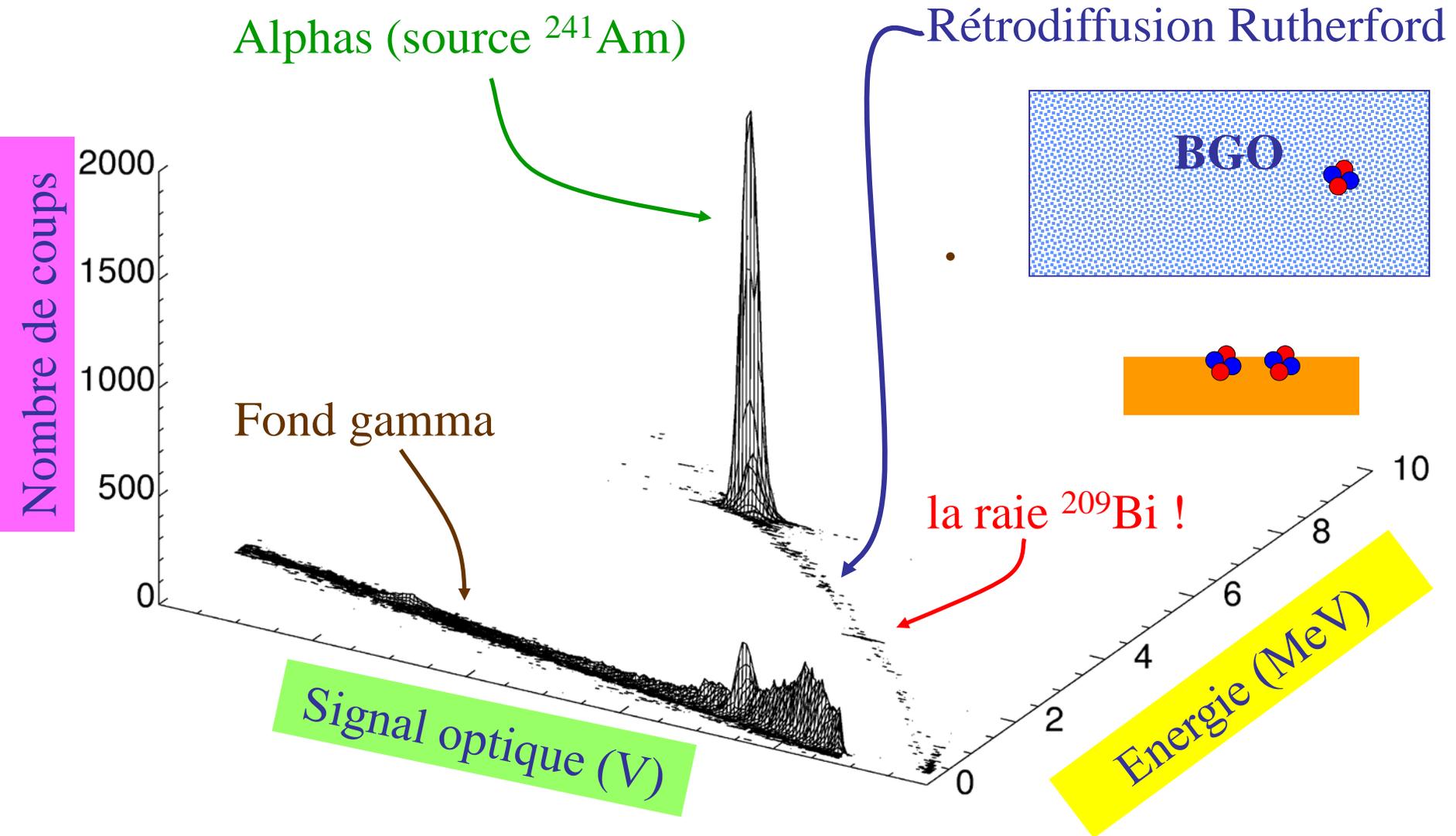
$R \approx 8 \mu\text{m}$



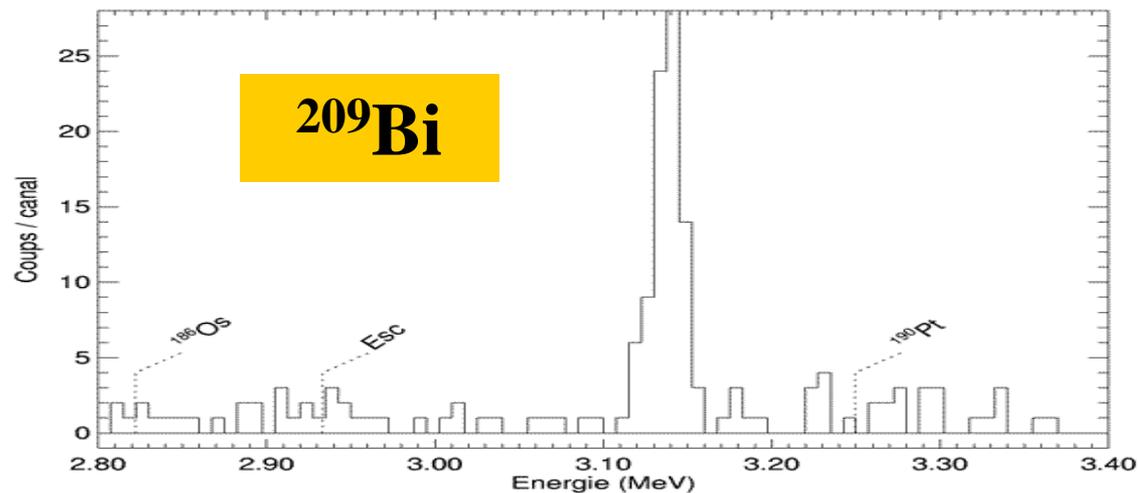
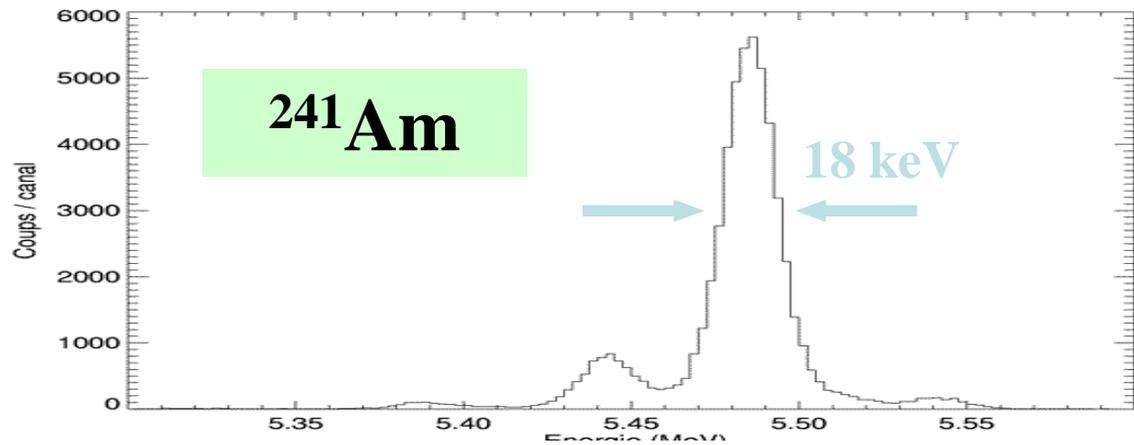
60 keV

$R \approx 200 \text{ \AA}$

Discrimination dans 91g BGO



Spectres alphas finaux



$Q_\alpha = 3137 \pm 1 \text{ (stat.)} \pm 2 \text{ (syst.) keV}$
 $T_{1/2} = 1.9 \pm 0.2 \cdot 10^{19} \text{ ans}$

^{209}Bi (bolomètres scintillants au Gran Sasso)

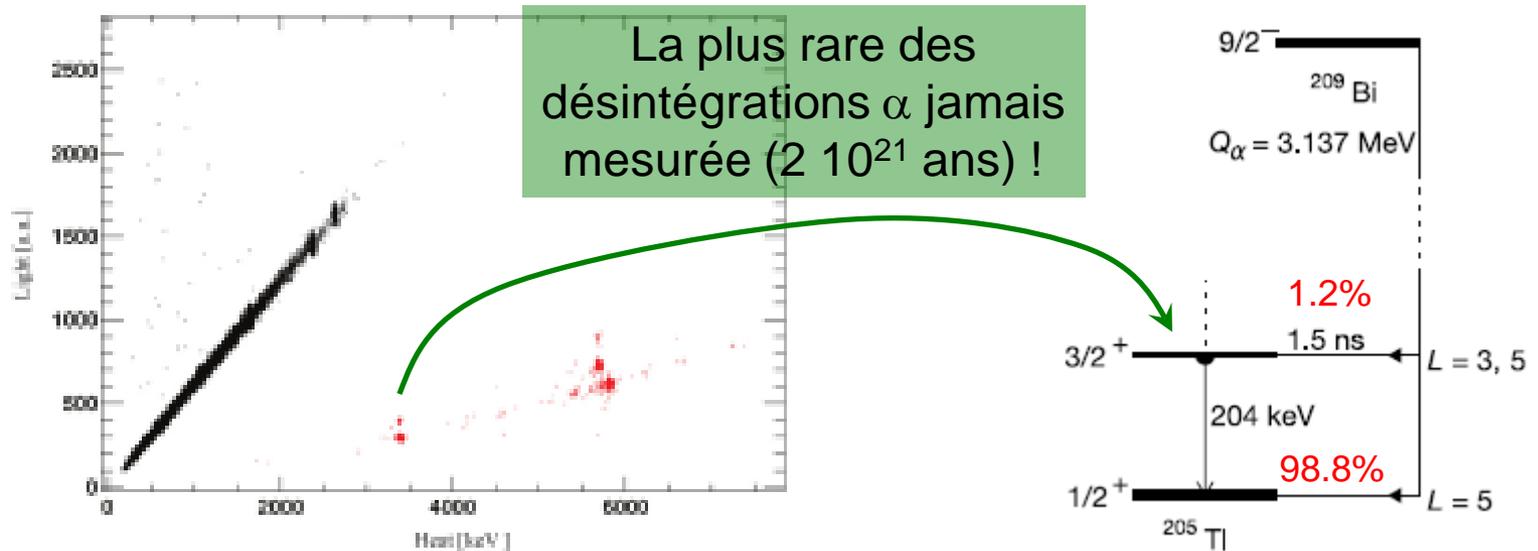
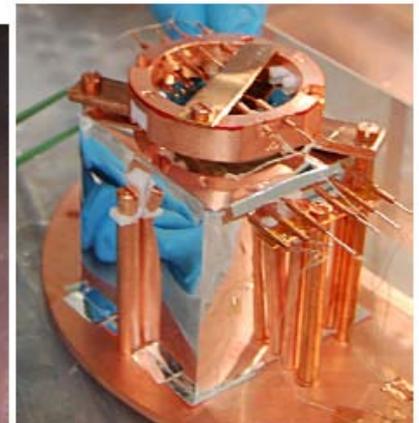


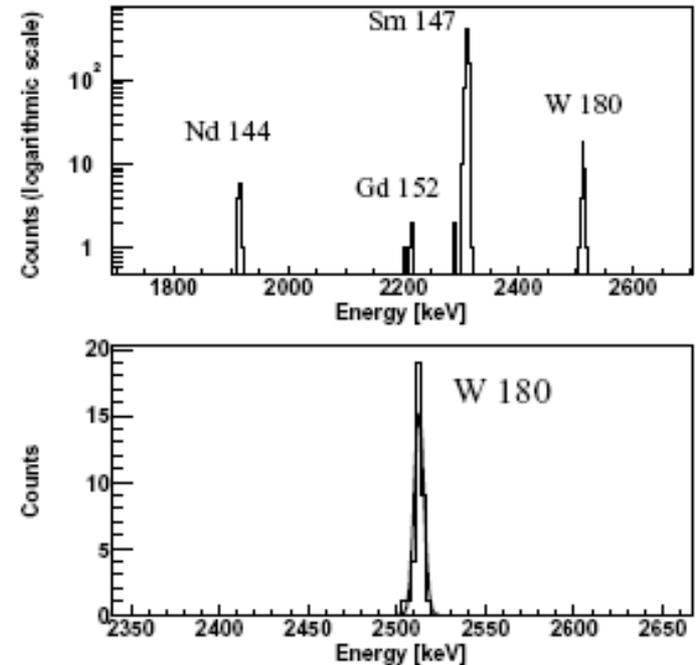
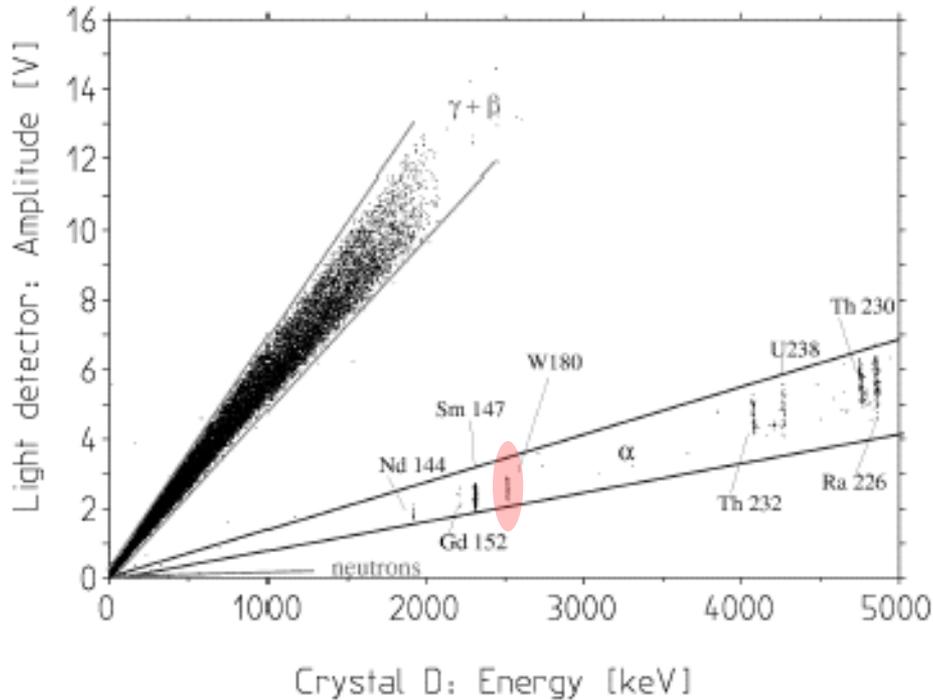
Figure 8.36: Scatter plot heat vs light of a $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ BGO crystal for a ~ 540 hours background measurement.

Thèse Luca Gironi, Univ. Milan, 2010

^{209}Bi : $T_{1/2} = 1.99 \pm 0.03 \cdot 10^{19}$ ans
(mesure 10× plus précise)



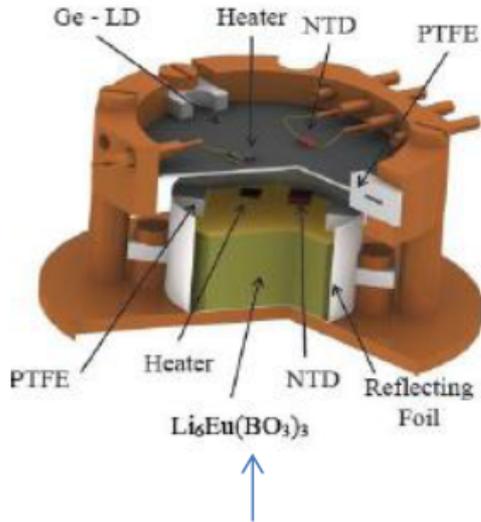
^{180}W (collaboration CRESST en 2004)



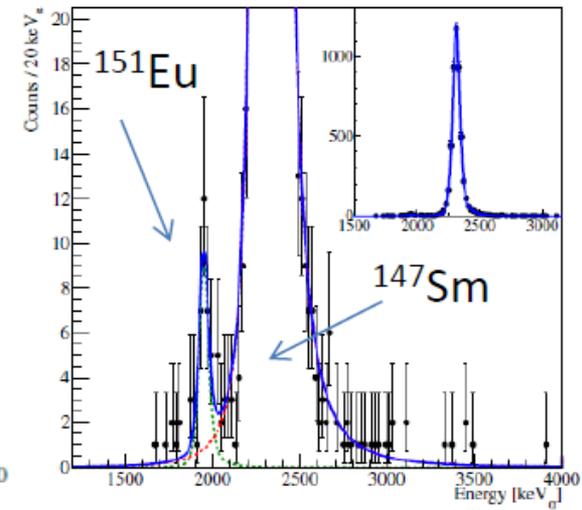
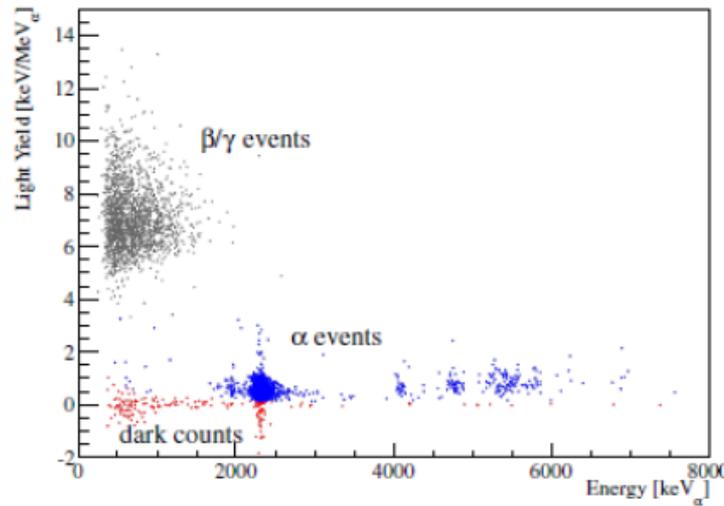
« The natural -decay of ^{180}W has been unambiguously detected for the first time. The peak is found in a (γ , β and neutron)-free background spectrum. This has been achieved by the simultaneous measurement of phonon and light signals with the CRESST cryogenic detectors. A half-life of $T_{1/2} = (1.8 \pm 0.2)$

^{151}Eu (bolomètres scintillants au Gran Sasso)

α decay of natural europium



6.15 g $\text{Li}_6\text{Eu}(\text{BO}_3)_3$ cryogenic scintillating bolometer with a very good energy resolution and particle discrimination



$$T_{1/2} = [4.62 \pm 0.95(\text{stat.}) \pm 0.68(\text{syst.})] \times 10^{18} \text{ yr}$$

[2] N Casali et al., Discovery of the ^{151}Eu α decay, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 41 (2014) 075101

d'après cours Fedor Danevich, 2015

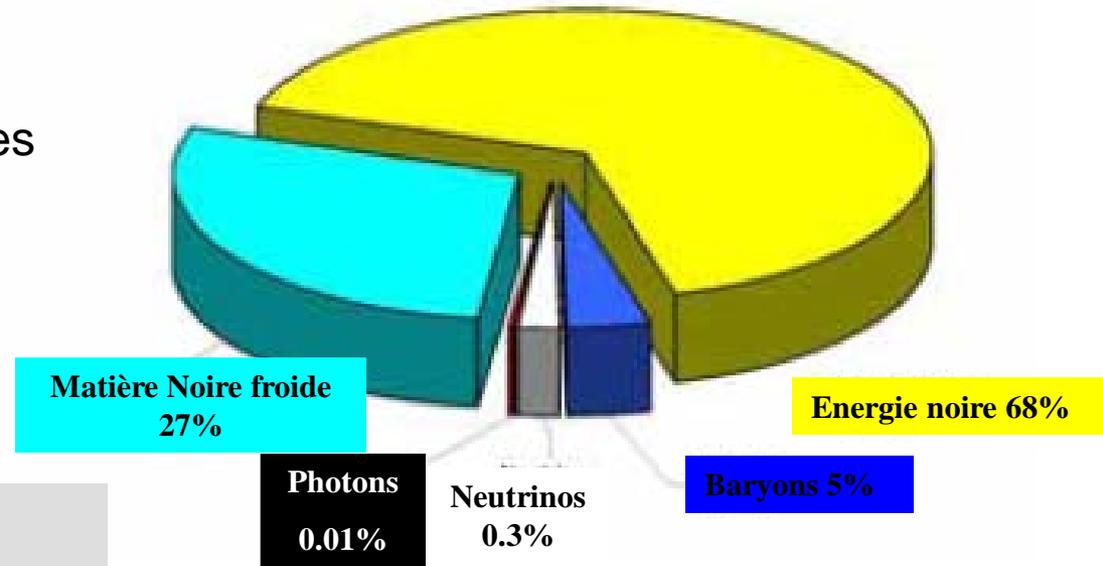
□ Détection de la Matière noire

Voir également le cours d'Eric Armengaud à l'Ecole de Gif 2009, Batz sur mer
<http://www-subatech.in2p3.fr/gif2009.html>

Détection de la Matière Noire Galactique

- ✓ présence à toutes les échelles de matière sombre
- ✓ argument le plus convaincant: platitude des courbes de rotation des galaxies spirales, dont notre Voie Lactée au delà des concentrations de matière visible (gaz, étoiles)
- ✓ densité labo $\approx 0.3 \text{ GeV/cc}$

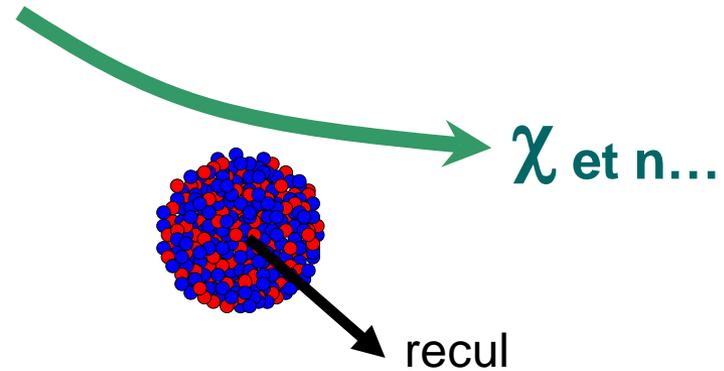
Contenu énergétique de l'Univers



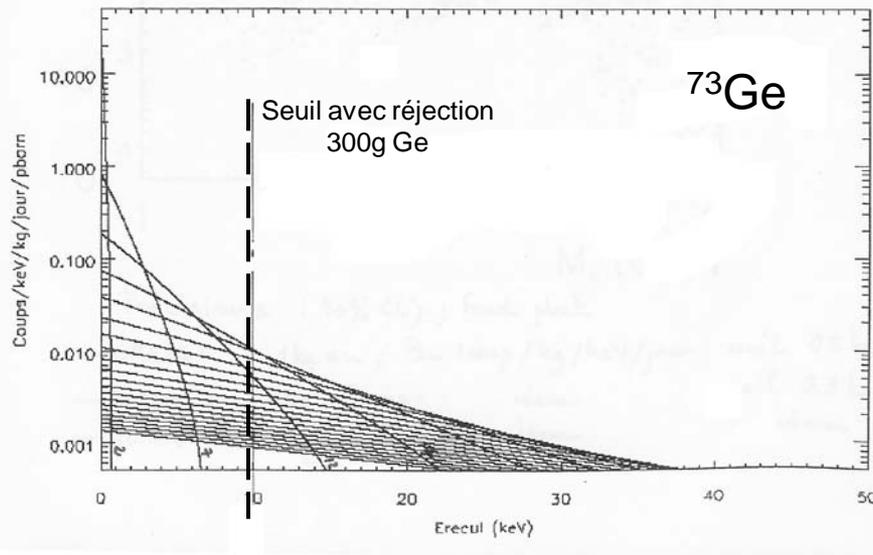
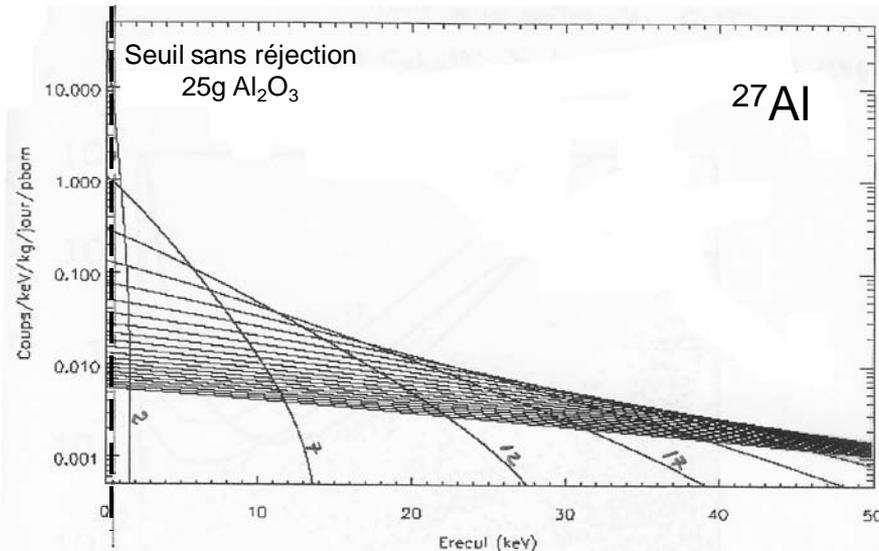
Une des candidats le mieux motivé:

- **Neutralino** χ (la plus légère des Particules SuperSymétriques; LSP) • • • • •
- $M \approx 6 \text{ GeV}/c^2 \rightarrow qq \text{ } 100 \text{ GeV}/c^2$
- Energies labo $\approx qq \text{ keV}$
- Interaction: diffusion élastique \rightarrow **reculs**
- Description précise ? paramètres libres ++
- Sections efficaces $\downarrow\downarrow$ (WIMPs) mais prédictibles

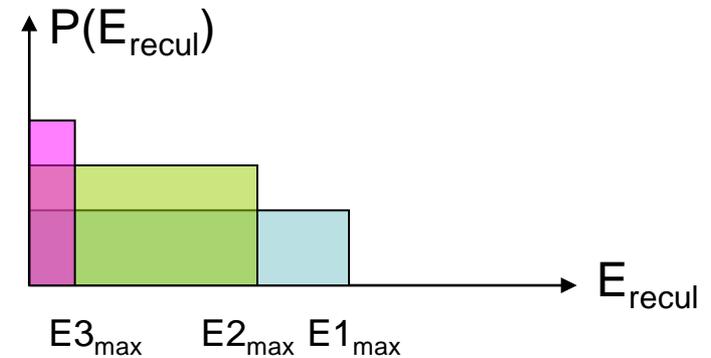
↳ **Weakly Interactive Massive Particles**



Détection de la matière noire: spectres attendus



- $M_\chi = 2, 7, 12, \dots, 102 \text{ GeV}/c^2$
- Modèle de halo « isotherme »
 - $V_0 = 230 \text{ km.s}^{-1}$
 - $V_{\text{échappement}} = 600 \text{ km.s}^{-1}$
 - $v_{\text{terre}} = 244 \text{ km.s}^{-1}$ (mars)
 - facteur de forme nucléaire

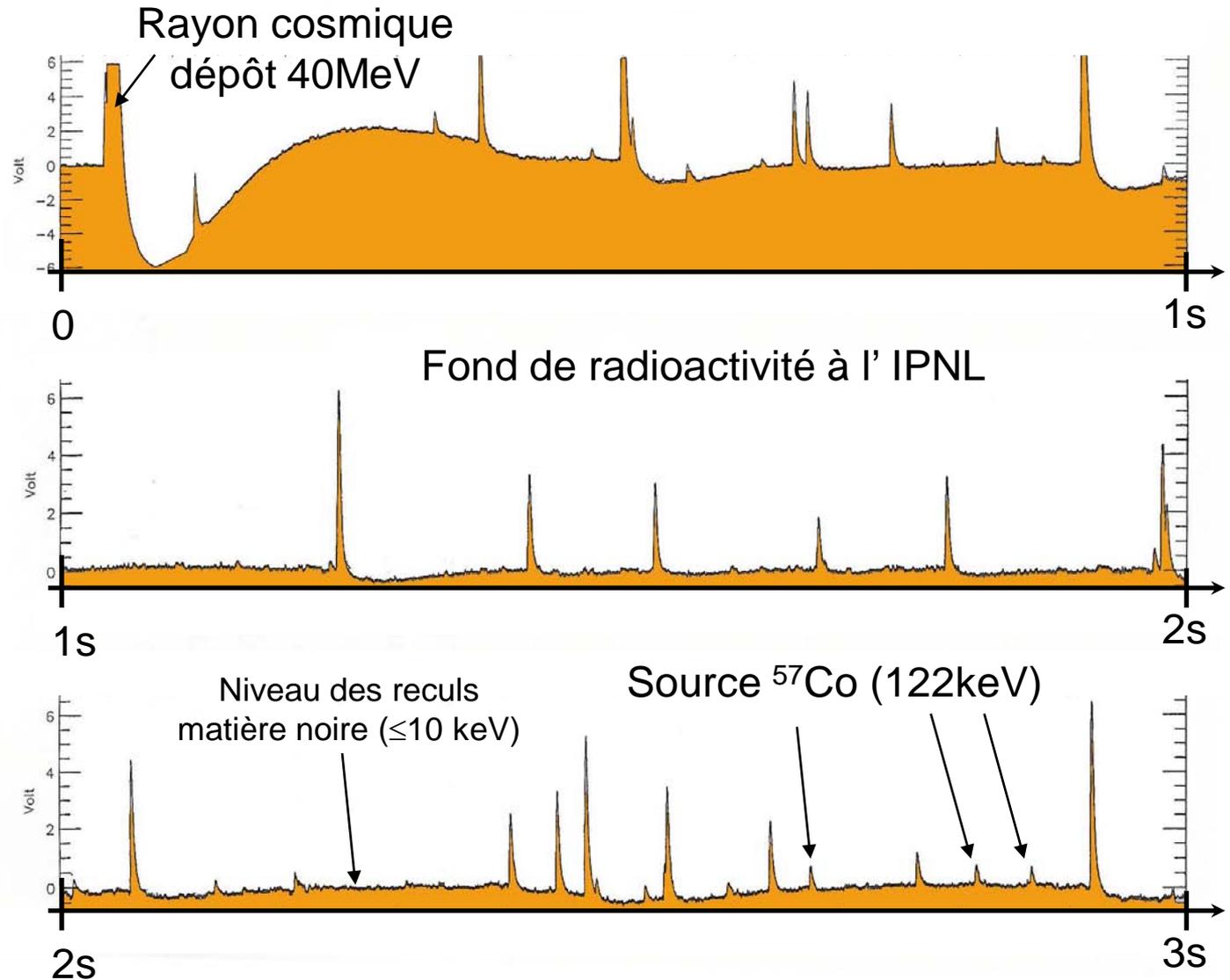


- Cinématique élémentaire $\rightarrow E_{\text{max}}$
(adaptation des masses: de la pétanque en labo !)
- Les faibles énergies de recul sont toujours « peuplées » \rightarrow spectres piqués à basse énergie: **on recherche le meilleur seuil \rightarrow bolomètres !**

Détection de la Matière noire: l'appel des souterrains

3 traces consécutives de 1s dans un bolomètre de 1.2 kg en saphir.

Mesures IAS/ IPNL 1996



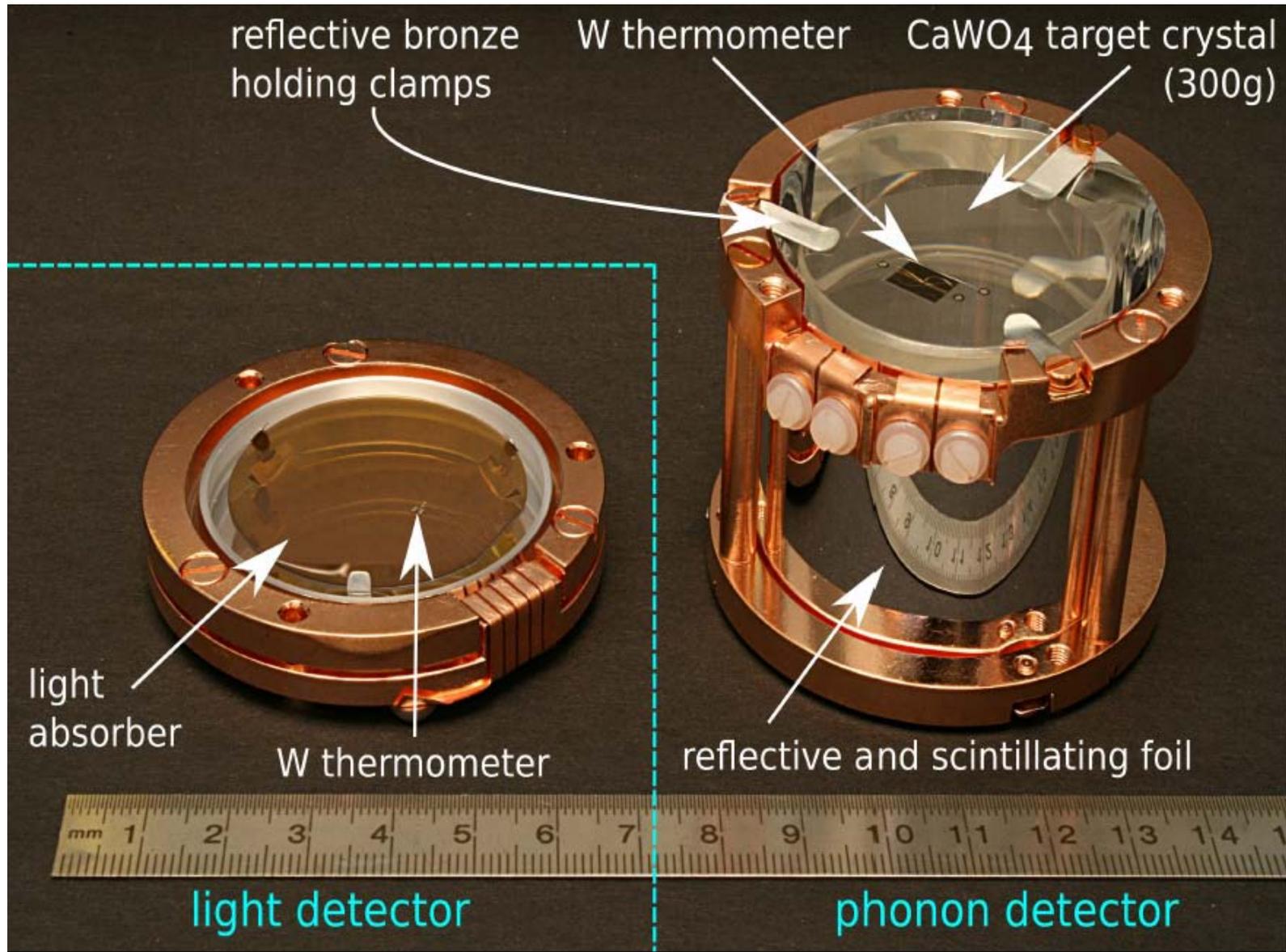
□ Détection de la Matière noire

Avec discrimination « Lumière & chaleur »

- CRESST (TES; tunnel du GranSasso)

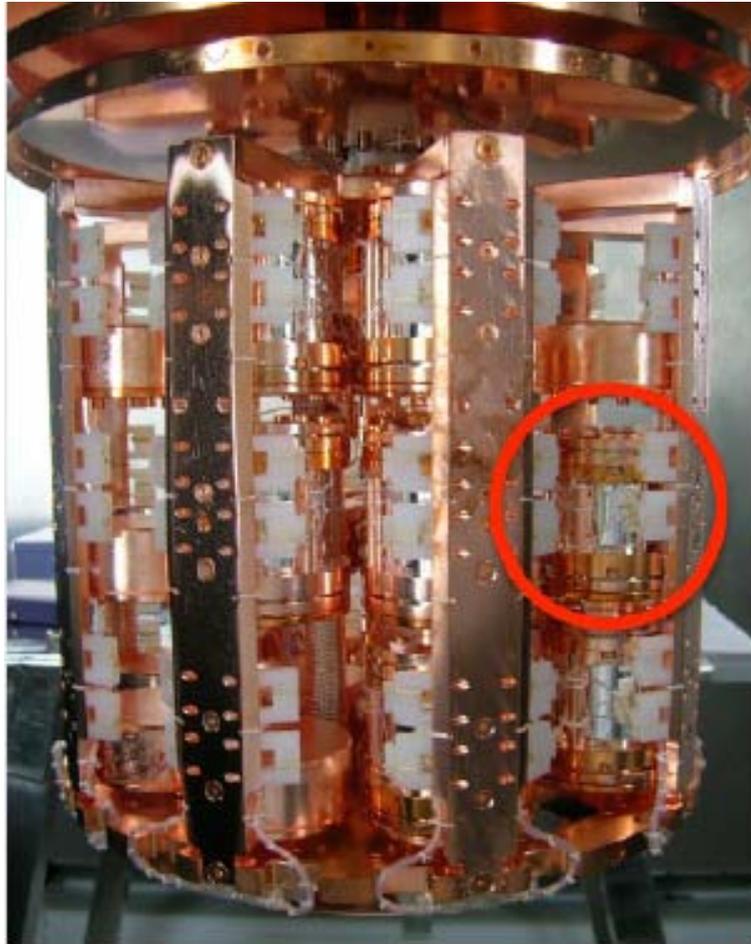
Collaboration MPI & TU München, Univ. d'Oxford, Univ. de Tübingen

Les détecteurs de CRESST (thermomètre TES en W)



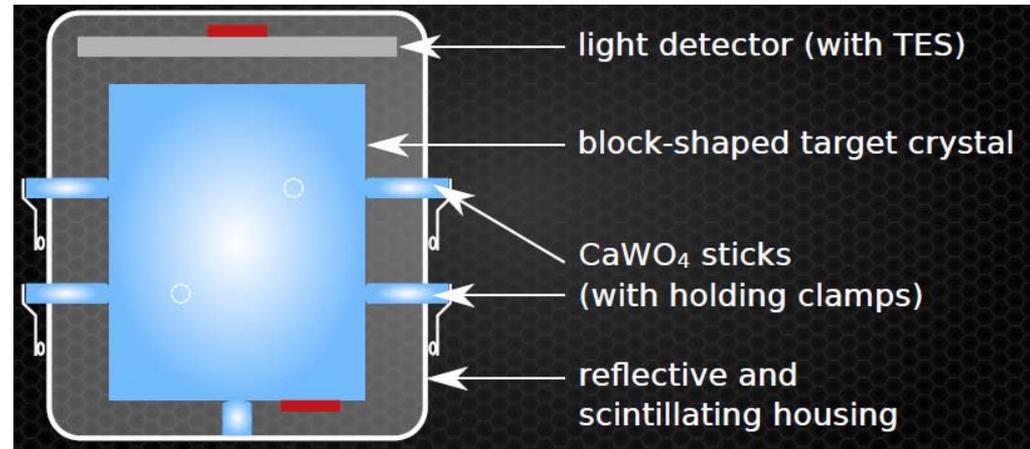
F. Reindl @ NDM'15

CRESST 2014 @ Gran Sasso

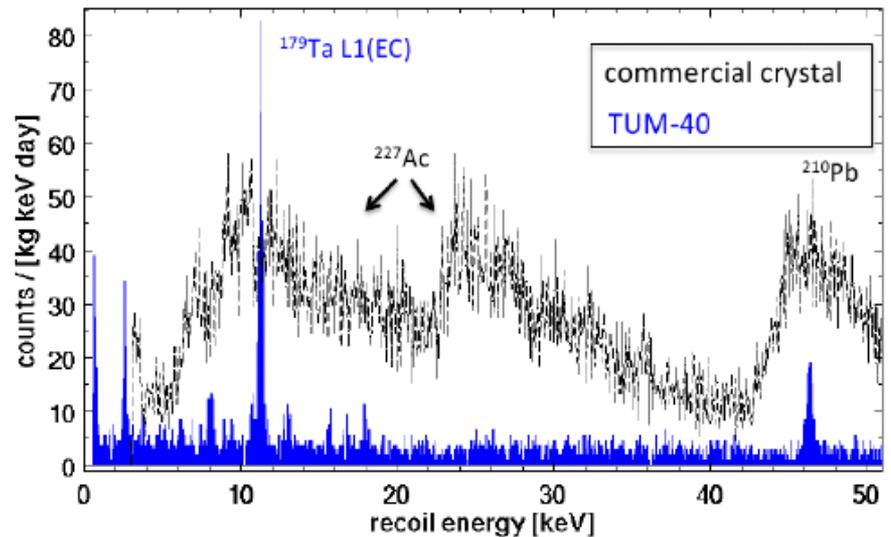


Réfrigérateur à dilution

Nouveau montage



Radiopureté (tirage à domicile des cristaux)



CRESST: Quenching factors...

La détermination des facteurs de quenching Q est essentielle pour l'identification des atomes reculants dans les cristaux polyatomiques. Elle a été abordée par CRESST pour CaWO_4 par trois techniques ()

CaWO_4 Facteurs de quenching Q	Faisceau de neutrons pulsés et TOF @300K	Irradiation ionique @ 300K	Reculs sous irradiations n @10mK
O	12.8 ± 0.5	14.5 ± 0.8	8.2 ± 0.2
Ca	16 ± 0.4	26.7 ± 2.5	13.0 ± 1.7
W	>33 (2σ)	40.4 ± 4.2	

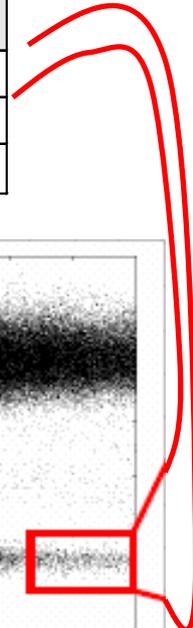
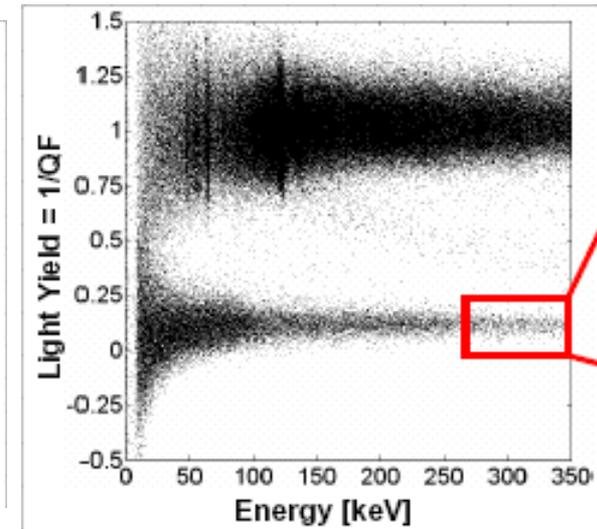
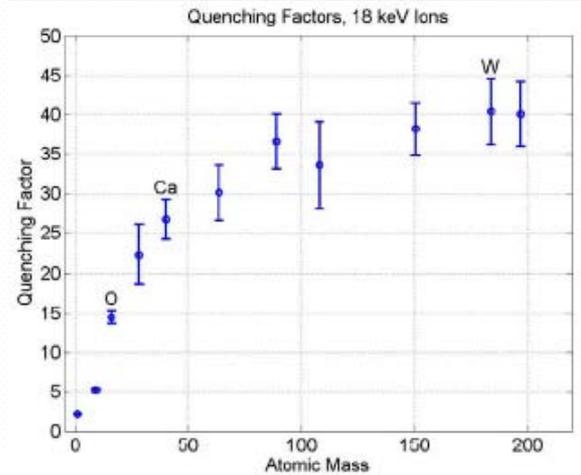
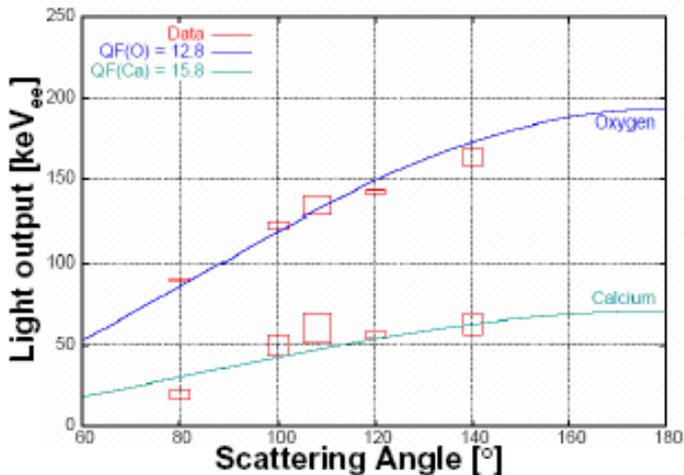
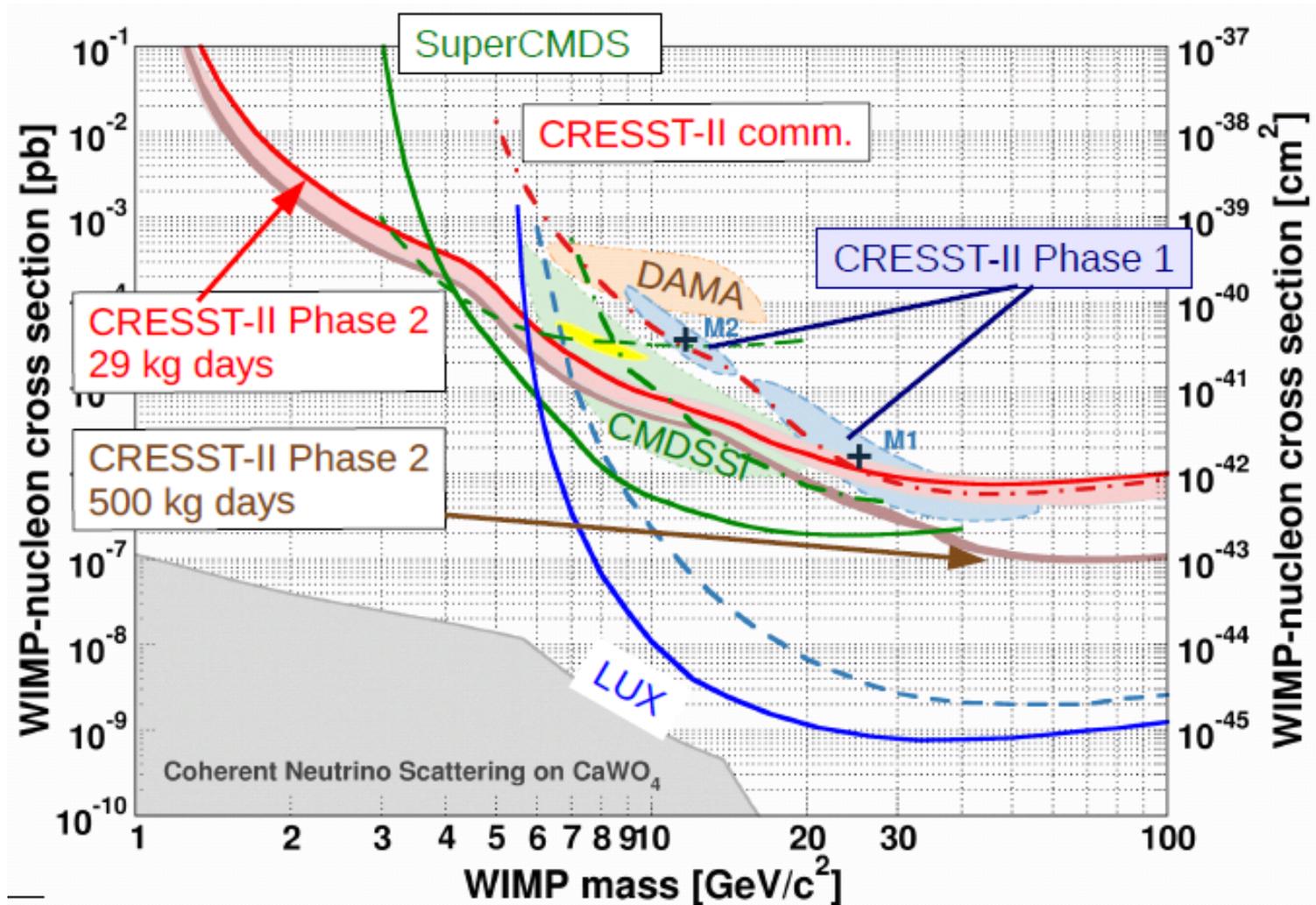
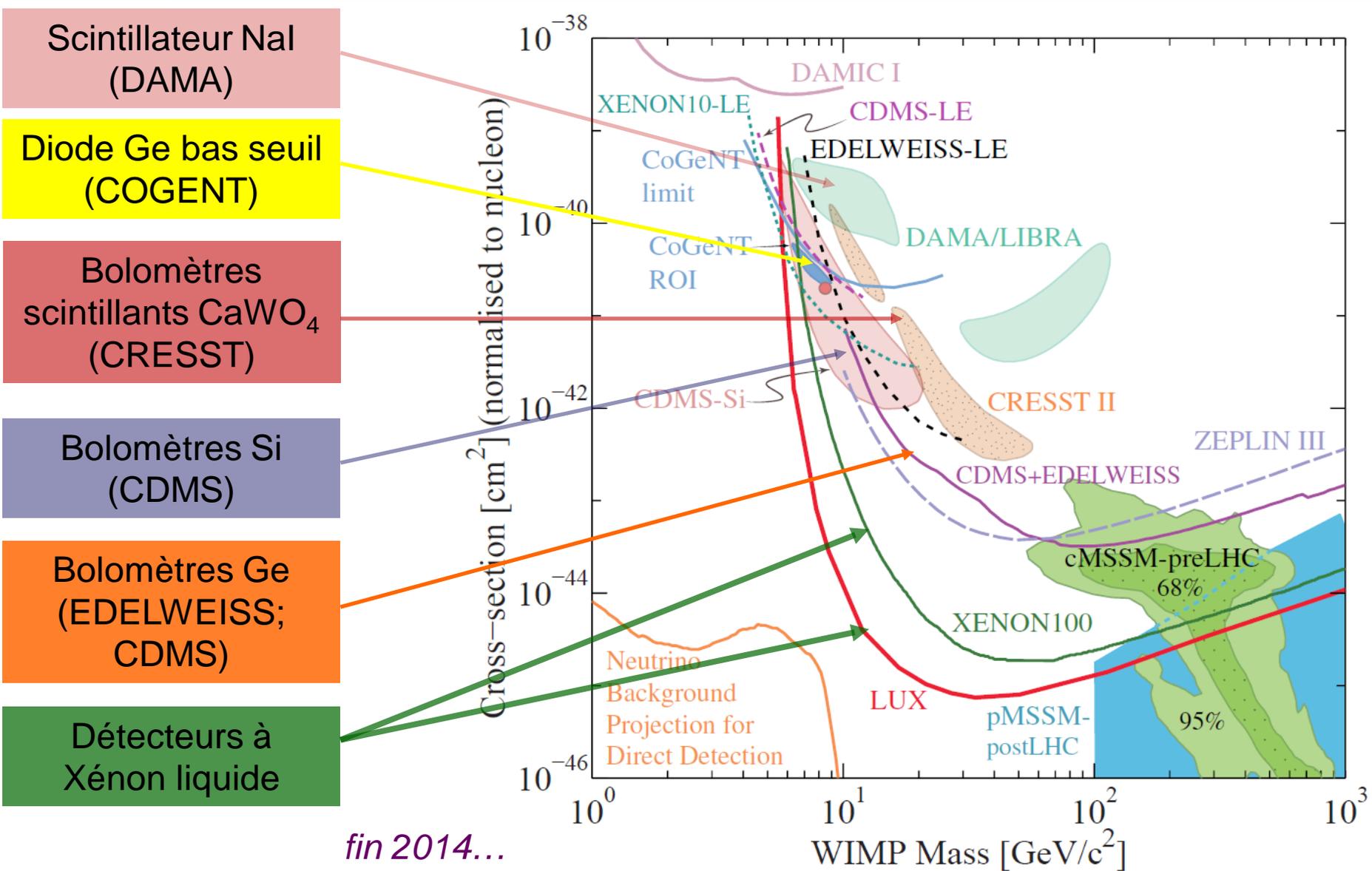


Diagramme d'existence de la Matière Noire (vue de CRESST)



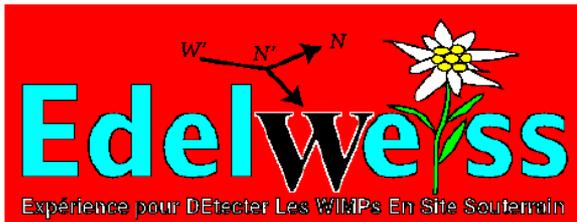
La détection directe de la matière noire: une rude compétition... et une situation plus que confuse



□ Détection de la Matière noire

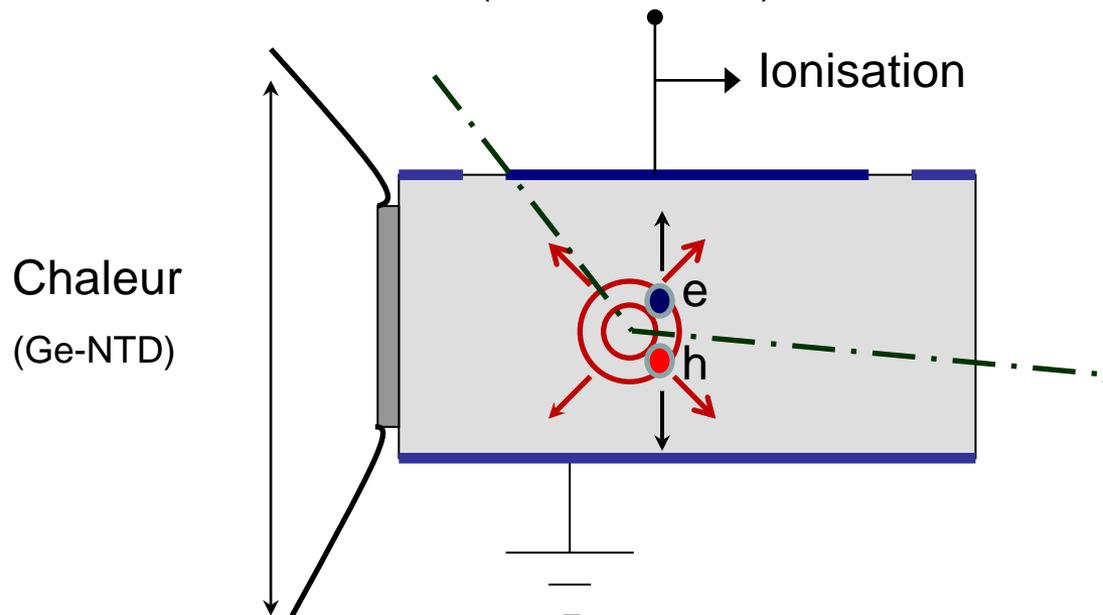
Avec discrimination « Charges & Chaleur »

CDMS (US), EDELWEISS (France)

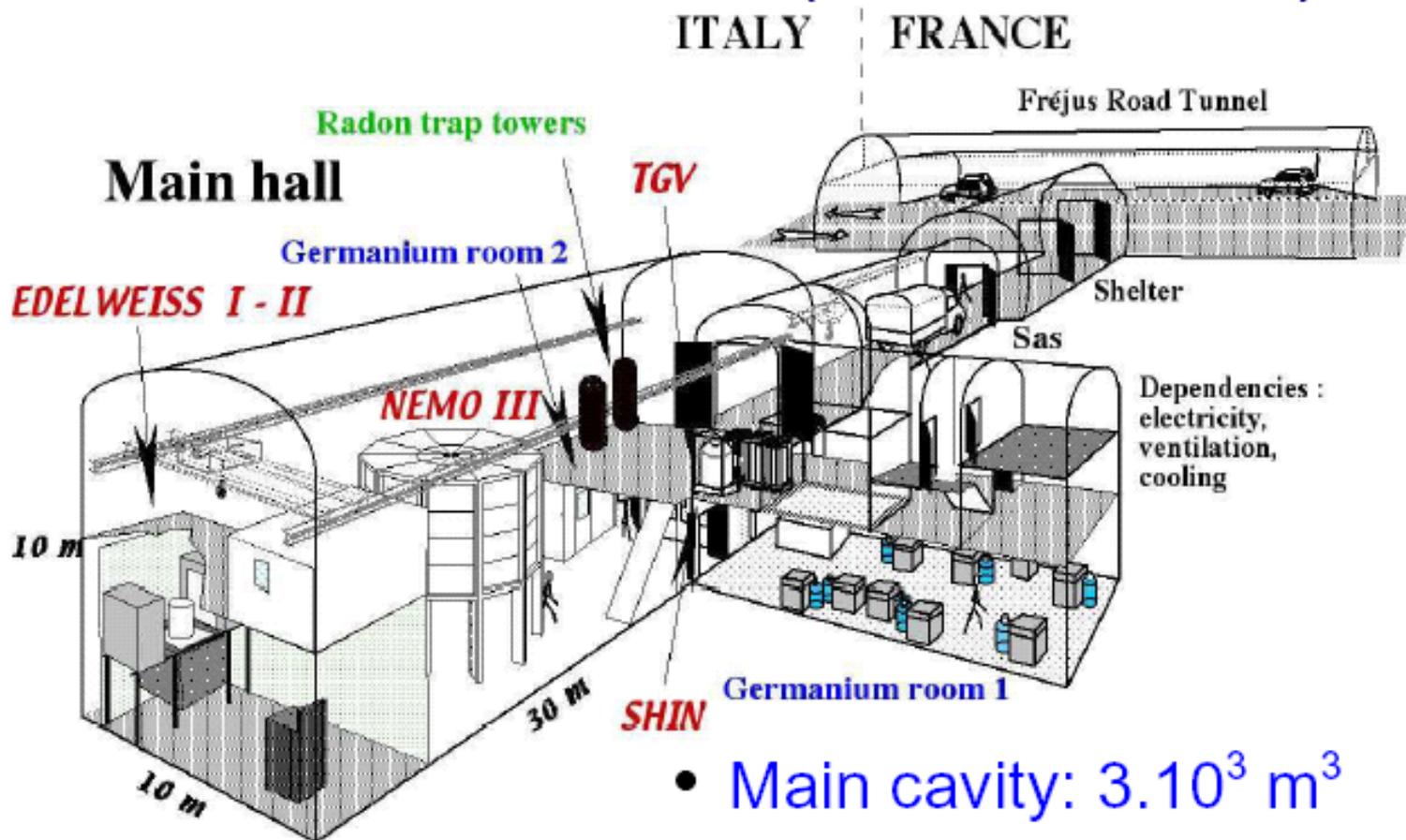


Expérience pour DÉtecter Les Wimps En Site Souterrain

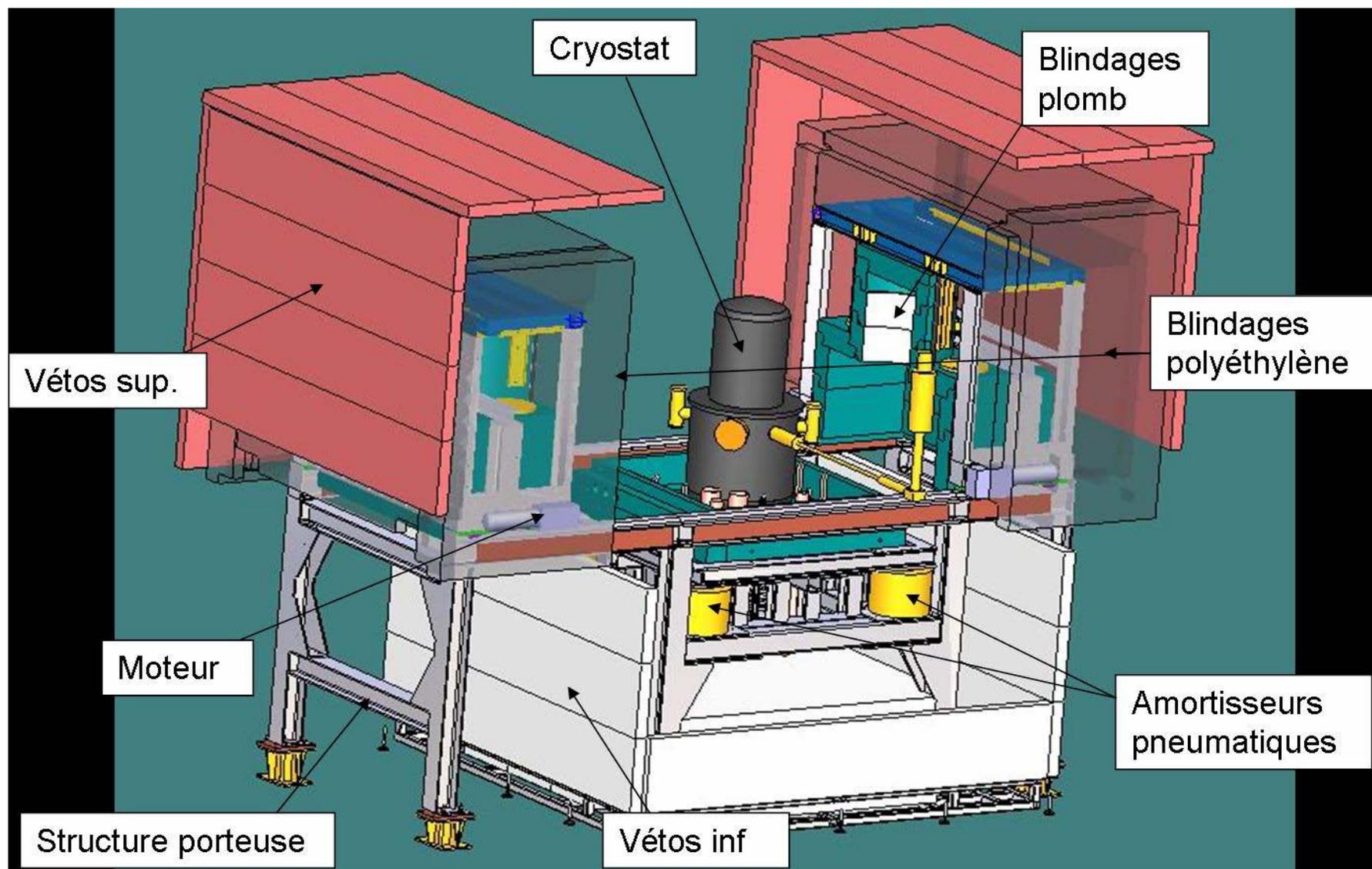
- ✓ tunnel du Fréjus (**LSM**, aboratoire Souterrain de Modane; 4500mwe; 1990→)
- ✓ collaboration **CNRS IN2P3 (CSNSM, IPNL), SPM (Institut Néel),**
CEA (IRFU, SEDI & SPEC) + Univ. Kalsruhe; JINR Dubna (≈ 50 chercheurs)
- ✓ technique mixte « charges / chaleur » sur Ge;
- ✓ thermométrie EDELWEISS:Ge-NTD (\neq CDMS: TES)



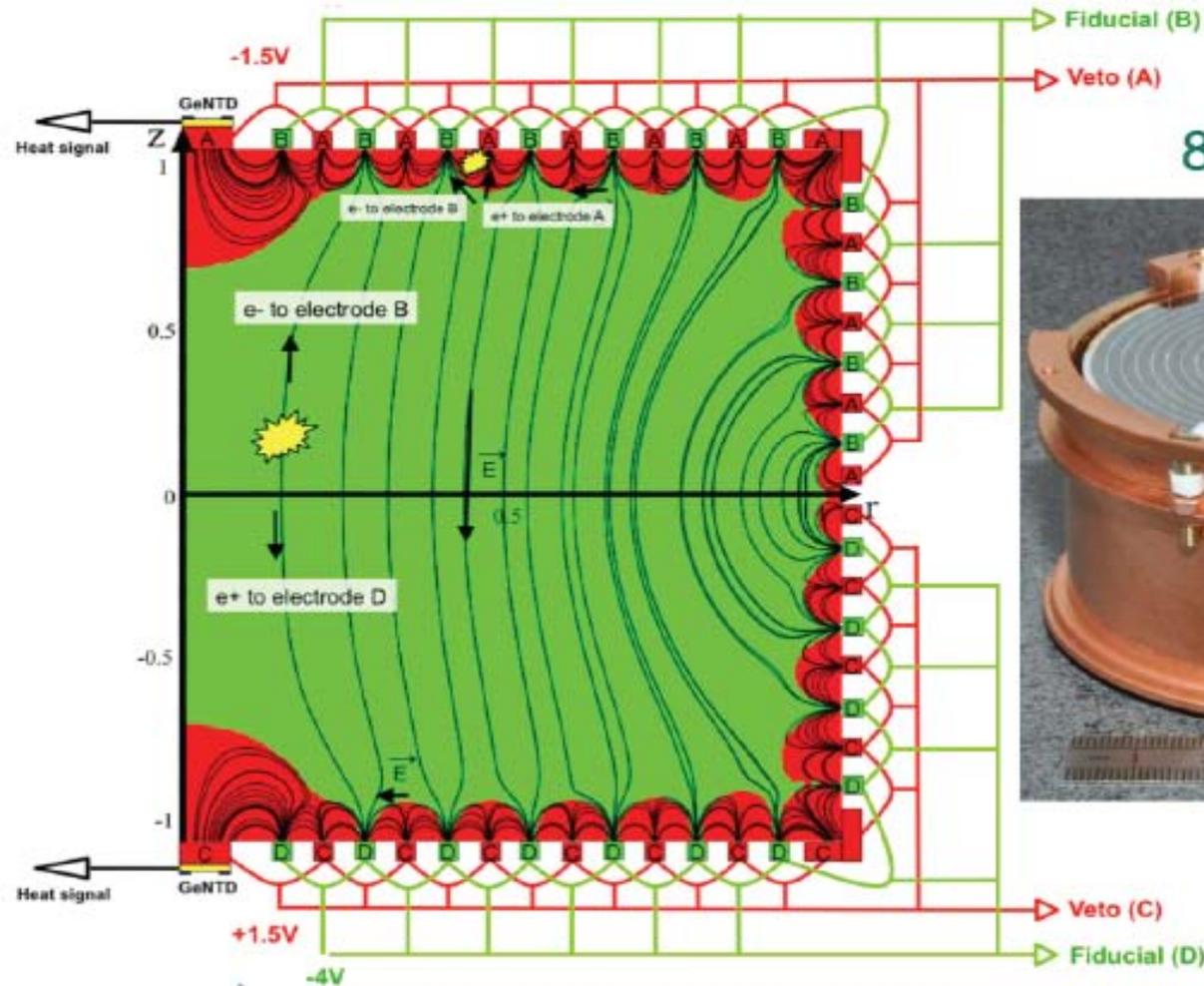
Inside the LSM (CNRS-CEA)



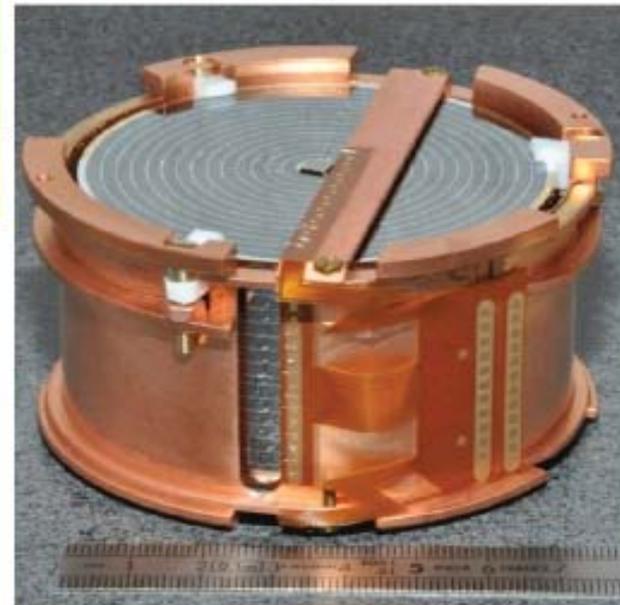
- Main cavity: $3 \cdot 10^3 \text{ m}^3$
- Outside: offices, workshop and garage



Détecteurs FID (Full Inter Digit)



Full Inter-Digitized
800 g HP-Ge Detector



Height: 4 cm

Diameter: 7 cm



2 heat channels - NTD technology
4 ionisation channels

C. Nones @ NDM15

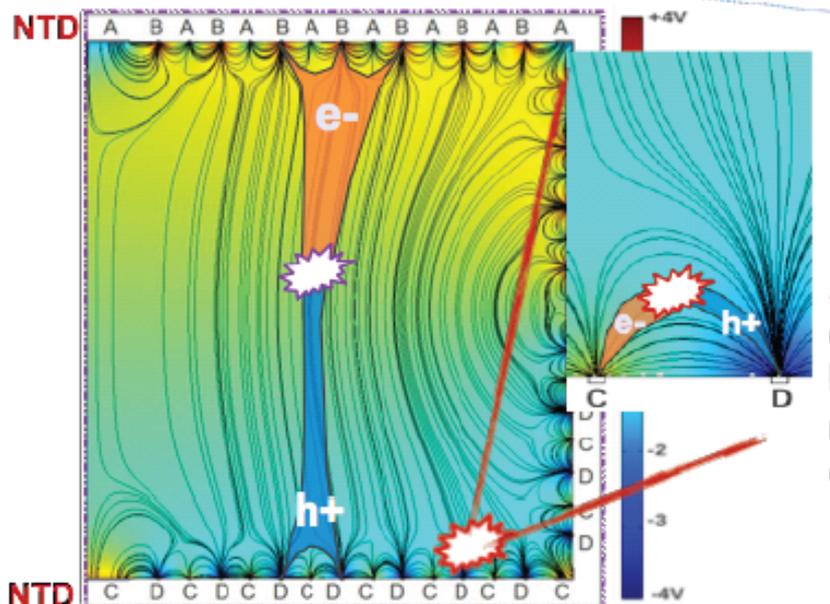
Détecteurs FID: principes de base

Simultaneous measurement

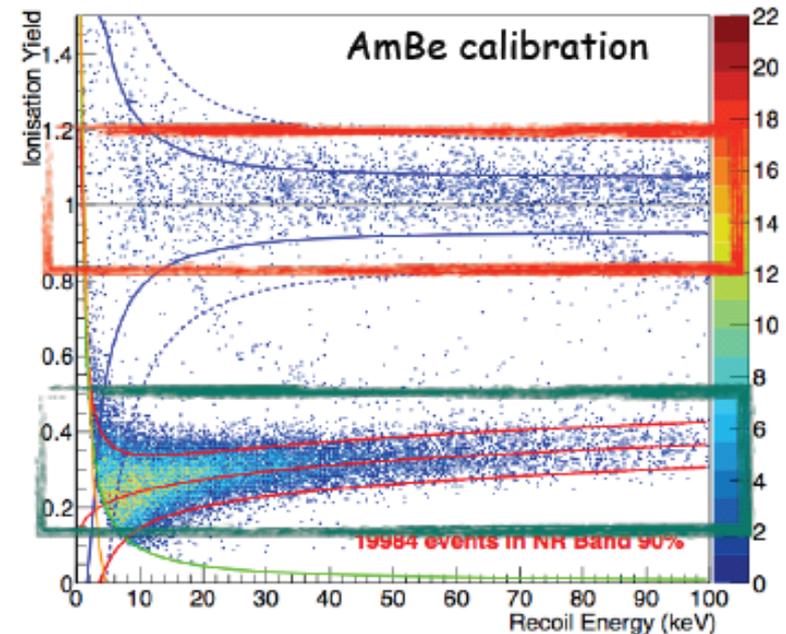
- Heat @ 20 mK with Ge/NTD thermometer
 - Ionization @ few V/cm with Al electrodes
- Evt by evt identification of the recoil

Most backgrounds (e, γ) produce electron recoils
Yield (Ionization/recoil) ~ 1

WIMPs and neutrons produce nuclear recoils
Yield (Ionization/recoil) ~ 0.3



FID800 Fiducial Events



Surface Events

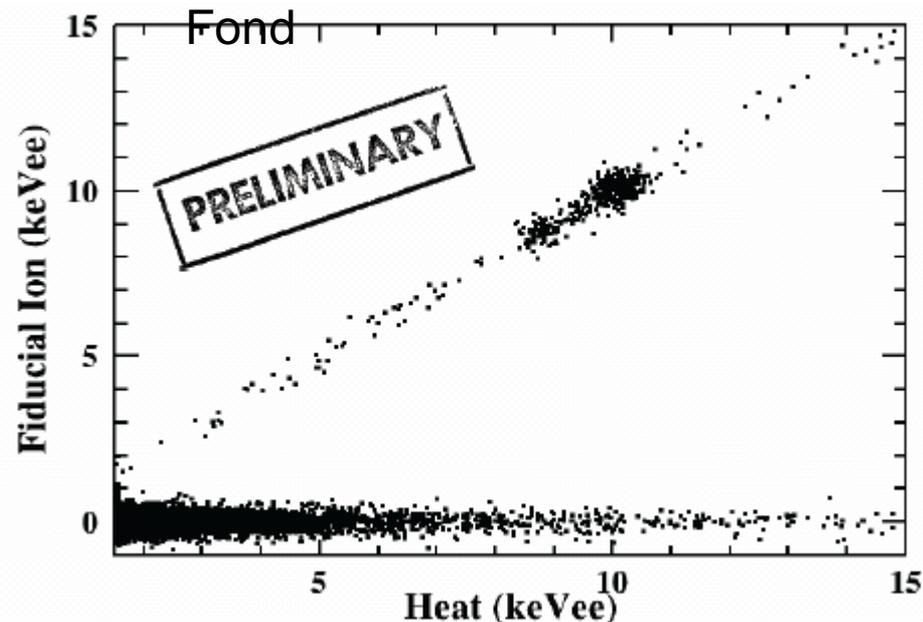
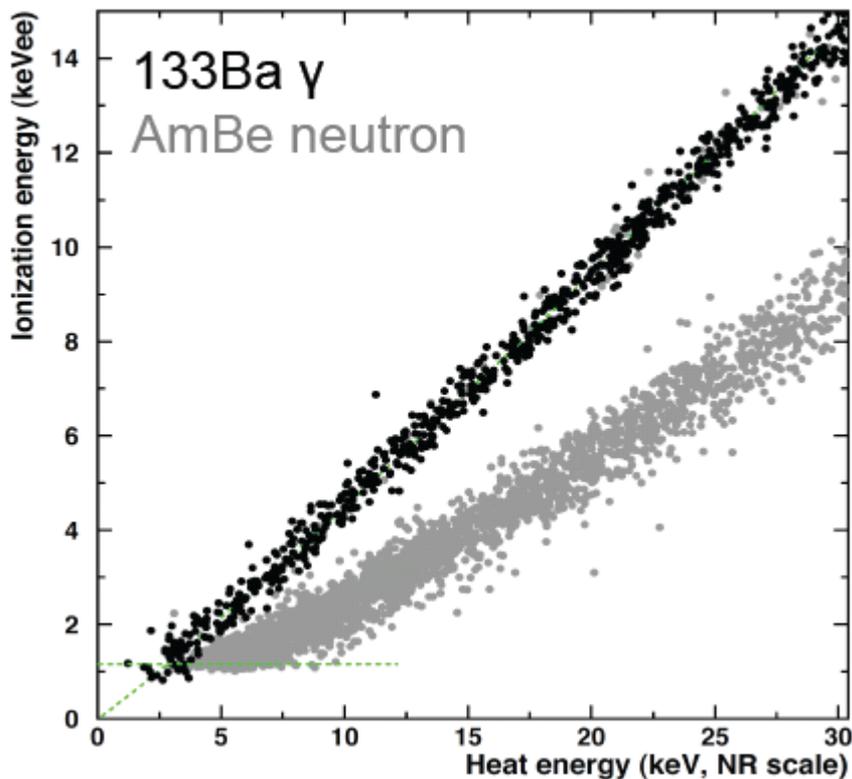
Charge collection shared between one veto and its neighbor fiducial electrodes, e.g. C & D

Bulk Event

Charge collected on fiducial electrodes B & D

C. Nones @ NDM'15

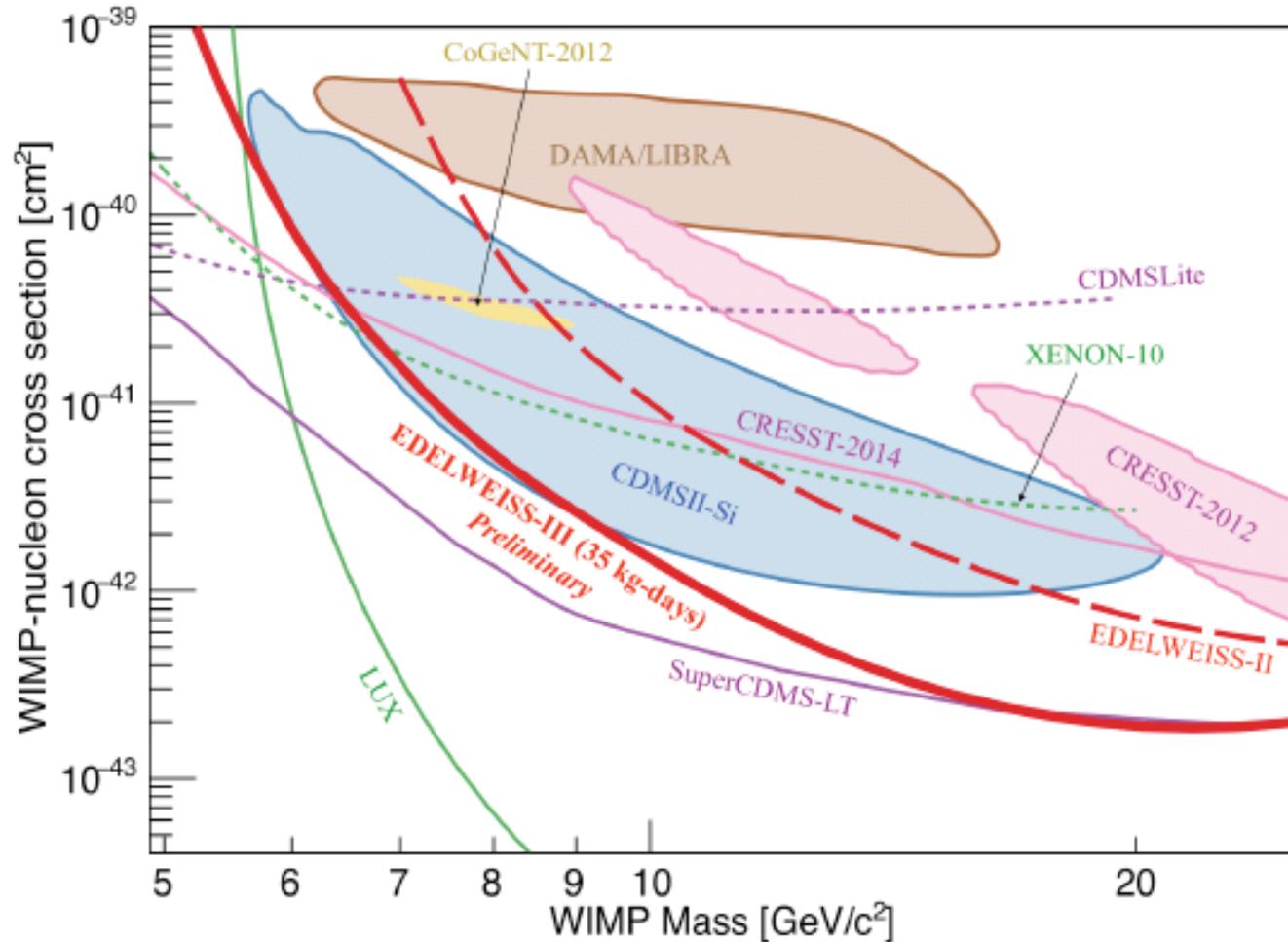
Calibration



C. Nones @ NDM'15

	EDW-III subsample (1 x FID800)
exposure	35 kg.days
threshold	3.6 keVnr
FWHM ion fid	0.54 keVee
FWHM heat	0.33 keVee

Diagramme d'existence de la Matière Noire (vue d'EDELWEISS)

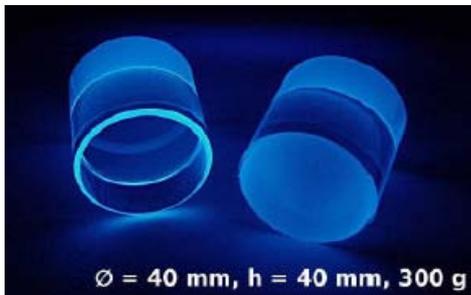
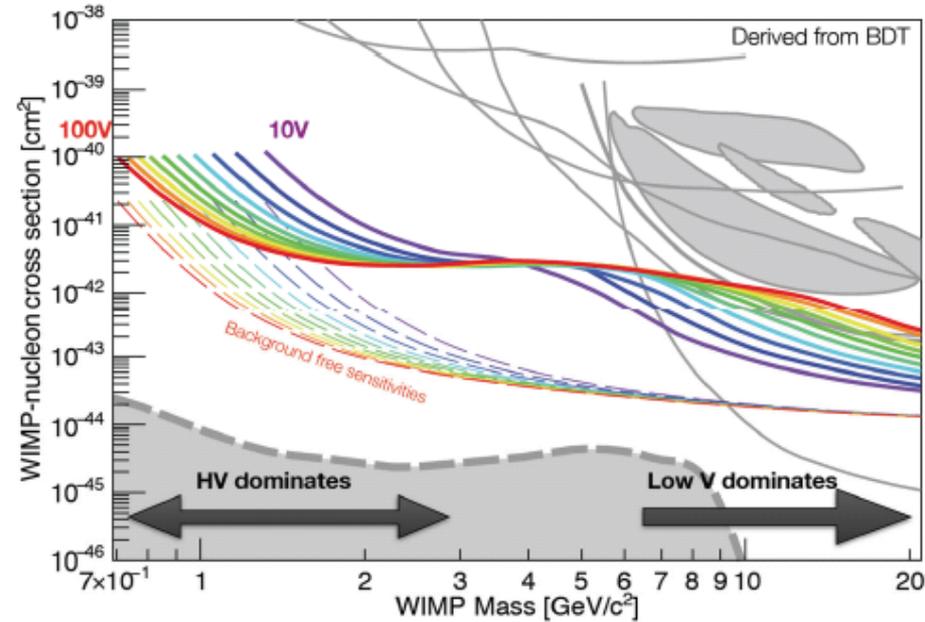
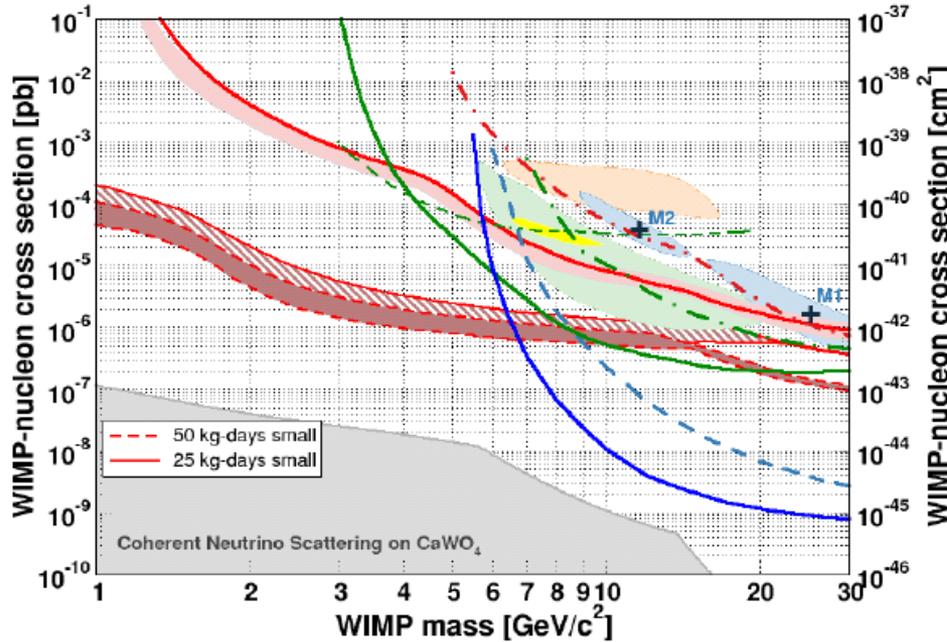


C. Nones @ NDM'15

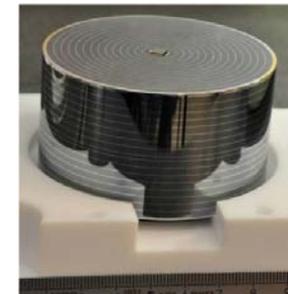
Course au seuil & prévisions

CRESST, CaWO_4
 300g \rightarrow 24g
 600eV \rightarrow 100eV

EDELWEISS, Ge
 + R&D: amplis HEMT
 effet « Neganov-Luke »



sans compter
 les autres...



Comptes-rendus des conférences

[tous les deux ans]

❑ LTD (Low Temperature Detectors)

- aspects techniques
- publiés généralement dans Journal of Low Temperature Physics
- LTD15 à Pasadena en 2013
- **LTD16 à Grenoble en 2015**

❑ TAUP (Topics in Astroparticle and Underground Physics)

- physique des expériences
- publiés
 - ≤2003: généralement dans Nuclear Physics B (Proc. Suppl.)
 - 2005: Journal of Physics: Conference Series (accès libre)
- TAUP-2013 en Californie
- **TAUP-2015 à Turin**